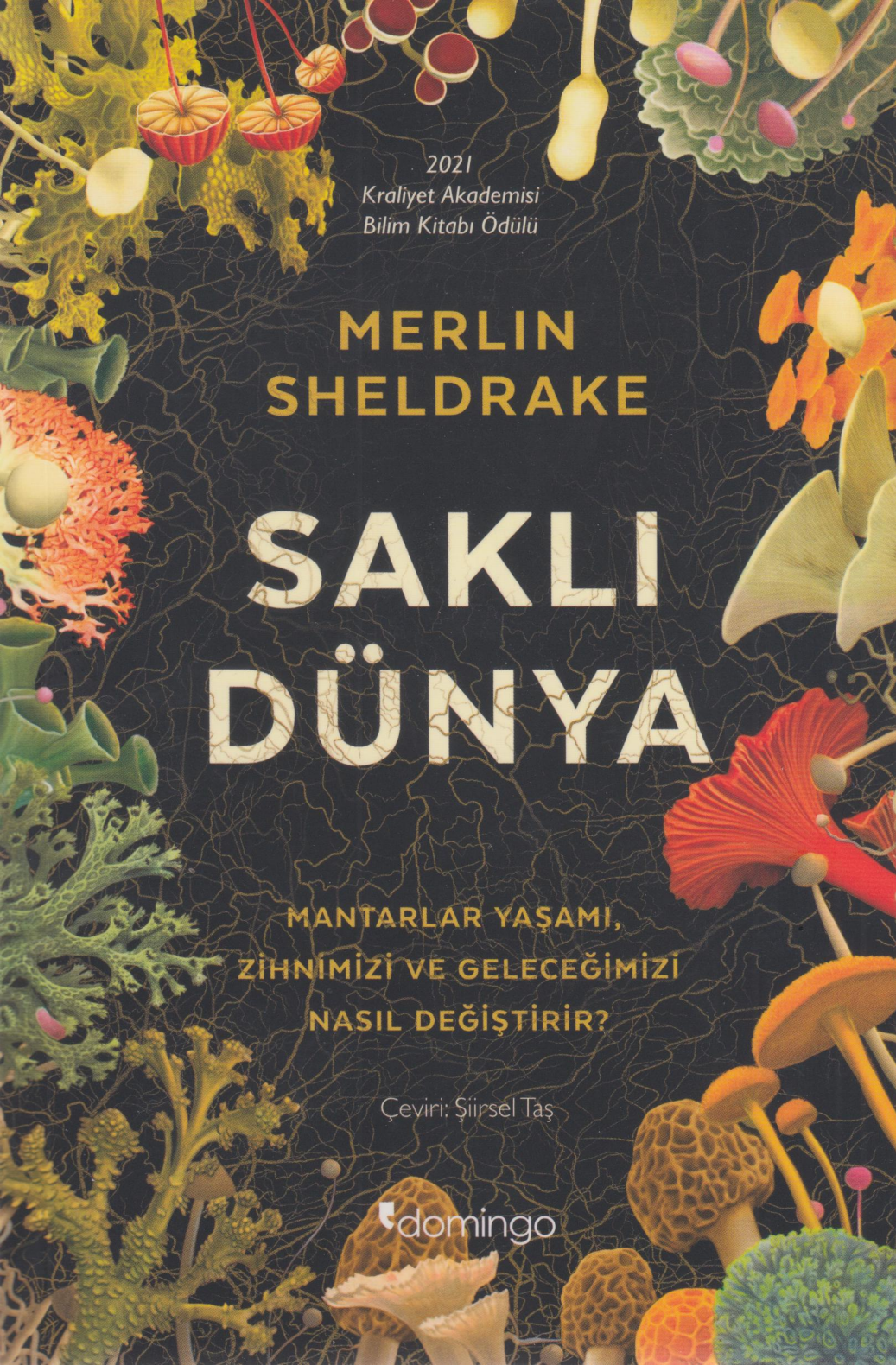

2021
Kraliyet Akademisi
Bilim Kitabı Ödülü
MERLIN
SHELDRAKE
SAKLI
DÜNYA
MANTARLAR YAŞAMI,
ZİHNİMİZİ VE GELECEĞİMİZİ
NASIL DEĞİŞTİRİR?
Çeviri: Şiirsel Taş
domingo

MERLIN
SHELDRAKE

SAKLI DÜNYA

MANTARLAR YAŞAMI, ZİHNİMİZİ VE GELECEĞİMİZİ NASIL DEĞİŞTİRİR?

Çeviri: Şiirsel Taş

domingo

domingo

SAKLI DÜNYA
Mantarlar yaşamı, zihnimizi ve geleceğimizi nasıl değiştirir?
MERLIN SHELDRAKE

Özgün İsmi: Entangled Life: How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds & Shape Our Futures
© 2020 Merlin Sheldrake

Bu kitabın Türkçe yayın hakları AnatoliaLit Telif Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

Türkçe yayın hakları:
© 2022 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.
Sertifika No: 46105

Çeviri: Şiirsel Taş
Editör: Algan Sezgintüredi
Son okuma: Ümran Özbalcı
Danışman: Jilber Barutçiyan
Özgün kapak tasarımı: Lucas Heinrich
Kapak illüstrasyonu: Tim O'Brien
Kapak uyarlama: Betül Güzhan
Sayfa uygulama: Bahadır Erşık

ISBN: 978 605 198 234 2

I. Baskı: Ağustos 2022
Pasifik Ofset
Cihangir Mah. Güvercin Cad. No: 3/1 Baha İş Merkezi
A Blok Kat: 2 Haramidere Avcılar 34310 İstanbul
Tel: (212) 412 17 77 Sertifika No: 44451

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Harbiye Mah. Cumhuriyet Cad. Pak Apt. No: 30
Kat: 1 Daire: 3 Şişli İstanbul – Tel: (212) 245 08 39
e-posta: domingo@domingo.com.tr
www.domingo.com.tr

Bana çok şey öğreten mantarlara minnetle

İçindekiler

Önsöz 1

Giriş
Mantar Olmak Neye Benzer? 3

1 Tuzağın Cazibesi 25

2 Canlı Labirentler 47

3 Yabancıların Yakınlığı 71

4 Miselyum Zihni 95

5 Köklerden Önce 125

6 Orman Çapında Ağlar 151

7 Radikal Mikoloji 177

8 Mantarları Anlayabilmek 205

Sonsöz
Bu Kompost 227

Teşekkür 231

Notlar 235

Kaynakça 291

Dizin 341

Önsöz

Başımı kaldırıp ağacın tepesine baktım. Gövdesinden fışkıran eğreltiler ve orkideler yukarılara doğru çıktıkça sarmaşıklardan oluşan bir yumağın içinde gözden yitiyordu. Tepemde bir tukan gaklayarak tünediği daldan uçtu ve bir grup uluyan maymun yavaş bir homurtuya girişti. Yağmur henüz durmuştu; yapraklardan süzülen iri damlalar üzerime arada ani sağanaklar indiriyordu. Toprağın hemen üzerinde bir sis tabakası asılı kalmıştı.

Ağaçların kökleri tabandan dışarı doğru kıvrılarak uzanıyor, az ötede, cangılın zeminini kaplayan kalın yaprak tabakasının içinde gözden kayboluyordu. Elimdeki sopayla zemini yoklayarak yılan olup olmadığını kontrol ediyordum. Bir tarantula seğirterek uzaklaştı; ağacın gövdesini elimle aşağıya doğru yoklayarak diz çöktüm ve köklerden biri boyunca ilerleyince daha ince köklerle birbirine dolanarak arapsaçına dönmüş kızıl-kahverengi, süngerimsi bir kütle fark ettim. Bu kütleden zengin bir koku yükseliyordu. Termitler bu labirentte tırmanıyor, kıvrılmış bir kırkayak ölü taklidi yapıyordu. Takip ettiğim kökün toprağa girip gözden kaybolduğu noktanın etrafını el küreğimle temizledim. Ellerimle ve bir kaşık yardımıyla toprağın üst katmanını gevşettim ve mümkün olduğunca zarar vermeden kazarak ağacın menzili dışına çıkan ve yüzeyin hemen altında kıvrılarak ilerleyen kökü yavaş yavaş ortaya çıkardım.

Bir saat sonra bir metre yol katetmiştim. Açığa çıkardığım kök artık ipten daha inceydi ve her tarafa yayılmaya başlamıştı. Komşu köklerle düğümlendikçe takip etmesi zorlaştığından, yüzüstü uzanıp kazdığım sığ hendeğe daha yakından baktım.

Kimi köklerin fındığımsı keskin bir kokusu olur, kimilerininse odunsu ve kekredir ama benim ağacımın kökleri, üzerlerini tırnağımla kazıdığımda baharatlı ve reçinemsi kokuyordu. Yere uzanmış vaziyette, kökü tırnağımla santim santim çize koklaya, yavaşça ilerledim.

Günün ilerleyen saatlerinde topraktan çıkardığım kökten dağılan lifler daha da çoğaldı; birkaçını seçip çürümüş yaprak ve dal parçalarının arasına giren uçlarına dek takip ettim. Kök uçlarını küçük bir şişedeki suya batırıp çamurlarını akıttıktan sonra büyüteçle inceledim. İncecik kökler küçük bir ağaç gibi dallanıyordu; yüzeyleri taze ve yapışkan görünümlü bir film tabakasıyla kaplıydı. İncelemek istediğim şey, bu narin yapılardı. Köklerden toprağa bir dantel gibi uzanan mantar ağı yakındaki ağaçların etrafını sarıyordu. Bu mantar ağı olmasaydı ağacım da olmazdı. Benzer mantar ağları olmasaydı hiçbir yerde hiçbir bitki yetişmezdi. Karasal yaşam –ben dahil– varlığını bu ağlara borçluydu. Köküme hafifçe asıldım ve yerin kıpırdadığını hissettim.



Giriş

Mantar Olmak Neye Benzer?

> Aşkın neminde öyle anlar vardır ki cennet yeryüzünde yapabildiklerimizi kıskanır.[1]
>
> —Hâfız-ı Şirâzi

Mantarlar her yerdedirler ama dikkatlerden kaçmaları kolaydır. İçinizde ve etrafınızdadırlar. Sizin ve bağlı olduğunuz her şeyin devamlılığı onlara bağlıdır. Siz bu satırları okurken mantarlar bir milyar yıldan uzun süredir yaptıkları gibi hayatın işleyişini değiştiriyor. Kayaları aşındırıyor, toprağı oluşturuyor, kirleticileri sindiriyor, bitkileri besliyor ve öldürüyor, uzayda hayatta kalıyor, halüsinasyonlar yaratıyor, gıda oluyor, ilaç üretiyor, hayvan davranışlarını değiştiriyor ve atmosferin bileşimini etkiliyorlar. Mantarlar, üzerinde yaşadığımız gezegeni ve düşünme, hissetme, davranış biçimlerimizi anlamamız için bize bir anahtar sunar. Buna rağmen gözden ırak yaşarlar; mantar türlerinin yüzde doksanından fazlası henüz belgelenmemiştir. Mantarlar hakkında bilgimiz arttıkça, onlarsız yapamayacağımızı daha iyi anlıyoruz.

Mantarlar da "hayvanlar" ve "bitkiler" âlemi kadar geniş ve kalabalık bir âlemdir. Mikroskobik bira mayaları da mantardır, yeryüzünün en büyük organizmalarından biri olan ve geniş ağlar oluşturan bal mantarı ya da diğer adıyla *Armillaria* da. Yüzlerce tonluk ağırlığıyla rekoru elinde tutan, Oregon'daki *Armillaria* on kilometrekarelik bir alana yayılmıştır ve tahminlere göre iki bin ila sekiz bin yaşındadır. Daha büyük ve yaşlı pek çok başka örnek keşfedilmeyi bekliyor olabilir.[2]

Yeryüzünde süregelen en çarpıcı olayların birçoğu mantarların etkinliği sonucunda oluşmuştur ve oluşmaktadır. Bitkilerin yaklaşık beş yüz milyon yıl önce karasal yaşama geçmesi, kendi kökleri gelişene dek milyonlarca yıl boyunca onlara kök sistemi olarak hizmet eden mantarla yaptıkları işbirliği sayesinde mümkün olabildi. Günümüzde yaşayan bitkilerin yüzde doksanından fazlasının yaşamı, ağaçları ortak ağlarla birbirine bağlayan ve bu nedenle "orman çapında ağ" (*wood wide web*) olarak adlandırılan mikorizal mantarlara bağlıdır. Mikoriza sözcüğü Yunanca mantar anlamına gelen *mykes* ve kök anlamına gelen *rhiza* kelimelerinden türetilmiştir. Bu kadim ilişki, bildiğimiz bütün karasal yaşam biçimlerinin ortaya çıkmasını sağlamış olduğu gibi, karasal yaşamın geleceği de bitkilerle mantarlar arasındaki sağlıklı ilişkilerin devam etmesine bağlıdır.

Gezegenimiz bitkilerle yeşerdi ama bundan dört yüz milyon yıl öncesine, Devonyen devre gidebilseydik bir başka yaşam formu olan *Prototaksitler* ile karşılaşır, hayrete düşerdik. Dağınık halde bulunan bu canlı kulelerin birçoğu iki katlı bir binadan daha yüksekti. O dönemde bu boyutlara ulaşmış başka canlı yoktu. Bitkilerin boyu bir metreyi geçmiyordu ve suda yaşayan omurgalı hayvanlar henüz karaya çıkmamıştı. Prototaksitlerin devasa gövdelerini mesken tutan küçük böcekler kendilerine odacıklar ve galeriler açıyordu. Muazzam boyutlara ulaşmış mantarlar olduğu düşünülen bu gizemli organizmalar en az kırk milyon yıl, yani *Homo* cinsinin varoluş tarihinin yirmi katından uzun bir zaman boyunca karasal ortamda yaşayan en büyük canlılar olmuştu.[3]

Bugüne kadar karasal yeni ekosistemler hep mantarlar tarafından kuruldu. Volkanik adalar oluştuğunda ya da buzullar çekildiğinde ortaya çıkan kayalara ilk olarak likenler –mantarların algler veya bakterilerle oluşturduğu birlik– yerleşir ve bu birlik, sonrasında bitkilerin kök salacağı toprağı meydana getirir. İyi gelişmiş ekosistemlerde toprak, onu bir arada tutan yoğun mantar dokusu olmasaydı yağmurla sürüklenip giderdi. Yerkürede mantarların bulunmadığı pek az yer vardır; mantarlar deniz tabanındaki derin tortul tabakalardan çöllere, Antarktika'nın donmuş vadilerinden bağırsaklarımıza ve vücudumuzun dışarı açılan deliklerine varana dek her yere yerleşir. Tek bir bitkinin yapraklarında ve gövdesinde onlarca, hatta yüzlerce mantar

türü bulunabilir. Bu mantarlar, bitki hücreleri arasındaki boşluklarda kendini brokar kumaş gibi dokur ve bitkilerin hastalıklara karşı korunmalarına yardımcı olurlar. Doğal koşullarda büyüyen her bitki bu mantarlarla birlikte yaşar; mantarlar bitki hayatının yapraklar ve kökler kadar parçasıdır.[4]

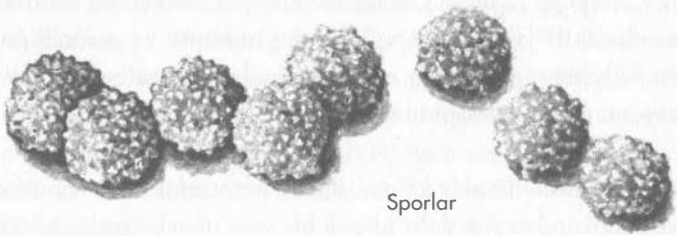
Mantarlar, metabolik becerilerinin çeşitliliği sayesinde böylesine çeşitli habitatlarda serpilebilirler. Metabolizma kimyasal dönüşüm sanatıdır. Mantarlar etrafını araştıran, çöpleri silip süpüren ve enkazdan kalanları kurtaran hünerli metabolik sihirbazlardır; bu açıdan onlarla sadece bakteriler boy ölçüşebilir. Güçlü enzim ve asit karışımları kullanarak, odunun en sert bileşeni olan ligninden (odunözü) kayaya, gezegendeki en inatçı maddelerden bazılarını, ham petrolü, poliüretan plastiği ve bir patlayıcı olan TNT'yi parçalayabilirler. Yaşamalarına elverişli olmayacak ölçüde uç koşullara pek az rastlanır. Maden atığından izole edilmiş bir mantar türü radyasyona karşı bugüne kadar keşfedilmiş en dirençli organizmalardan biridir ve bu mantar nükleer atık sahalarının temizlenmesinde kullanılabilir. Çernobil kazasının yaşandığı nükleer reaktör bölgesi böyle büyük bir mantar topluluğuna ev sahipliği yapıyor. Dahası radyasyona dirençli bu türlerin bir kısmı radyoaktif "sıcak" parçacıklara doğru büyür ve göründüğü kadarıyla bitkilerin güneş ışığı enerjisini kullanmasına benzer şekilde, radyasyonu enerji kaynağı olarak kullanır.[5]

MANTAR DEYİNCE ilk akla gelen, şapkalı mantarlar olur ama nasıl ki meyve kendisinden çok daha büyük bir yapı olan bitkinin sadece bir parçasıysa şapka (sporokarp) da sporların üretildiği meyveler gibidir.* Bitkilerin yayılmak için tohumları kullanmasına benzer şekilde mantarlar da sporları kullanır. Şapka, mantarın sporlarını saçmak için rüzgârdan sincaba, mantarlar âleminin dışından yardım almasını

* İngilizcedeki *fungus* ve *mushroom* sözcüklerinin Türkçe karşılığı olarak "mantar" sözcüğünü kullanıyoruz. Mikroskobik mantarlardan makromantarlara, mantarlar âlemindeki bütün canlılar bilimsel terminolojide fungus, makromantarların spor üreten bölümüyse sporokarp ya da şapka olarak adlandırılır. Çeviride okuma kolaylığı sağlamak için fungus yerine mantar demeyi tercih ettik. Mantarın meyvesi olarak nitelendirilen *mushroom* içinse yerine göre şapka, şapkalı mantar ya da sporokarp sözcüklerini kullandık. (*ç.n.*)

sağlar ya da tam tersine, dışındaki dünyanın bu sürece karışmasını önler. Şapkalı mantar, mantarın gözle görülür, tesirli, makbul, lezzetli ve zehirli bölümüdür. Ne var ki şapka, mantarların spor saçmak için başvurduğu yollardan sadece biridir ve mantar türlerinin büyük çoğunluğu sporlarını şapka oluşturmaksızın yayar.

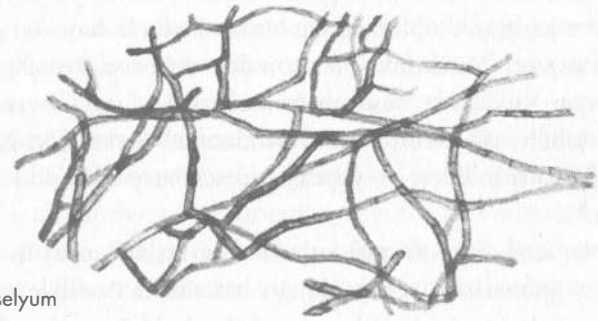
Mantarların spor saçan kısımları sayesinde hepimiz mantarlarla yaşıyor, mantarları soluyoruz. Bazı mantar türleri sporlarını bir uzay mekiğinin fırlatılırken ulaştığı ivmenin on bin katına çıkarak saatte yüz kilometreye varan bir hızla, patlayıcı tarzda etrafa saçar ve bu, herhangi bir canlının ulaşabileceği en çabuk hareketlerden biridir. Diğer mantar türleri kendi mikroiklimlerini yaratırlar ve sporlar, spor yatağından suyun buharlaşması sırasında oluşan hava akımıyla yukarı doğru taşınır. Her yıl elli megaton civarında, yani beş yüz bin mavi balinanın ağırlığına eşit miktarda spor üreten mantarlar havada bulunan canlı parçacıkların en önemli kaynağıdır. Sporlar bulutlarda da bulunur ve yağmuru meydana getiren su damlacıklarının, karı, sulusepkeni ve doluyu meydana getiren buz parçacıklarının oluşumunu başlatarak hava durumunu etkilerler.[6]



Sporlar

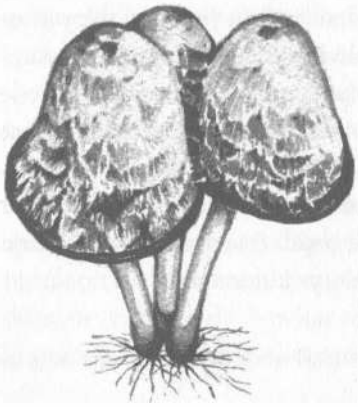
Bazı mantarlar, örneğin şekeri alkole fermente eden ya da ekmeğin kabarmasını sağlayan mayalar, tomurcuklanıp ikiye bölünerek çoğalan tekhücreli canlılardır. Ne var ki mantarların çoğu birçok hücreden oluşan, hif dediğimiz incecik tüp şeklinde yapılar meydana getirir; hifler de dallanarak, birleşerek ve birbirine dolanarak miselyum adı verilen telkâri benzeri karmakarışık bir ağ meydana getirir. Miselyum en sık rastlanan mantar davranışlarından birini tanımlar; miselyumu bir şey olarak değil, bir süreç, çevresini araştırarak, belli bir düzen takip etmeksizin ilerleyen bir eğilim olarak düşünmek daha doğrudur. Su ve besinler ekosistemlerde miselyum ağları yoluyla akar. Bazı

mantar türlerinin miselyumu elektriksel olarak uyarılabilir ve hayvanların sinir hücrelerinde ilerleyen elektriksel impulslara benzer şekilde, elektriksel aktivite hifler boyunca dalgalar halinde iletilir.[7]



Miselyum

Hifler miselyumun yanı sıra, daha özelleşmiş yapılar da oluşturur. Şapkalı mantar yapısı hiflerin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu organlar spor yaymak dışında başka pek çok iş görebilir. Trüf mantarları gibi bazı mantarlar, ürettikleri aromalardan ötürü dünyanın en pahalı besinlerindendir. Söbelen mantarı (*Coprinus comatus*) gibi bazıları, sert yapıda olmamalarına rağmen asfaltı delebilir, ağır kaldırım taşlarını kaldırabilirler. Bir söbelen mantarını pişirip yiyebilirsiniz. Kavanoza koyarsanız parlak beyaz dokusu birkaç gün içinde çözünerek çini mürekkebi gibi kapkara bir sıvıya dönüşür (bu kitaptaki illüstrasyonlar *Coprinus* mürekkebiyle çizildi).[8]



Söbelen mantarından yapılan mürekkeple çizilmiş söbelen mantarı, *Coprinus comatus*.

Mantarlar metabolik hünerleri sayesinde çok çeşitli ilişkiler kurabilir. Bitkiler beslenme ve savunma açısından ister köklerinde ister sürgünlerinde olsun her zaman mantarlara bağımlı olmuştur. Hayvanlar da mantarlara bel bağlar. İnsandan sonra, yeryüzündeki en büyük ve karmaşık toplumlardan birini oluşturan hayvan, yaprak kesen karıncadır. Yeraltında bir ucundan diğerine genişliği otuz metreyi aşan yuvalarda yaşayan kolonilerdeki birey sayısı sekiz milyonu aşabilir. Bu karıncaların yaşamlarının merkezi, mağaramsı odacıklarda yetiştirdikleri ve yaprak parçacıklarıyla besledikleri bir mantardır.[9]

İnsan toplumlarının da mantarlarla olan ilişkisi en az bu kadar sıkı fıkıdır. Mantarların sebep olduğu hastalıklar özellikle tarımda milyarlarca dolarlık zarara yol açar; çeltik yanıklığı mantarı her yıl altmış milyondan fazla insanı besleyebilecek miktarda pirince zarar verir. Hollanda karaağaç hastalığından kestane kanserine, ağaçlarda görülen mantar hastalıkları ormanları ve araziyi değiştirir. Romalılar mantar hastalıklarını önlemesi için mildiyö* tanrısı Robigus'a dua ederlerdi; buna rağmen Roma İmparatorluğu'nun çökmesinde rol oynayan kıtlıklara engel olamamışlardı. Mantar hastalıklarının etkisi bütün dünyada artıyor: Sürdürülebilir olmayan tarım uygulamaları bitkilerin, bağımlı oldukları faydalı mantarlarla ilişki kurma becerisini köreltiyor. Mantar hastalıklarıyla mücadelede antifungal denen kimyasalların yaygın kullanımı hem insan hem de bitki sağlığını tehdit eden eşi benzeri görülmemiş yeni süper mantarların ortaya çıkmasına yol açtı. Bu yaklaşımımızla hastalıklara sebep olan mantarların yayılmasına yol açarken bir yandan da evrilmeleri için yeni fırsatlar yaratıyoruz. Son elli yıl içinde amfibileri enfekte eden ve bugüne dek kaydedilmiş en ölümcül hastalığa sebep olan bir mantar ticari faaliyetlerle bütün dünyaya yayıldı. Doksan amfibi türünün soyunun tükenmesine yol açan bu mantar yüzden fazla amfibi türünü de tehdit ediyor. Küresel muz ticaretinin yüzde doksan dokuzunu oluşturan ve bir mantar hastalığının kırıp geçirdiği Cavendish çeşidi (varyetesi) önümüzdeki yıllarda yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bulunuyor.[10]

---

* Phytophthora grubu mantarların çeşitli bitkilerde sebep olduğu bir hastalık. (*ç.n.*)

Ne var ki insanlar da yaprak kesen karıncalar gibi bazı acil sorunları çözmek için mantarlardan faydalanmanın yollarını buldular. Hatta mantarların kullanıldığı çözümlerin geçmişi muhtemelen *Homo sapiens*'in tarihinden de eskilere dayanıyor. 2017'de araştırmacılar, modern insanın akrabası olan ve yaklaşık elli bin yıl önce nesli tükenen Neandertallerin beslenme tarzını incelediler. Diş apsesi olan bir Neandertalin, bir mantar türü –penisilin üreten bir küf– yediğini buldular ki bu, Neandertallerin küfün antibiyotik özelliğini bildiklerini düşündürüyor. Bu kadar eski olmamakla birlikte, yaklaşık beş bin yıl öncesine ait son derece iyi korunmuş ve bir buzul kütlesinin içinde bulunmuş bir Neolitik ceset olan Buz Adam Ötzi gibi başka örnekler de var. Buz Adam öldüğü gün, ateş yakmak için kullandığını neredeyse kesinkes söyleyebileceğimiz kav mantarı (*Fomes fomentarius*) tomarlarıyla dolu bir kese ve büyük olasılıkla ilaç olarak kullandığı, özenle hazırlanmış huş mantarı (*Fomitopsis betulina*) parçaları taşıyordu.[11]

Avustralya yerlileri, okaliptüs ağaçlarının gölgede kalan yüzlerinden topladıkları küfleri yara tedavisinde kullanıyorlardı. Yahudilerin Talmud'unda, hurma şarabına batırılmış küflü mısırdan oluşan ve "chamka" adıyla bilinen bir küf tedavisinden bahsedilir. MÖ 1500'lerden kalma Antik Mısır papirüsleri küfün tedavi edici özelliklerine atıfta bulunur. 1640'ta Londra'da kralın bitki uzmanı John Parkinson, küflerin yara tedavisinde kullanımını tarif etmişti. Fakat Alexander Fleming'in bakterileri öldüren bir kimyasal olan penisilini tanımlaması 1928'i buldu. İlk modern antibiyotik olan penisilin o zamandan bu yana sayısız hayat kurtardı. Fleming'in keşfi modern tıpta çığır açan gelişmelerden biri kabul edilir ve İkinci Dünya Savaşı'ndaki güç dengesinin değişmesinde rol oynadığı düşünülür.[12]

Mantarları bakteri enfeksiyonundan koruyan penisilinin insanları da koruduğu anlaşıldı. Bunda yadırganacak bir taraf yok çünkü mantarlar uzun zamandan beri bitkilerle birlikte gruplandırılmalarına rağmen hayvanlarla daha yakın akrabadır ve onları bitkilerle aynı gruba sokmak, mantarların yaşamını anlamaya çalışan araştırmacıların devamlı yaptıkları bir kategori hatası örneğidir. Moleküler düzeyde mantarlarla insanlar aynı biyokimyasal yeniliklerden fayda görecek kadar birbirine benzer. Mantarlar tarafından üretilen ilaçları

kullanırken genellikle mantarın ürettiği bir çözümü alıp kendi vücudumuza uygularız. Mantarlar farmasötik açıdan üretkendir; nitekim günümüzde penisilinin yanı sıra, birçok başka kimyasal bakımından onlara bağımlıyız. Bunlar arasında siklosporini (organ naklini mümkün kılan, bağışıklık sistemini baskılayan bir ilaç), kolesterol düşürücü statinleri, güçlü antiviralleri ve kanser tedavisinde kullanılan bileşikleri (milyarlarca dolarlık bir pazarı olan Taxol ilk olarak porsuk ağacında yaşayan mantarlardan elde edilmişti), mayaların fermantasyonu sonucu oluşan alkolü ve psilosibini (son zamanlarda yapılan klinik çalışmalar, halüsinojen mantarlardaki bu aktif bileşenin ağır depresyon ve anksiyetede işe yaradığını gösterdi) sayabiliriz. Sanayide kullanılan enzimlerin yüzde altmışını mantarlar, aşıların yüzde on beşini genetik mühendislik yöntemleriyle geliştirilmiş maya suşları üretir. Mantarların ürettiği sitrik asit bütün gazlı içeceklerde kullanılır. Yenebilir mantarların 2018'de 42 milyar dolar değerinde olan ve hızla büyüyen küresel pazarının 2024'te 69 milyar dolara ulaşması bekleniyor. Tıbbi mantarların satışı da her geçen yıl artıyor.[13]

Mantarların ürettiği çözümler insan sağlığıyla sınırlı değil. Radikal mantar teknolojileri, süregiden çevresel tahribatın yarattığı sorunların bir kısmını çözmemize yardım edebilir. Mantar miselyumunun ürettiği antiviral bileşikler balarılarında görülen koloni çökme bozukluğunu azaltır. Petrol sızıntılarından çevreye yayılan ham petrol gibi kirleticileri, mantarların doymak bilmez iştahından faydalanarak, mikoremediasyon yöntemiyle parçalayabiliyoruz. Mikofiltrasyonla miselyum tabakalarından geçirilen kirli suyun içindeki ağır metalleri süzüp toksinleri parçalayabiliyoruz. Mikofabrikasyonla miselyumdan üretilen yapı malzemeleri ve dokumalar, plastiğin ve derinin yerini alabilir. Radyasyona dirençli mantarların ürettiği fungal melaninler radyasyona dayanıklı biyolojik malzemeler açısından ümit vaat eden yeni bir kaynak oluşturmaktadır.[14]

İnsan toplumları öteden beri mantarların olağanüstü metabolizması ekseninde gelişti. Mantarların kimyasal hünerlerinin tamamını anlatmaya kalksak aylar sürer. Fakat vaat ettikleri onca şeye ve antikçağdan beri insanın hayranlığına mazhar olmalarına rağmen mantarlar, hayvanlar ve bitkilere gösterilen ilgiden pek az nasibini almıştır. En iyi tahminlere göre dünyada 2,2 ila 3,8 milyon, yani tahmini bitki

türünün altı ila on katı kadar mantar türü yaşıyor. Bu da bütün mantar türlerinin sadece yüzde altısının tanımlanmış olduğu anlamına geliyor. Mantarların karmaşık ve incelikli yaşamının özelliklerini daha yeni yeni anlamaya başlıyoruz.[15]

KENDİMİ BİLDİM BİLELİ mantarlar ve tahrik ettikleri dönüşümler beni büyülemiştir. Yekpare bir kütük un ufak olup toprağa dönüşür, bir parça mayalı hamur kabarıp ekmek olur, şapkalı mantar bir gecede topraktan bitiverir: Bütün bunlar nasıl olur? Ergenliğin getirdiği şaşkınlıkla başa çıkmak için kendimi mantarlara vermiştim. Mantar topluyor, yatak odamda mantar yetiştiriyordum. Sonraları mayalar ve üzerimdeki etkileri hakkında daha fazlasını öğrenebilme ümidiyle alkol mayalamaya başladım. Balın bal şarabına, meyve suyunun şaraba dönüşmesine ve sonuçta ortaya çıkan ürünün benim ve arkadaşlarımın duyularında yarattığı dönüşümlere hayran kaldım.

Mantar Bilimleri Bölümü bulunmayan Cambridge Üniversitesi'nin Bitki Bilimleri Bölümü'nde lisans öğrencisi olduğum sıralarda mantarlar üzerinde çalışmaya başlayınca, farklı organizmalar arasında kurulan yakın ilişkiler olarak tanımlanan simbiyozun büyüsüne kapıldım. Anlaşılan, yaşam tarihi samimi işbirlikleriyle doluydu. Bitkilerin çoğunun, havadan aldıkları karbondioksiti ve ışığı kullanarak fotosentez yoluyla ürettikleri enerji kaynağı olan şekerler ve yağlar karşılığında, kendilerine topraktan fosfor ve azot gibi besin maddelerini temin eden mantarlara bağımlı olduğunu öğrendim. Bitkilerle mantarlar arasındaki ilişki, bildiğimiz haliyle biyosferin oluşmasını sağladığı ve bugüne dek karalar üzerinde yaşamı desteklediği halde bu ilişki hakkında çok az şey biliyorduk. Bu ilişkiler nasıl ortaya çıkmıştı? Bitkilerle mantarlar nasıl iletişim kuruyorlardı? Bu organizmaların yaşamını daha iyi nasıl öğrenebilirdim?

Doktoralı bir araştırmacının Panama'daki tropikal ormanlarda mikorizal ilişkileri inceleme teklifini kabul ettim. Kısa bir süre sonra, Smithsonian Tropikal Araştırmalar Enstitüsü'nün bir adada bulunan saha istasyonuna taşındım. Ada ve etrafındaki yarımadalar, yatakhaneler, bir kantin ve laboratuvar binaları dışında ormanlarla kaplı bir doğa koruma alanının parçasıydı. Bitkileri yetiştirmek için seralar, torba torba yaprakla dolu kurutma dolapları, mikroskopların sıralandığı

bir oda ve şişeler dolusu ağaç özsuları, yarasa ölüleri, dikenli sıçanların sırtlarından toplanmış keneler gibi envaiçeşit örnekle tıka basa dolu bir soğuk hava deposu vardı. Duyuru panosundaki ilanlarda, ormanda taze oselo dışkısı bulana para ödülü teklif ediliyordu.

Cangıl yaşamla kıpır kıpırdı. Tembel hayvanlar, pumalar, yılanlar, timsahlar, suyun yüzeyinde batmadan koşabilen basilisk kertenkeleleri vardı. Sadece birkaç hektarlık alan üzerinde, bütün Avrupa'daki kadar çok odunsu bitki türü yaşıyordu. Ormandaki biyoçeşitlilik, araştırma yapmak için gelen saha biyologlarının zengin çeşitliliğine de yansıyordu. Biyologların bazıları ağaçlara tırmanıp karıncaları gözlemliyordu. Bazıları her gün şafak sökerken maymunların peşine düşüyordu. Bazıları tropikal fırtınalar sırasında ağaçlara düşen yıldırımların izini sürüyordu. Bazıları günlerini bir vince asılı vaziyette ormanın tepe tacındaki ozon derişimlerini ölçerek geçiriyordu. Bazıları toprağı elektrikle ısıtıp bakterilerin küresel ısınmaya verebileceği tepkileri inceliyordu. Bazılarıysa kınkanatlıların yıldızlara göre yönlerini nasıl bulduğunu araştırıyordu. Bombus arıları, orkideler, kelebekler... Ormandaki yaşamın gözlemlenmeyen bir yönü yok gibiydi.

Bu araştırmacı topluluğunun yaratıcılığından ve mizah anlayışından çok etkilenmiştim. Laboratuvarda çalışan biyologlar zamanlarının çoğunu yaşamın belli parçalarını inceleyerek geçirirler. Kendi hayatları, inceledikleri şeyin bulunduğu deney tüplerinin dışında kalır. Oysa saha biyologları nadiren bu denli kontrol yetkisine sahiptir. Onların çalışma ortamında deney tüpü dünyadır ve kendileri de o tüpün içindedir. Güç dengeleri farklıdır. Deney yerini işaretlemek için diktikleri bayraklar fırtınayla savrulur. Araştırdıkları yere ağaç devrilir. Topraktaki besin maddelerini ölçmeyi planladıkları yerde tembel hayvanlar ölür. Sökün eden mermi karıncalarının ısırıklarına maruz kalırlar. Orman ve sakinleri bilim insanlarının kafasındaki her türlü yanılsamayı yerle bir eder. Tevazu kısa sürede öğrenilir.

Bitkilerle mikorizal mantarlar arasındaki ilişkiler, ekosistemlerin işleyişini anlamamız açısından kritik önem taşır. Besin elementlerinin mantar ağlarından nasıl geçtiğini daha ayrıntılı öğrenmek istiyordum ama yeraltında neler olup bittiğini düşünmek başımı döndürüyordu. Bitkiler ve mikorizal mantarlar ayrım yapmaz: Tek bir bitkinin kökleri arasında birçok mantar yaşayabileceği gibi, birçok bitki tek bir

mantar ağıyla birbirine bağlanabilir. Böylece besin elementlerinden sinyal bileşiklerine, çeşitli maddeler mantar bağlantıları yoluyla bitkiden bitkiye aktarılabilir. Basit ifadesiyle bitkilerin sosyal ağı mantarlardır. "Orman çapında ağ" kavramıyla kastedilen budur. Çalıştığım tropikal ormanlar yüzlerce bitki ve mantar türü içeriyordu. Bu ağlar akla hayale sığmayacak düzeyde karmaşıktır; etkileriyse çok kapsamlı olup hâlâ yeterince anlaşılamamıştır. Başka bir gezegenden gelen bir antropoloğun modern insanı yıllarca inceledikten sonra internet kullandığımızı keşfettiğinde yaşayacağı şaşkınlığı düşünün. Günümüz ekologları açısından durum biraz buna benzer.

Topraktaki mikorizal mantarların oluşturduğu ağları araştırmak için binlerce toprak örneği ve ağaç kökü kırpıntısı topladım, ezip macun haline getirdim ve içerdikleri yağları ya da DNA'yı ayırdım. Farklı mikorizal mantar topluluklarıyla birlikte yaşayan yüzlerce bitkiyi saksılarda yetiştirip yapraklarının ne kadar büyüdüğünü ölçtüm. Kediler girmesin ve dışarıdan getirdikleri serseri mantar topluluklarını bulaştırmasın diye seraların etrafına çepeçevre karabiber serptim. Bitkilere kimyasal işaretleyiciler verdim ve bu maddelerin ne kadarının mantar ortaklardan geçtiğini ölçebilmek için köklerden toprağa kadar iz sürdüm; bunlardan da örnek alıp ezdim, macun yaptım. Sık sık arızalanan küçük bir tekneyle ormanlık yarımadaların etrafını turladım, nadir bitkileri bulmak için çağlayanlara tırmandım, çamurlu patikalarda kilometrelerce yol tepip sırt çantamda balçık taşıdım ve cangılın yapışkan kızıl çamur deryasında kamyonet sürdüm.

Yağmur ormanlarında yaşayan organizmalar içinde beni en çok büyüleyen, yerden bitiveren küçük bir çiçek türüydü. Bu bitkiler bir kahve fincanı boyundaydı ve soluk, cılız saplardan her birinin ucunda uçuk mavi bir çiçek açıyordu. *Voyria* denen bu gentiyan türü uzun zaman önce fotosentez yapma becerisini yitirmişti. Fotosentezi mümkün kılan ve bitkilere yeşil rengini veren klorofil pigmentini de yitirmişti. *Voyria* beni şaşkına çevirmişti. Fotosentez, bitkileri bitki yapan özelliklerinden biriydi. Bu bitkiler fotosentez yapmadan nasıl yaşayabiliyordu?

Voyria'nın mantar ortaklarıyla sıra dışı bir ilişkisi olduğundan şüpheleniyordum; acaba bu çiçekler bana toprağın altında olan bitenle ilgili bir şeyler anlatabilir miydi? Cangılda haftalarca *Voyria* aradım.

Bazı çiçekler ormandaki açık alanlarda yetişiyordu ve hemen göze çarpıyordu. Bazılarıysa ağaçların toprak yüzeyindeki kalın destek köklerinin arkasına gizleniyordu. Çeyrek futbol sahası büyüklüğünde bir alanda yüzlerce çiçek olabiliyordu ve hepsini saymak zorundaydım. Ormanda açık ve düz alanlar pek nadir olduğundan genellikle iki büklüm vaziyette güçlükle ilerliyordum. Her akşam saha istasyonuna kir pas içinde, bitkin dönüyordum. Yemekte Hollandalı ekolog arkadaşlarım, narin sapların ucundaki sevimli çiçekler hakkında espriler yapıyorlardı. Onlar tropikal ormanların hangi yollarla karbon depoladığını araştırıyorlardı. Ben ayaklarımı sürüye sürüye dolaşarak gözlerimi kısmış, yerde minicik çiçekler ararken, onlar ağaç gövdelerinin çevresini ölçüyorlardı. Ormanın karbon bütçesi açısından *Voyria* önemsizdi. Hollandalı arkadaşlarım benim küçük ekolojimle ve zarif hayranlıklarımla dalga geçerlerdi, bense onların kaba ekolojisi ve maçoluklarıyla. Ertesi sabah şafak sökerken yine yola koyulur, bu acayip bitkilerin yeraltına, yaşamla kıpır kıpır olan bu gizli dünyaya açılan bir yol bulmama yardım edebileceği ümidiyle gözlerimi yerden ayırmaksızın yürürdüm.

İSTER ORMANDA OLSUN ister laboratuvarda ya da mutfakta, mantarlar yaşamın işleyişine dair anlayışımı değiştirdi. Bu organizmalar kategorilerimizde soru işaretleri yaratır ve onları düşünmek, dünyayı gözümüze farklı gösterir. Beni bu kitabı yazmaya iten şey de bunu yapabilecek güçlerinin olmasından giderek daha fazla keyif almam oldu. Mantarların önüme koyduğu belirsizliklerin tadını çıkarmanın yollarını bulmaya çalıştım ama açık uçlu soruların arasındaki alanda rahat etmek her zaman kolay değildir. Agorafobi başlayabilir. Kolay yanıtlardan inşa edilmiş odacıklarda saklanmak cazip gelir. Bundan kaçınmak için elimden geleni yaptım.

Filozof ve sihirbaz dostum David Abram, Massachusetts'te, Arlo Guthrie'nin şarkısıyla ünlenen Alice'in Restoranı'nda sihirbazlık yapıyordu. O her gece masadan masaya gezerken bozuk paralar parmaklarının arasında bir görünüp bir kayboluyor, olmadık bir yerde beliriyor, tekrar kayboluyor, birken iki oluyor ve sonra sırra kadem basıyordu. Bir akşam, restorandan ayrılan iki müşteri az sonra geri gelip David'i bir kenara çektiler; belli ki canları bir şeye sıkılmıştı.

Söylediklerine göre restorandan çıktıklarında gökyüzü gözlerine şaşırtıcı derecede mavi, bulutlarsa kocaman ve canlı görünmüştü. David içkilerine bir şey mi karıştırmıştı? Sonraki haftalarda da aynı şey oldu; müşteriler geri gelip trafiğin daha önce olmadığı kadar gürültülü, sokak lambalarının daha parlak, kaldırımdaki desenlerin daha muhteşem, yağmurun daha ferahlatıcı geldiğini söylüyorlardı. Sihirbazlık numaraları insanların dünyayı tecrübe etme biçimini değiştiriyordu.

David'in niye böyle olduğuna dair bir açıklaması vardı. Algılarımız büyük ölçüde beklentilerimiz doğrultusunda çalışır. Sürekli yoktan yeni algılar var etmek yerine zihnimizde daha önce oluşmuş görüntüleri az miktarda yeni duyusal enformasyonla güncelleyerek kullanmak daha az bilişsel çaba gerektirir. Sihirbazlar numaralarını yaparken, verdiğimiz peşin hükümlerin yarattığı kör noktalardan faydalanırlar. Aralıksız tekrarlar, ellerin ve bozuk paraların hareketleriyle ilgili beklentilerimizi giderek zayıflatır. Sonunda daha genel anlamda algılarımıza dair beklentilerimiz de zayıflar. Gökyüzü, restorandan ayrılan müşterilere farklı görünmüştü çünkü bu insanlar gökyüzünü olmasını bekledikleri gibi değil, gerçekten nasılsa öyle görmüşlerdi. Beklentilerimizden sıyrılınca duyularımız açılır. Şaşırtıcı olan şey, bulmayı beklediklerimiz ile gerçekten baktığımızda bulduklarımız arasındaki uçurumdur.[16]

Mantarlar da peşin hükümlerimizden sıyrılmamızı sağlar. Yaşamları ve davranışları şaşırtıcıdır. Mantarları inceledikçe beklentilerim giderek azaldı ve aşina olduğum kavramlar giderek yabancı gelmeye başladı. Biyolojik araştırmalarda hızla gelişen iki alan hem bu şaşkınlık içinde yönümü bulmama yardımcı oldu hem de mantarlar dünyasındaki araştırmalarıma rehberlik etti.

Bunlardan ilki, hayvanlar âlemi dışındaki beyni olmayan canlılarda gelişmiş problem çözme davranışlarına yönelik farkındalığın giderek artmasıydı. En iyi bilinen örneklerinden biri, *Physarum polycephalum* gibi cıvıkmantarlardır (aslında bunlar, gerçek küflerin tersine mantar değil, amiptir). Daha sonra göreceğimiz gibi, cıvıkmantarlar beyni olmayan canlılar arasında problem çözebilen yegâne organizma değildirler ama onlarla çalışmak kolaydır ve yeni araştırmalara uzanan yolları açmış oldukları için de ikonlaşmışlardır. *Physarum* dokunaç benzeri damarlardan oluşan araştırıcı ağlar meydana getirir; bir

merkezi sinir sistemi ya da herhangi bir benzer yapı içermez. Buna rağmen farklı eylem seçenekleri arasında bir seçim yaparak "karar verebilir" ve bir labirentte iki nokta arasındaki en kısa yolu bulabilir. Japon araştırmacılar Tokyo Metropolü modelini oluşturdukları petri kaplarına cıvıkmantarları yerleştirdiler. Yulaf ezmesiyle başlıca şehir merkezlerini işaretlediler; cıvıkmantar ışığı sevmediği için dağları ve benzeri engelleri temsilen parlak ışıklar kullandılar. Ertesi gün cıvıkmantar yulaf ezmesi taneleri arasındaki en elverişli rotayı bularak Tokyo'daki raylı sisteme neredeyse özdeş bir ağ oluşturmuştu. Benzer deneylerde cıvıkmantarlar ABD'deki otoyol ağını ve Orta Avrupa'daki Antik Roma yollarını yeniden oluşturmuştur. Cıvıkmantarlara meraklı biri yaptığı bir deneyi anlatmıştı. IKEA mağazalarında sık sık kayboluyor, çıkışı bulmak için dakikalarca uğraşıyordu. Cıvıkmantarlara aynı sorunla meydan okumaya karar verdi ve semtindeki IKEA şubesinin kat yerleşim planına uygun bir labirent tasarladı. Cıvıkmantarlar beklendiği üzere yönlendirici bir işaret ya da yardımcı personel olmadığı halde kısa sürede çıkışa giden en kısa yolu buldu. "Görüyorsun ya," demişti gülerek, "onlar benden daha zeki."[17]

Cıvıkmantarları, mantarları ve bitkileri "zeki" olarak tanımlayıp tanımlamamak bakış açısına göre değişir. Klasik bilimsel zekâ tanımları insanı kıstas kabul ederek diğer bütün türlerin zekâsını ona göre ölçer. Bu insanmerkezli tanımlara göre insanlar zekâ sıralamasında her zaman en tepededir; ardından bize benzeyen hayvanlar (şempanzeler, bonobolar vb.), sonra da diğer "gelişmiş" hayvanlar gelir ve sıralama bir lig puan tablosu gibi aşağıya doğru devam eder. Antik Yunanların ortaya attığı bu zekâ sıralaması o ya da bu şekilde günümüze kadar gelmiştir. Bu organizmalar bize benzemedikleri ya da dışarıdan bakıldığında bizim gibi davranmadıkları veya bir beyne sahip olmadıkları için geleneksel olarak ölçeğin alt sıralarına yerleştirilmişlerdir. Genellikle hayvan yaşamının durağan zemini gibi düşünülürler. Oysa birçoğu "problem çözme", "iletişim kurma", "karar verme", "öğrenme" ve "hatırlama"nın organizmalar için taşıdığı anlamı yeni bir bakış açısıyla düşünmemizi sağlayan incelikli davranışlar sergiler. Böylece modern düşüncenin altında yatan tartışmalı hiyerarşilerden bazıları gevşemeye başlar. Bu gevşeme, insan olmayan canlılara ve dünyaya karşı takındığımız tahripkâr tutumu değiştirmeye başlayabilir.[18]

Bana yol gösteren ikinci araştırma alanı, gezegenin her santimini kaplayan mikroskobik organizmalar, yani mikroplar hakkındaki düşünme biçimimizdi. Son kırk yılda yeni teknolojiler sayesinde mikropların hayatına benzeri görülmemiş ölçüde erişebilir hale geldik. Sonuç? Vücudunuz, kendi mikrop topluluğunuz, yani "mikrobiyomunuz" için bir gezegendir. Mikropların bazıları kafa derinizin ılıman ormanlarında, bazıları önkolunuzun kurak düzlüklerinde, bazılarıysa kasıklarınızın ya da koltukaltınızın tropikal ormanlarında yaşamayı tercih eder. Bağırsaklarınız (açıldığında otuz iki metrekarelik alan kaplar), kulaklarınız, ayak parmaklarınız, ağzınız, gözleriniz, deriniz, sahip olduğunuz her yüzey, geçit ve boşluk bakteriler ve mantarlarla doludur. Vücudunuzda "kendi" hücrelerinizden daha fazla mikrop bulunur. Bağırsaklarınızda, galaksimizdeki yıldızlardan daha fazla bakteri vardır.[19]

İnsanlar söz konusu olduğunda bir bireyin nerede sona erip bir diğerinin nerede başladığını bilmek için genellikle düşünmemiz gerekmez. En azından modern sanayi toplumlarında bedenimizin başladığı yerde başlayıp bittiği yerde sonlandığımızı sorgusuz sualsiz kabul ederiz. Modern tıptaki gelişmeler, örneğin organ nakli, bu ayrımları zorlar; mikrobiyoloji bilimindeki gelişmelerse temelden sarsar. Hepimiz, önemi yeni yeni anlaşılmaya başlayan bir mikroplar ekolojisinin oluşturduğu ve ayrıştırdığı ekosistemleriz. Vücudumuzun içinde ve üzerinde yaşayan kırk küsur trilyon mikrop besinleri sindirmemizi sağlar ve bizi besleyen önemli mineralleri üretir. Bitkilerin içinde yaşayan mantarlar gibi, bu mikroplar da bizi hastalıklardan korur. Vücudumuzun ve bağışıklık sistemlerimizin gelişimini yönlendirir, davranışlarımızı etkiler. Denetlenmediğinde hastalıklara neden olur, hatta bizi öldürebilir. Biz özel bir örnek değiliz. Bakterilerin bile kendi virüsleri (nanobiyom?) vardır. Hatta virüslerin içinde daha da küçük virüsler (pikobiyom?) bulunabilir. Simbiyoz, yaşamın her alanında, her zaman karşımıza çıkar.[20]

Panama'da tropikal mikroplarla ilgili bir konferansa katılmıştım. Birçok araştırmacıyla birlikte çalışmalarımızın sonuçları karşısında giderek daha fazla şaşkınlığa kapıldığımız üç gün geçirdik. Bir araştırmacı, yapraklarında bir grup kimyasal üreten bazı bitkilerle ilgili bir konuşma yaptı. O zamana kadar bu kimyasalların, o bitki

grubunun tanımlayıcı bir özelliği olduğu düşünülüyordu. Ne var ki söz konusu kimyasalların, bitkinin yapraklarında yaşayan mantarlar tarafından üretildiği anlaşılmıştı. Bitkinin sınırlarına dair görüşümüzü gözden geçirmemiz gerekiyordu. Bir başka araştırmacı söz aldı ve bu kimyasalları üretenin yaprakta yaşayan mantarlar değil, mantarın içinde yaşayan bakteriler olabileceğini söyledi. Konuşmalar bu minvalde devam etti. İki gün sonra birey kavramı tanıyamayacağımız kadar derinleşmiş ve genişlemişti. Bireyler hakkında konuşmanın anlamı kalmamıştı. Canlı organizmaları inceleyen bilim dalı olarak tanımlanan biyoloji, canlı organizmalar arasındaki ilişkileri inceleyen bilim dalı olan ekolojiye dönüşmüştü. Pek az şey biliyor olmamız durumu daha da güçleştiriyordu. Ekrana yansıtılan, mikrop topluluklarını gösteren grafiklerde, geniş bölümlerin üzerinde "bilinmiyor" yazısı okunuyordu. Modern fizikçilerin tanımına göre evrenin yüzde doksan beşinden fazlasının "karanlık madde" ve "karanlık enerji"den oluştuğu geldi aklıma. Karanlık madde ve enerjinin karanlık olmalarının nedeni, haklarında hiçbir şey bilmememizdir. Buradaki de biyolojik karanlık madde ya da karanlık yaşamdı.[21]

Zamandan kimyasal bağlara, genlerden türlere, birçok bilimsel kavramın sabit bir tanımı yoktur ama bunlar düşünmeyi kolaylaştıran kategoriler oluşturur. "Birey" kavramı da insan düşüncesini ve davranışını yönlendiren bir başka kategori olarak düşünüldüğünde bir açıdan bundan farklı değil. Fakat felsefi, siyasi ve iktisadi sistemlerimiz bir yana, günlük hayatın ve tecrübenin önemli bir bölümü bireylere bağımlı olduğundan, birey kavramının eriyip gitmesine seyirci kalmak zor olabilir. Bu durumda "biz" kavramı ne olacak? Peki ya "onlar"? "Ben"? "Benim"? "Herkes"? "Herhangi biri"? Konferanstaki tartışmalara cevabım sadece entelektüel düzeyde değildi. Alice'in Restoranı'nda yemek yiyenler gibi, kendimi farklı hissediyordum: Aşina olduklarım yabancılaşmıştı. Mikrobiyom araştırmaları alanında çalışan ve devlet işlerinde görüşü alınan bir araştırmacıya göre "Benlik duygusu kaybı, benlik sanrıları ve 'uzaylılar tarafından kontrol edilme' deneyimi" gibi belirtilerin hepsi ruhsal hastalık belirtileridir. Bu kadar çok fikrin ve özellikle de kültürel açıdan kıymet verdiğimiz kimlik, özerklik ve bağımsızlık kavramlarının yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini düşünmek benim için baş döndürücüydü.

Mikrobiyolojik bilimlerdeki ilerlemeleri bu denli heyecan verici kılan şey, kısmen bu huzursuz edici duygudur. Mikroplarla olan ilişkilerimiz olabildiğince samimidir. Bu ilişkileri daha iyi öğrenmek kendi bedenimizle ve yaşadığımız yerlerle ilgili deneyimimizi değiştirir. "Biz" sınırları aşan ve kategorileri ihlal eden ekosistemleriz. Kendimiz dediğimiz şey, daha yeni yeni anlamaya başladığımız karmaşık bir ilişkiler yumağından doğar.[22]

İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ kafa karıştırıcı olabilir. İlişkilerin hemen hepsi muğlaktır. Yaprak kesen karıncalar mı bağımlı oldukları mantarı evcilleştirmiştir yoksa mantar mı karıncaları? Bitkiler mi birlikte yaşadıkları mantarları yetiştirir, mantarlar mı bitkileri? Ok hangi yönü gösterir? Bu belirsizlik sağlıklıdır.

Ekolog ve tarihçi Profesör Oliver Rackham, ekosistemlerin binlerce yıldır insan kültürlerini nasıl biçimlendirdiğini ve onlar tarafından nasıl biçimlendirildiğini inceliyordu. Bizi civardaki ormanlara götürür, yaşlı meşe ağaçlarının dallarındaki büklümleri ve yarıkları okuyarak, ısırganların nerede serpildiğini gözlemleyerek, çalı çitlerin hangi bitkilerden meydana geldiğine bakarak bu yerlerin ve buralarda yaşamış insanların tarihini anlatırdı. "Doğa" ile "kültür" arasında var olduğunu düşündüğüm keskin sınır Rackham'ın etkisiyle bulanıklaşmaya başlamıştı.

Sonraları Panama'da saha çalışması yaptığım sıralarda saha biyologlarıyla inceledikleri organizmalar arasında karmaşık ilişkiler olduğunu gördüm. Gece boyu uyanık kalıp gün boyu uyuyan yarasabilimcilere şaka yollu yarasaların huylarını kaptıklarını söylüyordum. Mantarların üzerimde nasıl bir iz bıraktığını soruyorlardı bana. Hâlâ emin değilim. Ama dünyaları birbirine bağlayan, yenileyen, geridönüştüren ve ağ kuran mantarlara göbekten bağlı olduğumuz bu ilişkide onların borusunun sandığımızdan da fazla ötüyor olabileceğini düşünüyorum.

Öyle bile olsa unutuveririz. Bu fikirden kopup toprağı sık sık soyut bir yer, şematik etkileşimlerin gerçekleştiği müphem bir meydan olarak görürüm. Meslektaşlarım da ben de şöyle şeyler söyleriz: "Falan falan, kuru mevsimden bir sonraki yağışlı mevsime kadar topraktaki karbonda yaklaşık yüzde yirmi beşlik bir artış olduğunu bildirdi."

Böyle konuşmamak elimizde mi? Bizim için topraktaki yaban doğayı ve onun içinde kaynaşan sayısız canlıyı deneyimlemenin başka yolu yok ki.

Elimdeki araç gereçle denedim. Topladığım binlerce örnek, tüplerin içeriğini çalkalayan, radyasyona maruz bırakan ve bir sayı dizisine dönüştüren pahalı makinelerden geçti. Bitki hücreleriyle hareketsiz, muğlak bir cinsel münasebete girmiş, köklerle dolu bir manzaranın içine gömülü kıvrım kıvrım hiflere bakarak mikroskop başında aylarımı harcadım. Lakin görebildiğim mantarlar ölüydü; tahnit edilmiş, sahte renklere boyanmıştı. Kendimi beceriksiz bir hafiye gibi hissediyordum. Ben çömelmiş, küçük tüplere çamur parçaları koymakla haftalarca uğraşırken, etrafımda tukanlar ötüyor, uluyan maymunlar böğürüyor, tropikal sarmaşıklar ağaçlara dolanıyor, karıncayiyenler sağı solu yalıyordu. Mikropların, özellikle de toprakta yaşayanların hayatı, toprağın üstünde yaşayan büyük canlıların coşkulu, karizmatik dünyasında olduğu gibi erişilebilir değildi. Gerçekten de bulgularımı canlı kılmak, genel anlayışın üstüne bir şeyler ekleyip katkıda bulunmasını sağlamak için hayal gücü gerekiyordu. Başka yolu yoktu.

Bilim çevrelerinde hayal gücü genellikle spekülasyonla birlikte anılır ve şüpheyle karşılanır; yayınlarda genellikle zorunlu bir uyarıyla birlikte sunulur. Araştırmayı yazıya dökmenin bir parçası da içerdiği hayali fikirleri, sonsuz döngüleri ve en küçük bulguyu dahi elde etmek için geçilen yüzlerce deneme yanılmanın ayıklanmasıdır. Bir çalışmayı okurken gereksiz detayların içine dalmayı herkes istemez. Ayrıca bilim insanları güvenilir görünmelidir. Kulise bir göz atarsanız insanları sahnedeki hallerinden farklı görebilirsiniz. Sahne arkasında meslektaşlarımla geceleri daldığımız derin sohbetlerde dahi ister balık olsun ister bromelia, tropikal sarmaşık ya da mantar veya bakteri, incelediğimiz organizmaları hayalimizde –ezkaza ya da kasten– nasıl canlandırdığımızın detaylarına girmeye çekinirdik. Temelsiz varsayımlar, fanteziler ve metaforlar yumağının araştırmamızın biçimlenmesine yardım etmiş olabileceğini itiraf etmek bir bakıma utanç vericiydi. Ama ne olursa olsun hayal gücü günlük sorgulama işinin bir parçasıdır. Bilim soğukkanlı bir rasyonellikle yapılan bir egzersiz değildir. Bilim insanları öteden beri, varoluş sebebi kataloglanmak ya da sistemleştirilmek olmayan bir dünyayla ilgili sorular soran,

duygusal, yaratıcı, sezgileri güçlü insanlar olmuşlardır. Kendime şu mantarlar ne yapıyor diye sorduğum ve davranışlarını anlamamı sağlayacak çalışmalar tasarladığım her seferinde aslında onları hayalimde canlandırıyordum.

Bir deney beni bilimsel hayal gücümün derin çıkmazlarına inmeye zorladı. LSD'nin bilim insanları, mühendisler ve matematikçilerin problem çözme becerileri üstündeki etkileriyle ilgili bir klinik araştırmaya katıldım. Araştırma, psikedelik maddelerin* yeterince yararlanılmayan potansiyeline yönelik bilimsel ve tıbbi ilgiyi yeniden canlandırma girişiminin bir parçasıydı. Araştırmacılar LSD'nin, bilim insanlarının mesleki bilinçaltına erişip aşina oldukları problemlere farklı açılardan yaklaşmalarına yardımcı olup olmayacağını merak ediyorlardı. Gözlemlenebilir, dahası ölçülebilir bir sonuç alınırsa genellikle kenara itilen hayal gücümüz gösterinin yıldızı haline gelecekti. Ülkedeki üniversitelere asılan, "Çözülmesi gereken anlamlı bir probleminiz var mı?" yazan afişler sayesinde eklektik bir genç araştırmacılar grubu oluşturulmuştu. Cesur bir çalışmaydı. Yaratıcı atılımların, bırakın bir hastanenin klinik ilaç araştırmaları birimini, herhangi bir yerde yapılması bile son derece zordur.

Deneyi yapan araştırmacılar duvarları psikedelik görüntülerle süsleyip müzik için ses sistemi kurmuş, odayı renkli, "rahatlatıcı bir ışıkla" aydınlatmışlardı. Klinik havasından çıkarmak için harcadıkları çabalar ortamı daha da yapay gösteriyordu ve bilim insanlarının, üzerinde çalıştıkları konuyu etkileyebileceklerinin bir itirafı gibiydi. Araştırmacıların her gün karşılaştıkları sağlıklı güvensizliklerin birçoğunu görünür kılan bir düzenlemeydi bu. Biyolojik deneylere katılan herkese rahatlatıcı bir aydınlatma ve müzik gibi olanaklar sunulsaydı denekler kim bilir ne kadar farklı davranırdı.

Hemşireler LSD'yi sabah saat tam dokuzda içmem için verdiler. Küçük bir şarap kadehi kadar suya karıştırılmış olan LSD'nin tamamını yutana kadar beni izlediler. Hastane odasındaki yatağıma

---

* İlk kez 1957'de psikiyatrist Humphry Osmond tarafından kullanılan psikedelik sözcüğü Yunanca "ruh" anlamına gelen *psykhe* ve "ortada, görünür" anlamına gelen *delos* sözcüklerinden türetilmiştir. Beyindeki serotonin reseptörlerini uyaran psikedelik maddeler bilinç değişiklikleri, halüsinasyonlar, benliğin çözülmesi gibi durumları tetikler (*ç.n.*)

uzandım; hemşireler kolumdan kan aldılar. Üç saat sonra "seyir irtifası"na ulaştığımda bana eşlik eden araştırmacı beni "işle ilgili problemim" üzerinde düşünmeye teşvik etti. Deneyden önce tamamladığımız psikometrik testler ve kişilik değerlendirmeleri arasında kafamızı kurcalayan problemleri –araştırmalarımızda el yordamıyla çözmeye çalıştığımız düğümleri– mümkün olduğunca ayrıntılı biçimde tarif etmemizi istemişlerdi. Düğümleri LSD'ye bandırıp biraz gevşetebilirdik belki. Araştırmama ilişkin bütün sorularım mantarlarla ilgiliydi ve LSD'nin ilk olarak ekinlerde yaşayan bir mantardan elde edildiğini bilmek, içimi rahatlatıyordu; mantarlarla ilgili problemlerim için mantarlardan gelen bir çözüm. Bakalım, neler olacaktı?

LSD çalışmasını, mavi çiçekli *Voyria*'nın yaşamı ve mantarlarla olan ilişkileri hakkında daha kapsamlı düşünebilmek için kullanmak istiyordum. Bu bitki fotosentez yapmadan nasıl yaşıyordu? Hemen hemen bütün bitkiler topraktaki mikorizal ağlardan temin ettikleri minerallerle hayatını sürdürür; köklerindeki karman çorman mantar örgüsüne bakılacak olursa *Voyria* da öyle yapıyordu. Fakat fotosentez olmadan *Voyria*'nın büyümek için ihtiyaç duyduğu, enerji bakımından zengin şekerleri ve yağları üretmesi mümkün değildi. Enerjiyi nereden alıyordu? Yoksa *Voyria* bu maddeleri mantar ağları aracılığıyla diğer yeşil bitkilerden mi temin ediyordu? Eğer öyleyse karşılığında mantar ortaklarına ne veriyordu? Ya da bu çiçekler birer parazit, internete benzeyen bu orman çapında ağın korsanları mıydı?

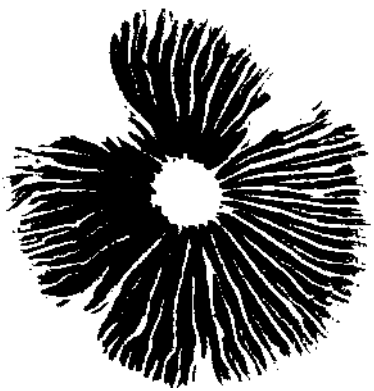
Hastanedeki yatağa uzanmış, gözlerim kapalı, mantar olmanın neye benzediğini düşünüyordum. Kendimi yeraltında, birbiriyle yarışan miselyum uçlarıyla sarılı buldum. Sağı solu kemiren toparlak hayvanlar, bitki kökleri arasında itiş kakış, toprağın Vahşi Batısı: bütün o haydutlar, eşkıyalar, yalnız kovboylar ve kumarbazlar. Toprak uçsuz bucaksız bir harici bağırsaktı: Her yerde sindirim ve kurtarma, elektrik yükleri üzerinde sörf yapan bakteriler, kimyasal hava sistemleri, yeraltı otoyolları, sümüksü bulaşıcı bir kucaklaşma, dört bir yanımda hareketli ve samimi bir temas... Bir mantar hifini izleyerek mağaramsı bir kökün içine girince, ortamın bana sunduğu sığınak karşısında şaşırdım. Başka pek az mantar çeşidi vardı; hiç solucan ya da böcek yoktu. İtiş kakış daha azdı. Hayal bile edemeyeceğim bir cennetti

burası. Belki de mavi çiçekler, besin desteği karşılığında mantarlara bunu sunuyordu: Fırtınada sığınılacak bir liman.

Bu hayallerin olgusal geçerliliği konusunda hiçbir iddiam yok. En iyi ihtimalle makul, en kötü ihtimalle hezeyan ürünü saçmalıklar olduğu söylenebilir. Yanlış bile denemez. Yine de bu tecrübeden kıymetli bir ders çıkardım. Mantarlar hakkında alışkın olduğum düşünme biçimi, organizmalar arasında, öğretmenlerin sınıfta tahtaya çizdiği şemalara benzer soyut "etkileşimler"den ve doksanlı yılların başındaki Game Boy mantığıyla hareket eden yarı-otomatik varlıklardan oluşuyordu. Ne var ki LSD beni bir hayal gücüm olduğunu itiraf etmeye zorlamıştı ve artık mantarları farklı bir gözle görüyordum. Mantarları, genellikle yaptığımız gibi tıkır tıkır işleyen çarklara ya da bip bip sesi çıkaran mekanizmalara indirgemeden anlamak istiyordum. Bu organizmaların beni klişeleşmiş düşünce kalıplarından çıkarmasını, anlayış sınırlarımı zorlamasını ve karşılaştıkları olasılıkları hayal edebilmeyi istiyordum; dolaşık yaşamlarının beni şaşırtmasına ve kafamı karıştırmasına izin vermek istiyordum.

Mantarların dünyası karmakarışıktır; sayısız incecik iplik bu labirentlerde yol alır. Olabildiğince fazlasını takip etmeye çalıştım ama ne yaparsam yapayım geçemeyeceğim kadar ince çatlaklarla karşılaştım. Bu denli yakın olmalarına karşın mantarlar alabildiğine esrarengiz, olasılıkları alabildiğine *başkadır*. Bu bizi korkutmalı mı? Hayvani beynimiz, bedenimiz ve dilimizle biz insanların böylesine farklı organizmaları anlaması mümkün mü? Bu süreç bizi nasıl değiştirebilir? İyimser bakış açısıyla bu kitabı, yaşam ağacının bu ihmal edilmiş dalının bir portresi olarak düşündüm ama durum bundan daha karışık. Kitap hem mantarların yaşamını anlama serüvenimi anlatıyor hem de mantarların, benim ve karşılaştığım nice insanın ve başka canlıların üzerinde bıraktığı izleri. Ozan Robert Bringhurst "Gece ve gündüzle, bu hayatla ve bu ölümle ne yapacağım?" diye sorar. "Her adım, her nefes bir yumurta gibi yuvarlanıp bu sorunun kıyısına geliyor." Mantarlar bizi pek çok sorunun kıyısına yuvarlar. Bu kitap, benim bu kıyılarda edindiğim tecrübelerin bir ürünü. Mantar dünyasındaki araştırmalarım beni bildiklerimin çoğunu yeniden incelemeye itti. Evrim, ekosistemler, bireysellik, zekâ, yaşam... Hiçbiri tam olarak düşündüğüm

şey değildi. Nasıl ki mantarlar kesin olduğuna inandığım bazı şeylerin öyle olmadığını bana gösterdiyse bu kitap da umarım üzerinizde benzer bir etki gösterir.



1
Tuzağın Cazibesi

Kim kimi pazarlıyor? [1]
—Prince

Terazideki kareli kumaş parçasının üstünde bir öbek beyaz Piyemonte trüfü (*Tuber magnatum*) duruyordu. Yıkanmamış taşlar gibi topraklı, patàtes gibi yamru yumruydular; üzerlerinde kafatasındaki gibi oyuklar vardı. İki kilo: 12.000 avro. Mantarların tatlımsı kokusu odayı doldurmuştu; bu aromadan ötürü bu denli kıymetliydiler. Başka hiçbir şeye benzemeyen ayan beyan bir kokuydu bu; içinde kaybolabileceğiniz kadar kesif, sersemletici, cazip bir tuzaktı.

Kasım ayının başı, trüf mantarının en bol olduğu zamandı. Bologna civarındaki tepelerde trüf arayan iki mantar avcısına katılmak üzere İtalya'ya gitmiştim. Şanslıydım. Bir arkadaşımın arkadaşı trüf mantarı ticareti yapan birini tanıyordu. Satıcı beni, çalıştığı en iyi iki trüf mantarı avcısıyla tanıştıracaktı ve birlikte mantar avına çıkacaktık. Beyaz trüf mantarı avcıları ketumluklarıyla ünlüdür. Bu mantarlar hiçbir zaman evcilleştirilememiştir ve sadece doğada bulunur.

Trüf mantarları bazı mikoriza türlerinin toprak altında verdiği meyvelerdir. Yılın büyük bölümünü kısmen topraktan aldıkları besin elementleri ve ayrıca bitki köklerinden çektikleri şekerle yaşamını sürdüren misel ağları halinde geçirirler. Fakat toprakaltı habitatları onları temel bir sorunla karşı karşıya getirir. Trüf, spor üreten organdır; yani bitkinin tohum üreten meyvesine benzer. Sporlar mantarların yayılmalarını sağlamak üzere evrilmiştir ama toprak altında sporları

dağıtacak hava akımı olmadığı gibi, hayvanların mantarı görmesi de mümkün değildir.[2]

Trüf mantarları bu sorunu kokuyla çözer. Ama ormandaki koku curcunasının içinde mantarın kokusunu almak hiç de kolay değildir. Orman, bir hayvanın burnuna çekici ya da itici gelebilecek bir kokular cümbüşüdür. Trüf mantarının kokusu toprak katmanlarını aşıp havaya karışacak kadar keskin ve ortamdaki diğer kokular arasından sıyrılıp hayvanın dikkatini çekebilecek kadar farklı, hayvanı aramaya, kazıp çıkarmaya ve yemeye sevk edecek kadar lezzetli olmalıdır. Trüf mantarları görsel açıdan dezavantajlıdır: Toprağa gömülüdürler, toprağı kazan hayvan için fark edilmeleri zordur ve fark edildikten sonra bile çekici görünmezler ama bunların hepsini kokuyla telafi ederler.

Hayvan trüf mantarından bir lokma aldıktan sonra gerisi gelir: Yemin cazibesine kapılan hayvan toprağı eşelemeye başlar ve mantarın sporlarını yeni bir yere taşır ya da dışkısıyla sağa sola bırakır. Yani trüfün cazibesi, mantarın hayvanların tat duyusuyla yüz binlerce yıllık evrimsel iç içe geçmişliğinin bir sonucudur. Doğal seçilim, spor dağıtmada en iyi olan hayvanların tercihleriyle uyumlu trüf mantarlarının lehine işler. "Kimya"sı daha iyi olan trüf mantarları, hayvanları kendine çekmede diğerlerine göre daha başarılıdır. Çiftleşmeye hazır dişi arıların görünüşünü taklit eden orkideler gibi, trüf mantarları da hayvanları kokuyla kendine çekmenin evrimsel bir portresini çizerek hayvanların damak zevkini tasvir eder.

İtalya'daydım çünkü bir mantarın beni yeraltında yaşadığı kimyasal dünyaya çekmesini istiyordum. Mantarların kimyasal hayatına katılacak donanıma sahip olmasak da olgun trüf mantarları o kadar basit ve tesirli bir dille konuşur ki biz bile anlayabiliriz. Böylece bu mantarlar bizi bir anlığına da olsa kimyasal ekolojilerine dahil eder. Yeraltındaki organizmalar arasında gerçekleşen etkileşim selini nasıl düşünmeliyiz? Bu insanötesi iletişim âlemini nasıl anlayabiliriz? Mantarların yaşamın pek çok veçhesinde kullandığı kimyasal çekiciliğe ve sunduğu vaatlere en fazla yaklaşabilmemin yolu belki de trüf mantarının izini süren bir köpeğin peşine takılıp yüzümü toprağa gömmekti.



Beyaz Piyemonte trüfü, *Tuber magnatum*

İNSAN OLAĞANÜSTÜ BİR KOKU DUYUSUNA SAHİPTİR. Gözlerimiz milyonlarca rengi, kulaklarımız yarım milyon tonu, burnumuzsa bir trilyondan fazla kokuyu ayırt edebilir. İnsanlar bugüne kadar denenmiş bütün uçucu kimyasalları saptayabilir. Belli kokuları saptamada kemirgenlerden ve köpeklerden daha başarılıyız ve kokuları takip etme becerisine sahibiz. Kokular cinsel partnerimizi seçmemizde, başkalarının korkusunu, kaygısını ya da saldırganlığını anlayabilmemizde rol oynar. Ve koku anılarımıza siner; travma sonrası stres bozukluğu yaşayanlarda kokuyla anıların canlanmasına sık rastlanır.[3]

Burun çok hassas bir alettir. Koku duyunuz, beyaz ışığı renklerine ayıran bir prizma gibi, karmaşık karışımları kimyasal bileşenlerine ayırabilir. Bunu yapabilmek için bir moleküldeki atomların düzenlenmesini tam olarak saptayabilmesi gerekir. Hardal, azot, karbon ve kükürt arasındaki bağlardan ötürü hardal gibi kokar. Balık, azotla hidrojen arasındaki bağlar nedeniyle balık gibi kokar. Karbon ile azot arasındaki bağlar metalik ve yağlı bir koku verir.[4]

Kimyasalları saptama ve yanıt verebilme çok eski bir duyusal beceridir. Organizmaların çoğu kimyasal duyularını kullanarak çevrelerini araştırır ve anlamlandırır. Bitkiler, mantarlar ve hayvanlar kimyasalları saptamak için benzer reseptörler kullanır. Moleküller bu reseptörlere bağlandıklarında bir sinyal silsilesi tetiklenir: Bir molekül bir hücresel değişikliği uyarır, bu değişiklik daha büyük bir değişimi başlatır ve böyle devam eder gider. Böylece küçücük bir sebep büyük etkiler doğurabilir: İnsan burnu bazı bileşikleri çok düşük derişimlerde (santimetreküp başına otuz dört bin molekül ya da yirmi bin Olimpik yüzme havuzundaki bir damla su kadar) olsa dahi saptayabilir.[5]

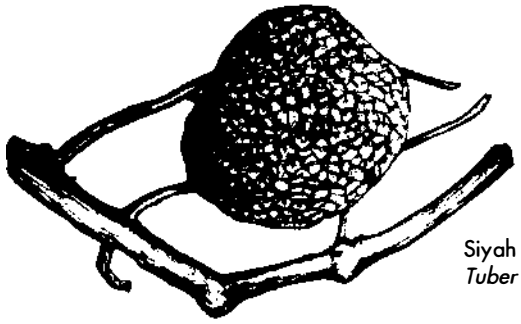
Bir hayvanın bir kokuyu alması için koku epiteline bir molekülün konması gerekir. İnsanlarda bu zar burnun yukarısında ve gerisinde

yer alır. Molekül reseptöre bağlanır ve sinir ateşlenir. Kimyasallar tanınırken ya da düşünceleri ve duygusal yanıtları tetiklerken beyin işe karışır. Mantarların bedensel yapısı farklıdır. Burunları ya da beyinleri yoktur. Bütün yüzeyleri koku epiteli gibi davranır. Miselyum ağı kimyasal açıdan duyarlı, büyük bir zardır. Bir molekül ağın yüzeyindeki herhangi bir noktada bir reseptöre bağlanarak mantarın davranışını değiştiren bir sinyal silsilesini başlatabilir.

Mantarlar zengin bir kimyasal bilgi ortamında yaşar. Trüf mantarları yenmeye hazır oldukları bilgisini hayvanlara iletmek için kimyasallardan faydalanır; bitkilerle, hayvanlarla, diğer mantarlarla ve kendi aralarında kimyasal yolla haberleşirler. Duyusal dünyalarını keşfetmeden mantarları anlamamız mümkün değil ama onları yorumlamak da bizim için zor. Belki de bunun bir önemi yok. Mantarlar gibi biz de hayatımızın büyük bölümünü bir şeylerin çekimine kapılarak yaşıyoruz. Bir şey tarafından çekilmenin ya da itilmenin ne anlama geldiğini biliyoruz. Mantarların, varoluşlarının büyük bölümünü organize etmek için kullandıkları moleküler diyaloğa biz de koku duyusu yoluyla katılabiliriz.

İNSANLIK TARİHİNDE TRÜF MANTARI uzun zamandan beri cinsellikle ilişkilendirilir. Birçok dilde trüf için kullanılan sözcük "testis" anlamına gelir; örneğin eski Kastilya dilinde trüf için kullanılan *turmas de tierra* Dünya'nın testisleri demektir. Trüf mantarları hayvanların aklını başından alacak şekilde evrilmiştir çünkü hayatları buna bağlıdır. Oregonlu bir trüf uzmanı ve yetiştiricisi olan Charles Lefevre, siyah Périgord trüfüyle ilgili çalışmaları hakkında konuştuğumuz sırada birdenbire şöyle demişti: "Komik ama bunları anlatırken gerçekten de *Tuber melanosporum*'un aromasıyla 'yıkanıyorum.' Sanki bir koku bulutu ofisimi doldurmuş, oysa şu anda burada trüf mantarı yok. Trüf mantarıyla ilgili koku anılarımın bu şekilde canlanması benim için olağan. Hatta bazen görsel ve duygusal anılar da canlanır."[6]

Kayıp eşyaların koruyucusu Aziz Antoine Fransa'da trüf mantarlarının da koruyucu azizi kabul edilir ve şerefine trüf mantarı ayinleri yapılır. Dualar üçkâğıtçılığa karşı pek etkili olmaz. Boyanan ya da üzerine aroma sıkılan ucuz trüf mantarları kıymetli akrabaları niyetine yutturulur.



Siyah Périgord trüfü,
Tuber melanosporum

Trüf mantarı avcıları bu kıymetli mantarların bulunduğu ormanları hedef alır. Binlerce avro değerinde özel eğitimli köpekler çalınır. Rakip avcıların köpeklerini öldürmek için etrafa zehirli et bırakılır. 2010'da işlenen bir haksız tahrik suçunda, Laurent Rambaud adlı Fransız bir trüf mantarı yetiştiricisi, gece trüf bahçelerinde devriye gezerken karşısına çıkan bir mantar hırsızını vurup öldürmüştü. Tutuklanmasının ardından hem trüf mantarı hem de köpek hırsızlıklarının artmasına öfkelenen iki yüz elli kişi Rambaud'nun ürününü savunma hakkını desteklemek için eylem yaptı. Tricastin trüf üreticileri sendikası başkan yardımcısı, *La Provence* gazetesine verdiği demeçte "şeytana uyma riski çok yüksek" olduğu için üreticilere arazilerinde devriye gezerken asla silah taşımamalarını tavsiye etti. Lefevre bunu gayet güzel açıklıyor: "Trüf mantarı insanların karanlık yüzünü ortaya çıkarır. Trüf yerde duran paraya benzer ama değişkendir ve çabucak çürür."[7]

Hayvanların dikkatini çeken tek mantar trüf değildir. Kuzey Amerika'nın Pasifik Kıyı Şeridi'nde ayılar kütükleri altüst edip hendek kazarak kıymetli matsutake mantarını arar. Oregonlu mantar avcıları, Kanada geyiklerinin matsutake mantarı ararken ponza taşlı toprağa sürtünen burunlarının kan revan içinde kaldığına tanıklık etmiştir. Tropikal yağmur ormanlarında yetişen bazı orkide türleri, mantar seven sinekleri çekmek için onların kokusunu, şeklini ve rengini taklit eder. Şapkalı mantarlar ve spor üreten benzeri yapılar mantarların en dikkat çekici kısmı olmakla beraber, miselyum da hayvanlara cazip gelebilir. Tropikal böcekleri inceleyen bir arkadaşım bana çürüyen bir kütükteki oyuğun etrafında toplanan orkide arılarının bir videosunu göstermişti. Erkek orkide arıları topladıkları kokuları karışım haline

getirerek dişilere kur yapmak için kullanır. Bu arılar parfüm üretir. Çiftleşme birkaç saniyede olup biter ama kokuları toplama ve karıştırma işi ergin arı için hayat boyu sürer. Arkadaşımın hissiyatı, arıların bukete eklemek için mantarlardan da bazı bileşikler topladığı yönündeydi ama bu varsayımını henüz sınamamıştı. Orkide arıları kompleks aromatik kimyasallara olan düşkünlükleriyle bilinir ve bu kimyasalların birçoğu odun parçalayan mantarlar tarafından üretilir.[8]

İnsanlar başka organizmaların ürettiği parfümleri sürer ve mantar aromalarını kendi cinsel ritüellerimize dahil etmemiz o kadar da az rastlanan bir durum değildir. Hindistan ve Güneydoğu Asya'da bulunan *Aquilaria* ağaçlarında görülen bir mantar enfeksiyonuyla ortaya çıkan ödağacı dünyadaki en değerli hammaddelerden biridir. Koku üretiminde kullanılır ve Antik Yunan hekimi Dioscorides zamanından beri herkesin sahip olmak istediği bir madde olmuştur. En iyi kalite ödağacı, altın ya da platinden bile değerlidir; kilosu 100.000 dolardan satılır ve *Aquilaria* ağaçları ödağacı elde etmek amacıyla kesildiği için doğada yok olma sınırına gelmiştir.[9]

On sekizinci yüzyılda yaşamış olan Fransız hekim Théophile de Bordeu'ye göre, her organizma "etrafına birtakım buhar, koku ve gazlar yayar ya da sızdırır (...) Bu sızıntılar o organizmanın tarzını ve tavrını almıştır; öyle ki organizmanın gerçek parçaları haline gelmiştir." Trüf mantarının rayihası ve orkide arısının parfümü bu organizmaların fiziksel yapısının dışına çıkar ama bir diskodaki hayaletler misali birbirinin üstüne binen bu koku alanları onların kimyasal bedenlerinin parçasını oluşturur.[10]

TRÜF MANTARLARININ TARTILDIĞI ODADA aromanın içinde kaybolmuş halde dakikalarca kaldım. Trüf satıcısı Tony ve bir müşterinin içeri girmesiyle daldığım rüyalar âleminden sıyrıldım. Tony kapıyı kapatınca koku odaya hapsoldu. Müşteri, terazideki trüf yığınını inceledi ve pis tezgâhın üzerindeki kaplara tasnif edilmeden ve temizlenmeden konmuş örneklere hızla göz gezdirdi. Paçavranın köşelerini bağlayan Tony'ye bakıp tamam anlamında başını salladı. Bahçeye çıkıp el sıkıştılar ve müşteri küçük siyah bir arabaya binip gitti.

Yaz kurak geçtiği için trüf mantarı hasadı bereketsizdi. Fiyatından da mantarın kesat olduğu anlaşılıyordu. Doğrudan Tony'den

aldığınızda kilo başına 2000 avro kâr ediyordunuz. Aynı miktarda mantarın fiyatı markette ya da restoranda 6000 avroya kadar çıkıyordu. 2007'de 1,5 kg'lık tek bir trüf mantarı açık artırmayla 165.000 sterline alıcı bulmuştu. Trüf mantarının fiyatı, tıpkı elmasta olduğu gibi, büyüdükçe doğrusal olmayan biçimde artar.[11]

Tony sıcakkanlı bir adamdı ve tüccar cüretkârlığına sahipti. Mantar avcılarına katılma isteğim onu şaşırtmıştı; aradığımızı bulabileceğimize dair fazla ümit vermedi. "Adamlarımla gidebilirsin ama muhtemelen eliniz boş döneceksiniz. Üstelik trüf aramak zahmetli iştir. Bir yukarı bir aşağı. Çalıların arasından. Çamurlara bata çıka. Nehirde yürüyerek. Yanında sadece bu ayakkabılar mı var?" Aldırmadığımı söyledim.

Avcılar bazen yasal bazen de yasadışı yollarla mantar toplar. Birlikte mantar aramaya gideceğim trüf avcıları Daniele ve Paride kamuflaj kıyafeti giymişti. Kamuflajın trüf mantarına gizlice yaklaşmalarına yardımcı olup olmadığını sordum, samimi bir yanıt verdiler: Kamuflaj, diğer trüf avcıları tarafından takip edilmelerini önlüyordu. Trüf avında bütün mesele nereye bakacağını bilmektir. Bilgi avcılar için değerlidir ve tıpkı mantarın kendisi gibi çalınabilir.

Daniele'ye göre daha dost canlısı olan Paride beni en sevdiği köpeği Kika'yla tanıştırdı. Farklı yaşlarda ve eğitim düzeylerinde, siyah ya da beyaz trüf mantarı aramada uzman beş köpeği vardı. Kika alımlı bir köpekti ve Paride onunla gurur duyuyordu. "Köpeğim çok zekidir ama ben ondan daha zekiyim." Kika'nın da mensubu olduğu Lagotto Romagnolo, trüf mantarı avcılığında en sık kullanılan ırklardan biridir. Kika'nın boyu dizime geliyordu; gözlerini örten lüle lüle tüyleriyle kendisi de trüf mantarına benziyordu. Gerçi trüf koklamak, trüf köpeği yavrularıyla tanışmak, trüf hakkında konuşmak, satışına tanıklık etmek ve trüf yemekle geçen o sabahın ardından yuvarlak, kayalık tepeler bile gözüme trüf mantarı gibi görünmeye başlamıştı. Paride, Kika'yla kendi aralarında haberleşmek için kullandıkları işaretlerden söz etti. Birbirlerinin davranışlarındaki en küçük değişikliği bile anlamayı ve yorumlamayı öğrenmişlerdi; hareketlerini neredeyse tamamen sessizlik içinde uyumlu hale getirebiliyorlardı. Trüf mantarları, yenmeye hazır olduğu bilgisini hayvanlara iletecek şekilde evrilmişti. İnsanlarla köpeklerse trüf mantarlarının kimyasal içeriğini birbirlerine haber vermenin yollarını geliştirmişti.

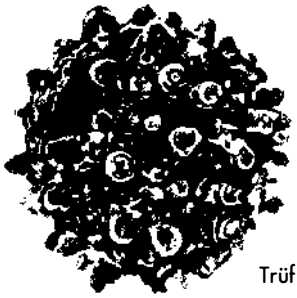
Trüf mantarının aroması karmaşık bir özelliktir ve görünüşe göre mantarın kendi mikrop topluluğuyla, yaşadığı toprak ve iklimle (teruar) kurduğu ilişkilerden kaynaklanmaktadır. Trüf mantarının meyve veren gövdesi bakteri ve maya topluluklarına ev sahipliği yapar; mantarın kuru ağırlığı başına bir milyon ila bir milyar bakteri düşer. Trüf mikrobiyomları, mantarın aromasına katılan ayırt edici uçucu bileşikleri meydana getirir ve burnunuza ulaşan kimyasal karışım muhtemelen birden fazla organizmanın işidir.[12]

Trüf mantarının albenisinin kimyasal temeli hâlâ bilinmiyor. 1981'de yayımlanan bir çalışmada Alman araştırmacılar hem beyaz Piyemonte trüfünün (*Tuber magnatum*) hem de siyah Périgord trüfünün (*Tuber melanosporum*) misk kokulu bir steroid olan androstenolden önemli miktarda ürettiğini buldular. Androstenol domuzlarda eşey hormonu olarak işlev görür. Erkekler tarafından üretilen bu hormon dişi domuzları uyararak çiftleşme duruşu almaya hazırlar. Bu bulguya dayanarak, dişi domuzların toprağın derinliklerinde gömülü trüf mantarlarını bulmada olağanüstü becerikli olmalarının androstenolden kaynaklanabileceği fikri ortaya atılmıştı. Dokuz yıl sonra yayımlanan bir çalışma bu olasılığa şüphe düşürdü. Araştırmacılar toprağın beş santimetre altına siyah trüf mantarı, sentetik trüf aroması ve androstenol gömdükten sonra bir domuzla beş köpeği (köpeklerden biri yerel trüf köpeği yarışmasının şampiyonuydu) numuneleri bulmaları için bıraktılar. Hayvanların hepsi gerçek trüf mantarını ve sentetik trüf aromasını buldu ama hiçbiri androstenolün yerini saptayamadı.[13]

Araştırmacılar yaptıkları başka testler sonucunda trüf mantarının cazibesini tek bir moleküle indirgediler: dimetil sülfid. İyi bir çalışmaydı ama muhtemelen gerçeği bütünüyle yansıtmıyordu. Trüf mantarının kokusu, beyaz trüf mantarında yüzden fazla ve diğer popüler türlerde elli civarında farklı molekülün belli bir düzen içinde sürüklenmesiyle oluşur. Özenle hazırlanmış bu koku buketlerinin enerji maliyeti yüksek olduğundan, bir amaç uğruna evrilmiş olmaları beklenir. Dahası hayvanların damak zevkleri birbirinden farklıdır. Elbette ki bütün trüf mantarı türleri insanlara cazip gelmez, hatta bazıları hafif zehirli bile olabilir. Kuzey Amerika'daki bin küsur trüf mantarı türü içinde mutfakta kullanılanlar bir elin parmaklarını geçmez. Hatta bunlar bile herkesin ilgisini çekmez. Lefevre'in söylediği

gibi, pek çok kişi değerli türlerin aromasından hoşlanmaz. Bazı türler düpedüz iğrenç kokar. Lefevre, "lağım" ya da "ishal olmuş bebek kakası" gibi pis kokulu trüf üreten *Gautieria* cinsinden bahsetmişti. Köpekleri bu mantara bayılıyordu ama eşi, bilimsel sınıflandırma için bile olsa mantarı eve sokmasına izin vermiyordu.[14]

Fakat trüf mantarları her nasılsa etraflarında katman katman bir çekim alanı yaratır: İnsanlar köpekleri trüf bulmaları için eğitirler çünkü domuzlar mantarın cazibesine öyle bir kapılırlar ki mantar avcılarına fırsat vermeden buldukları ganimeti büyük bir iştahla mideye indirirler. New York ve Tokyo'daki restoran sahipleri, trüf mantarı tüccarlarıyla ilişki kurmak için İtalya'ya giderler. İhracatçılar yıkanıp paketlenen trüf mantarının kırk sekiz saat içinde havalimanına nakledilmesi, dünyanın dört bir tarafına uçakla gönderilmesi, havalimanından alınması, gümrükten geçmesi ve yeniden ambalajlanıp tüketicilere dağıtımı sırasında en uygun koşulları sağlamak üzere soğuk paketleme sistemleri geliştirmiştir. Trüf mantarı da matsutake mantarı gibi toplandıktan sonra iki üç gün içinde taze servis edilmelidir. Trüf mantarının aroması, metabolizması devam eden canlı hücrelerde aktif bir süreçle üretilir. Sporlar oluştukça trüf mantarının kokusu artar, hücreler ölünce aroma kaybolur. Bazı mantarların tersine trüf mantarını lezzetini koruyarak kurutamazsınız. Bu mantarlar kimyasal açıdan konuşkan, hatta gürültücüdür. Metabolizma durduğu anda koku da biter. O nedenle birçok restoranda taze trüf mantarı gözünüzün önünde yemeğinize rendelenir. Başka pek az canlı saçılmaları için acele davranma konusunda insanları ikna etmede bu kadar iyidir.[15]



Trüf sporu

PARİDE'NİN ARABASINA DOLUŞUP, tepeleri örten nemli, sarı-kahverengi meşelerin arasında uzanan daracık bir köy yolundan, vadinin

yukarılarına doğru tırmandık. Paride havadan sudan konuşuyor, köpek eğitimi ve Daniele gibi bir "haydut"la çalışmanın olumlu ve olumsuz tarafları hakkında espriler yapıyordu. Birkaç dakika sonra bir patikadan inip kenara çektik. Kika arabadan atladı; çayırlık araziyi yürüyerek geçip ormana girdik. Daniele çoktan gelmiş, köpeğiyle etrafı sinsice kolaçan ediyordu. Yakınlarda bir başka trüf avcısı daha olduğunu söyledi, sessiz olmamız gerekiyordu. Daniele'nin paçoz görünümlü köpeğinin karman çorman tüylerine ve lülelerine ince dal parçaları dolanmıştı. Köpeğin bir ismi yoktu ama Paride, Daniele'nin sabah onu Diavolo (Şeytan) diye çağırdığını duymuştu. Sevecen ve dost canlısı Kika'nın tersine Diavolo hırlamaya ve ısırmaya meyilliydi. Paride nedenini şöyle açıkladı: O, köpeklerini trüf avı bir oyunmuş gibi eğitirken, Daniele köpeklerini açlıkla terbiye ediyordu. "Bak," dedi Paride, Diavolo'yu işaret ederek, "hayvan çaresizlikten meşe palamudu yiyor." Bir süre karşılıklı dalga geçtiler. Daniele trüf mantarı avcılığında kendi köpeklerinin, Paride'nin karnı tok sırtı pek "ev hayvanları"ndan daha başarılı olduğunu iddia ediyordu. Paride trüf köpeği eğitiminde reform yanlısı olduğunu şöyle özetledi: "Daniele trüf mantarı avına gece çıkar, bense gündüz. O sinirlidir, ben değilim. Onun köpeği ısırır, benimki sevecendir. Onun köpeği zayıf, benimki değil. O kötü, ben iyiyim."

Diavolo birdenbire yerinden ok gibi fırladı. Hepimiz köpeğin peşine düştük. Paride, "Trüf de olabilir fare de. Öyle ya da böyle köpek halinden memnun," dedi. Diavolo'yu burnundan soluyarak çamurlu bir bayırı eşelerken bulduk. Böğürtlen dallarına takılan Daniele yolu açtı. Paride'nin söylediğine göre bu noktada trüf mantarı avcısının, köpeğin vücut dilini yakından okuması gerekiyordu. Köpeğin kuyruğunu sallaması trüf mantarı olabileceğini vaat ediyor, hareketsiz bir kuyruksa tam tersini söylüyordu. İki ayağıyla birden kazması beyaz trüf mantarı, tek ayakla kazması siyah trüf mantarı bulduğunu gösteriyordu. İşaretler iyi görünüyordu; Daniele dev bir tornavidayı andıran, yassı ve künt uçlu bir aletle toprağı eşelemeye başladı. Derine indikçe çıkan toprağı kokluyordu. Daniele ve köpeği sırayla kazıyorlardı ama Daniele Diavolo'yu fazla haşin kazmaması için durdurmaya özen gösteriyordu. Paride gülümsedi: "Aç köpek trüf mantarını yer."

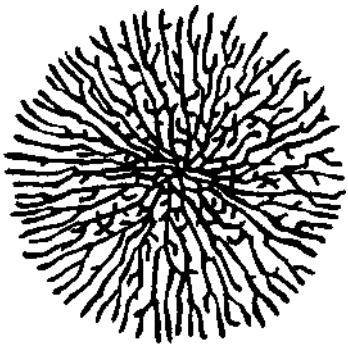
Nihayet yarım metre kadar aşağıya inince Daniele nemli toprağın içinde mantarı buldu. Parmaklarıyla ve küçük metal bir kancanın yardımıyla çamuru kenara çekti. Delikten trüf mantarının kokusu yükseldi; tartım odasındakinden daha yoğun bir kokuydu bu. Burası onun doğal habitatıydı; nemli toprak ve parçalanmış küflü yaprak kokusuyla uyum içinde buram buram kokuyordu. Trüf aromasını uzaktan alabilecek kadar hassas olduğumu ve her şeyi bırakıp bu kokunun peşine düştüğümü hayal ettim. Mantardan yayılan havayı içime çekerken Aldous Huxley'nin *Cesur Yeni Dünya* romanında, bir müzik aleti gibi kokusal resitaller verebilen kokulu orgun performansına dair betimlemesini anımsadım. Bu fikri, uçucu bileşiklerden oluşan süitleri kendince icra eden ve bir nevi kokulu orga benzeyen trüf mantarına kolayca uyarlayabilirsiniz.

Mantarın taktiği ne kadar da başarılıydı. Hepimiz çamur içinde, perperişan trüf mantarının etrafında toplanmıştık. Bir sinyal silsilesiyle bir grup hayvanı –önce bir köpeği, ardından trüf avına çıkmış bir insanı ve onun ağır aksak ilerleyen arkadaşlarını– kendine çekmişti. Daniele mantarı sökünce etrafındaki toprak çöktü. "Şuraya bak!" dedi Paride toprağı kenara çekerek. "Bir fare yuvası." Anlaşılan ilk gelen biz değilmişiz.

TRÜF AROMASINI KOKLARKEN mantardan dünyaya tek yönlü bir ileti alırız. Nüansları olmayan, nispeten sade bir süreçtir bu. Aromanın, hayvanı kendine çekmek için merak uyandırıcı ve tabii ki iştah kabartıcı olması gerekir. Fakat en önemlisi, nüfuz edici ve güçlü olmasıdır. Sporların ister yabandomuzu ister uçan sincap olsun kim tarafından saçıldığı önemli olmadığına göre seçici olmanın ne gereği var? Aç hayvanların çoğu lezzetli bir kokunun peşine düşer. Dahası trüf mantarının aroması dikkatinizi çektikten sonra değişmez. Uyarıcıdır ama uyarılabilir değildir. Buram buram kokan açık ve güçlü sinyaller gönderir ve bir kez başladı mı hep aktif kalır. Olgun bir trüf mantarı Daniele'yi, Paride'yi, iki köpeği, bir fareyi ve beni İtalya'da çamurlu bir bayırdaki böğürtlen çalısının altında bir araya getiren popüler ve çekici bir koku yayını yaparak, kimyasal ortak dille açık bir çağrıda bulunur.

Trüf mantarları –diğer bütün kıymetli mantarların spor üreten organları gibi– ana mantarlarının iletişim kanalları arasında en az karmaşık olanıdır. Mantar yaşamının miselyum gelişimini de içeren büyük bölümünde daha incelikli çekim güçleri rol oynar. Mantar hifleri miselyum ağını başlıca iki yolla oluşturur. Birincisi, dallanırlar. İkincisi, kaynaşırlar. (Hiflerin birleşmesi "anastomoz" olarak adlandırılır; anastomoz Yunanca "ağızlaşma" anlamına gelir.) Dallanma olmasaydı bir hiften pek çok hif çıkamazdı. Hifler kaynaşamasaydı karmaşık ağ yapıları oluşmazdı. Ne var ki kaynaşabilmeleri için hiflerin öncelikle birbirini bulması gerekir; bunu "yuvalanma" (*homing*) dediğimiz bir yöntemle birbirlerini çekerek yaparlar. Hifler arasındaki kaynaşma, miselyumu miselyum yapan bağlantı dikişi, ağ oluşumundaki en temel prensiptir. Bu bakımdan herhangi bir mantarın miselyumu, mantarın kendi kendini çekme yetisinden kaynaklanır.[16]

Ne var ki bir miselyum ağı kendi kendisiyle karşılaşabildiği gibi başka bir ağla da karşılaşabilir. Sürekli gözden geçirilen bir bedene sahip olan mantarlar beden algısını nasıl korur? Hifler ilerlerken tosladıkları dalın kendilerine mi yoksa bambaşka bir mantara mı ait olduğunu bilmek zorundadırlar. Eğer başkasıysa farklı –düşman olabilecek– bir tür mü ya da kendi türüyle cinsel açıdan uyumlu bir birey mi olup olmadığını ayırt edebilmeleri gerekir. Bazı mantarlarda, bizdeki cinsiyetin karşılığı diyebileceğimiz on binlerce eşleşme tipi vardır (bu konuda rekor, cinsel açıdan neredeyse her biri birbiriyle uyumlu yirmi



Bir spordan dışarı doğru büyüyen miselyum. Buller'dan (1931) alınarak yeniden çizilmiştir.

üç binden fazla eşleşme tipi olan *Schizophyllum commune* adlı mantara aittir). Birçok mantarın miselyumu, cinsel açıdan uyumlu olmasalar dahi genetik açıdan yeterince benzer olmaları koşuluyla diğer miselyum ağlarıyla kaynaşabilir. Mantarın kendi kimliği önemli olsa da bu her zaman ikili sisteme dayalı bir dünya değildir. Kendi olan peyderpey başkasına dönüşebilir.[17]

Trüf ve diğer birçok mantarda cinselliğin dayanağı cazibedir. Trüf mantarlarının kendileri de bir cinsel ilişki sonucunda oluşur: *Tuber melanosporum* gibi bir trüf mantarının meyve vermesi için miselyum ağındaki hiflerin cinsel açıdan uyumlu başka bir ağla kaynaşarak genetik madde havuzu oluşturması gerekir. Yaşamının büyük bölümünü miselyum ağı olarak geçiren, kendi standartlarına göre "–" ya da "+" olmak üzere ayrı eşleşme tipleri halinde yaşayan trüf mantarlarının basit bir cinsel hayatı vardır. Seks, – hif ile + hifin birbirini çekip kaynaşmasıyla gerçekleşir. Eşlerden biri, sadece genetik madde temin eden baba rolünü üstlenir. Diğeriyse genetik madde temin etmenin yanı sıra, olgunlaşarak trüfü ve sporları meydana getiren anne rolünü oynar. Trüf mantarının insanlardan farkı, + ya da – eşleşme tiplerinin her ikisinin de anne ya da baba özelliği gösterebilmesidir. Bu durumun bizdeki karşılığı, bütün insanların hem dişi hem de erkek olması ve karşı eşleşme tipinden bir partnerle seks yapabilmesi koşuluyla anne ya da baba rolünü üstlenebilmesi olurdu. Trüf mantarları arasındaki cinsel çekimin nasıl gerçekleştiğini hâlâ bilmiyoruz. Yakın akraba olan mantarlar feromonları kullanarak eşlerini çeker; araştırmacılar trüf mantarlarının da bu amaçla bir feromon kullandığını düşünüyorlar.[18]

Hif çekimi olmasaydı miselyum da olamazdı. Miselyum olmasaydı – ve + eşleşme tipleri arasında çekim olamazdı. Cinsel çekim olmasaydı seks olamazdı. Ve seks olmasaydı trüf mantarı da olamazdı. Ancak trüf mantarlarının ortaklık kurduğu ağaçlarla olan ilişkileri de bir o kadar önemlidir ve aralarındaki karmaşık kimyasal etkileşimlerin ustaca yönetilmesi gerekir. Genç trüf mantarlarının hifleri ortaklık kuracak bitki bulamadıkları takdirde kısa süre içinde ölür. Bitkiler, hastalığa yol açan mantarların tersine, karşılıklı faydaya dayalı bir ilişki kurabilecekleri mantar türlerini köklerine kabul etmek zorundadır. Mantar hifleriyle bitki köklerinin birbirini bulması, topraktaki sayısız

başka kökün, mantarın ve mikrobun birbiriyle ve kendiyle meşgul olduğu kimyasal gevezelik ortamında hiç de kolay değildir.[19]

Bu da çekim ve cazibenin, kimyasal çağrı ve yanıtın bir başka örneğidir. Trüf mantarlarının ormandaki hayvanları cezbetmesindeki gibi, bitkiler ve mantarlar da birbirlerine çekici gelen uçucu kimyasallar kullanır. Alıcı bitki kökleri toprakta dağılan ve sporların çimlenmesine, hiflerin dallanmasına ve daha hızlı büyümesine yol açan uçucu bileşikler üretir. Mantarlarsa köklerin tüysü dallanmalar oluşturacak şekilde çoğalmalarını sağlayan bitkisel büyüme hormonları üretir. Böylece her iki tarafa ait yüzey alanın genişlemesi sonucunda kök uçlarıyla mantar hiflerinin karşılaşma şansı artar. (Birçok mantar, ortaklarının fizyolojisini değiştiren bitkisel ve hayvansal hormonlar üretir.)[20]

Bir mantarın bir bitkiyle bağ kurabilmesi için köklerin mimarisinden fazlası değişmelidir. Bitki ve mantar hücrelerinde, birbirlerinin kimyasal profiline cevaben başlayan sinyal silsileleri gen gruplarını harekete geçirir. Her iki taraf da metabolizmalarını ve gelişimsel programlarını yeniden ayarlar. Mantarlar, simbiyotik yapılar oluşturacakları bitki ortaklarına yeterince yaklaşabilmek için onların bağışıklık yanıtlarını askıya alan kimyasallar salgılar. Mikoriza ortaklıkları, bir kez kuruldular mı gelişmeye devam ederler. Hiflerle kökler arasındaki bağlantılar dinamiktir; kök uçları ve mantar hifleri yaşlanıp öldükçe bu bağlantılar tekrar tekrar oluşur. Bu ilişkiler kendini durmaksızın yeniden biçimlendirir. Koku epitelinizi toprağa koyma şansınız olsaydı kendinizi müzisyenlerin birbirini dinlediği, etkileşime girdiği ve birbirine yanıt verdiği bir caz grubunun canlı performansını dinliyormuş gibi hissederdiniz.[21]

Beyaz Piyemonte trüfünün yanı sıra porçini, şanterel ve matsutake gibi diğer değerli mikorizal mantarlar kısmen diğer bitkilerle olan akışkan ilişkilerinden, kısmen de cinsel yaşamlarının karmaşıklığından ötürü evcilleştirilememiştir. Temel mantar iletişiminin nasıl gerçekleştiğine dair bilgilerimizde çok fazla boşluk var. Siyah Périgord trüfü gibi bazı türlerin kültivasyonu yapılabiliyorsa da tarımsal faaliyetlerin çoğunda karşılaştığımız saygıdeğer zanaata kıyasla trüf mantarı kültürü henüz emekleme aşamasındadır; hatta görmüş geçirmiş yetiştiricilerin dahi başarısı değişken olabilir. Lefevre'in mantar çiftliği New World

Truffieres'de, fidelerin siyah Périgord trüfü miselyumuyla başarılı bir ortaklık kurarak gelişme oranı yüzde otuz civarında seyrediyor. Lefevre yönteminde kasıtlı bir değişiklik yapmadığı halde bir keresinde yüzde yüz başarıyı yakalamış. "Bir daha asla aynı sonucu alamadım," diyor. "O zaman neyi doğru yapmıştım, bilmiyorum."

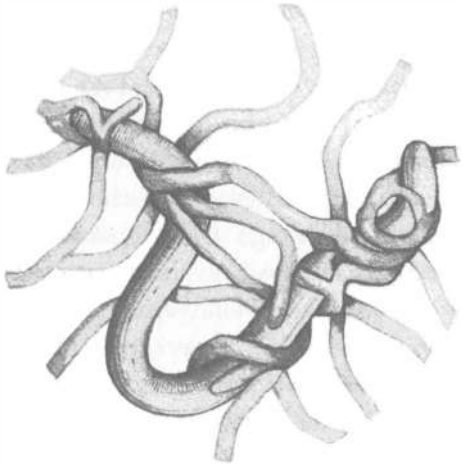
Trüf mantarı yetiştirirken verim almak için mantarların ve kendine özgü üreme sistemlerinin tuhaflıkları ve ihtiyaçlarının yanı sıra, birlikte yaşadıkları ağaçları ve bakterileri de anlamanız gerekir. Dahası topraktaki, mevsim ve iklimdeki ufak tefek değişkenliklerin önemini anlamalısınız. Britanya Adaları'nda siyah Périgord trüfünün meyve verdiğini ilk kez bildiren, Cambridge Üniversitesi coğrafya profesörü Ulf Büntgen, trüf mantarı yetiştiriciliğinin "Disiplinlerarası olmasından ötürü zihin açıcı bir alan" olduğunu söylüyor. "İçinde mikrobiyoloji, fizyoloji, arazi yönetimi, tarım, ormancılık, ekoloji, ekonomi ve iklim değişikliği var. Gerçekten de bütüncül bir bakış açısı geliştirmeniz gerek." Trüf mantarının etkileri ekosistemin bütününe sirayet eder. Bilimsel anlayış bunlara henüz yetişemedi.[22]

MANTARLARIN KİMYASAL ALBENİSİNE kapılanların bazıları için sonuç daha basittir: ölüm.

En etkileyici duyusal ustalıklardan birini yuvarlak solucanları (nematodlar) kıstırıp yiyen yırtıcı mantarlar sergiler. Dünyanın her yerinde solucan avlayan yüzlerce mantar türü bulabilirsiniz. Bu mantarların çoğu yaşamını bitkisel maddeleri ayrıştırarak sürdürür ve sadece yeterli besin olmadığında avlanmaya başlar. Fakat bu yırtıcılar hemen göze çarpmaz. Kokusu yayılmaya bir kez başladıktan sonra devam eden trüf mantarlarından farklı olarak nematod yiyen mantarlar, sadece civarda nematod olduğunu algıladıkları zaman solucan avlayan organlar oluşturup kimyasal bir çağrı yapar. Ortamda çürümek üzere bekleyen bol miktarda organik madde varsa solucanlara aldırmazlar bile. Nematod yiyen mantarların bunu yapabilmek için solucanları olağanüstü bir hassasiyetle saptayabilmeleri gerekir. Bütün nematodlarda, gelişimin düzenlenmesinden eşlerarası çekime belli bazı amaçlara aynı molekül sınıfı hizmet eder. Mantarlarsa bu kimyasalları avlarını gizlice dinlemek için kullanır.[23]

Mantarlar nematod avlamak için çok çeşitli ve tüyler ürpertici yöntemlere başvurur. Bu, bir kereden fazla evrilmiş bir alışkanlıktır, yani birçok mantar soyu farklı yollardan geçerek benzer sonuca ulaşmıştır. Bazı mantarlar, nematodları yakalayan yapışkan ağlar ya da dallar oluşturur. Bazıları, dokunulduğunda saniyenin onda biri kadar bir sürede şişen hif ilmekleri üreterek avını mekanik yollarla kıstırır. Kültür mantarı olarak yetiştirilen istiridye mantarı (*Pleurotus ostreatus*) gibi bazı mantarlar, ucunda nematodları felç eden bir zehirli damlacık bulunan hifler üretir; böylece hifleri solucanın ağzından giren mantar büyürken hayvanı içeriden sindirmek için yeterli zamanı kazanır. Başka bazı mantarlar, kimyasal olarak nematodlara doğru çekilerek onlara bağlanan, toprakta yüzebilen sporlar üretir. Nematoda bağlanan sporlar çimlenir ve mantar "silah hücreleri" olarak bilinen özel hiflerle solucanı zıpkınlar.[24]

Mantarların solucan avcılığı değişken bir davranıştır: Bir türün farklı bireyleri, farklı tuzak tipleri üreterek ya da tuzakları farklı konumlandırarak kendine özgü bir yanıt verebilir. *Arthrobotrys oligospora* türü, organik madde bolsa "normal" bir çürükçül gibi davranır ve gerekirse miselyumda nematod tuzakları oluşturur. Ayrıca diğer mantar tiplerini, miselyumlarına dolanarak aç bırakır ya da özelleşmiş bazı yapılarla bitki köklerine nüfuz ederek onlardan beslenir. Onca seçenek içinde hangisini nasıl tercih ettiğini bilmiyoruz.[25]



Hifler tarafından yenip yutulan nematod

MANTARLARIN İLETİŞİMİYLE İLGİLİ ne söyleyebiliriz? İtalya'da o çamurlu bayırdaki deliğin etrafında toplandığımızda sahneyi trüf mantarının gözünden görmeye çalıştım. Paride o heyecanla duygusal bir yorum yaptı. "Trüf mantarıyla ağacı iki âşığa ya da karıkocaya benzer," diye mırıldandı. "Aradaki iplikler bir kez koptu mu geri dönüşü olmaz. Kopan bağ asla onarılamaz. Ağacın kökünden doğan trüf mantarını yaban gülü savunmuş." Eliyle böğürtlenleri işaret etti. "O içeride yatarken, dikenler onu köpeğin öpücüğüyle uyanmayı bekleyen Uyuyan Güzel misali korumuş."

Hâkim bilimsel görüş, gayri insani etkileşimlerin kasıtlı olabileceğini düşünmenin yanlış olduğunu söyler. Trüf mantarları kendini sözcüklerle ifade edemez, konuşamaz. Bağımlı oldukları birçok hayvan ve bitki gibi trüf mantarları da çevrelerine, hayatta kalma şansını azamiye çıkaran robotsu rutinlere dayalı otomatik tepkiler verir. İnsan hayatında uyaran niceliğinin duyunun niteliğine sorunsuzca süzüldüğü, uyaranların hissedildiği ve duyguları doğurduğu, bizi etkileyen canlı deneyimler, mantarların bu durumuyla çarpıcı bir tezat sergiler.

Çamurlu bayırda dengemi bulup burnumu keskin mantar kokan toprak parçasına doğru uzattım. Onu bir otomata indirgemeyi ne kadar denersem deneyeyim trüf mantarı zihnimde ısrarla hayat bulmaya devam etti.

İnsan olmayan organizmalar arasındaki etkileşimleri anlamaya çalışırken bir bakış açısından diğerine kolayca geçilebilir: önceden programlanmış robotların cansız davranışlarının ve insan hayatında yaşanan zengin tecrübenin bakış açıları. Basit bir "deneyim"i dahi yaşamak için gerekli aygıttan yoksun, beyni olmayan organizmalar olarak sınıflanan mantarların etkileşimleri bir dizi biyokimyasal tetikleyiciye karşı verilen otomatik yanıtlardan başka bir şey değildir. Buna rağmen çoğu mantar gibi trüf mantarlarının miselyumu da etrafını aktif olarak duyumsar ve öngörülemeyen tepkiler verir. Mantar hifleri kimyasal olarak irkilebilir, uyarılabilir ve uyarıya yanıt verebilir. Mantarlar başka organizmaların yaydığı kimyasalları yorumlayabilme becerileri sayesinde ağaçlarla karmaşık ilişkiler kurabilir, topraktaki besin elementlerini yoğurabilir, seks yapabilir, avlanabilir ya da saldırganları savuşturabilir.

İnsanbiçimcilik (antropomorfizm) genellikle eğitimsiz, disiplinsiz, katılaşmamış, yumuşak insan zihninde kabarcık gibi beliriveren bir yanılsama olarak düşünülür. Bu yaklaşımın haklı gerekçeleri var: Dünyayı insansılaştırdığımızda, diğer canlıların yaşamını onların perspektifinden anlamamız mümkün olmayabilir. Ama acaba bu tutum bazı şeylerin dikkatimizden kaçmasına yol açıyor olabilir mi?[26]

Yurttaş Potawatomi Ulusu* üyesi biyolog Robin Wall Kimmerer, Potawatomi dilinin insan dünyasının ötesine canlılık atfeden fiillerden yana zengin olduğuna dikkat çeker. Örneğin "tepe" sözcüğü bu dilde bir fiildir: tepe olmak. Tepeler hep bir tepelenme, etkin bir tepe *olma* sürecindedir. Bu "canlılık grameri", diğer canlıların hayatları hakkında, onları "işaret zamiri"ne indirgemeden ya da geleneksel olarak sadece insanlar için kullanılan kavramları ödünç almadan konuşmayı mümkün kılar. Kimmerer, İngilizcede bunun tam tersine, "bir başka canlının yalın varlığını" tanımanın yolu olmadığını yazar. Özne insan değilse cansız bir *nesne* kabul edildiğinden "işaret zamiri"yle bir "şey"e dönüşür.** İnsani bir kavrama, insan olmayan bir organizmanın yaşamını anlamak için yeni bir amaç yüklerseniz insanbiçimciliğin tuzağına düşersiniz. "İşaret" zamirini kullanırsanız bu kez de organizmayı nesneleştirdiğiniz için farklı bir tuzağa düşersiniz.[27]

Biyolojik gerçekler hiçbir zaman siyah beyaz değildir. O halde dünyayı anlayabilmek için kullandığımız sorgulama araçlarımız, hikâyelerimiz ve metaforlarımız neden öyle olsun? Kavramlarımızdan bazılarını, konuşmak için her zaman bir ağız, dinlemek için kulaklar ve yorumlamak için bir sinir sistemi gerekmeyecek şekilde genişletemez miyiz? Bunu diğer yaşam biçimlerini önyargılara ve imalara boğmadan yapabilir miyiz?

Daniele trüf mantarını sarıp deliği toprakla doldurdu ve böğürtlen dallarını tekrar öbeğin üzerine doğru çekti. Paride bunu mantarın ağaç kökleriyle olan ilişkisini bozmamak için yaptıklarını söyledi, Daniele ise diğer trüf avcılarının izlerimizi takip etmelerini önlemek için

---

* ABD'nin Oklahoma eyaletinde bulunan ve federal tanınırlığa sahip bir Kızılderili kabilesi. (*e.n.*)

** Kimmerer, İngilizcede insan olmayan canlılar için kullanılan *it* zamirine dikkat çekiyor. Türkçede üçüncü tekil şahıs için kullandığımız o zamirinde bu ayrım ortadan kalkar. (*ç.n.*)

yaptığını. Aynı yoldan geri döndük. Arabaya vardığımızda trüf mantarının kokusu gücünü biraz yitirmiş, tartım odasına döndüğümüzde daha da hafiflemişti. Los Angeles'ta bir tabağın üzerine rendelenirken kokudan geriye ne kalacaktı acaba?

BİRKAÇ AY SONRA LEFEVRE ve Lagotto Romagnolo ırkı köpeği Dante ile Oregon'da, Eugene şehrinin dışındaki ağaçlık tepelere trüf avına gittik. Dante, Lefevre'in çeşitlilik köpeği olarak adlandırdığı türden bir köpek. Kika ve Diavolo gibi ürüne özgü köpekler, belli bir mantar türünden çok miktarda bulacak şekilde eğitilirken, çeşitlilik köpekleri ilginç kokan herhangi bir şeyin peşine düşmek üzere eğitilir. Bu da daha önce hiç koklamadıkları trüf türlerini bulmalarını sağlar. O yüzden Dante bazen trüf mantarı olmayan şeylerin, mesela keskin kokulu bir kırkayağın peşine düşer düşmesine ama bu sayede daha önce tanımlanmamış dört trüf mantarının yerini bulmuştur. Yeni türlerin bulunması o kadar da az rastlanan bir durum değil. Bir trüf mantarı türüne adını vermiş, iki yeni şube, yirminin üzerinde cins ve iki yüze yakın yeni tür tanımlamış ünlü bir trüf uzmanı olan Mike Castellano'nun Kaliforniya'da mantar toplarken rutin olarak yeni trüf mantarı türleri bulması hâlâ bilmediğimiz ne kadar çok şey olduğunu hatırlatıyor.

Douglas göknarlarıyla kılıç eğreltiotlarının arasında sallanarak yürüdüğümüz sırada Lefevre insanların trüf mantarını bilerek değilse de asırlardan beri yetiştirdiğini söyledi. Trüf mantarı insan eli değmiş ortamlarda serpilir. Avrupa'da trüf mantarı üretimi, ormanlık arazinin trüf yetişen kesimlerinin tarıma açılması ya da yaşlı ormanlara dönüşmesi için büsbütün kendi haline terk edilmesi sonucu yirminci yüzyılda hızla azaldı. Trüf mantarı üretimi için bunların ikisi de iyi değildir. Lefevre trüf mantarı yetiştiriciliğinin canlanmasından heyecan duyuyor çünkü bu yolla satış amaçlı bir mahsulün orman arazisinde üretilmesi ve özel sermayenin çevre restorasyonuna yönlendirilmesi mümkün olabilir. Trüf mantarı yetiştirmek için ağaç yetiştirmeniz, toprağın yaşamla dolu olduğunu kabul etmeniz gerekiyor. Ekosistem düzeyinde düşünmezseniz trüf mantarı yetiştiremezsiniz.

Dante zikzaklar çizerek ve koklayarak dolaşıyor. Lefevre, İsrailoğullarına çölü aşarken hızır gibi yetişen manna (kudret helvası) denen yiyeceğin aslında Ortadoğu'nun büyük bölümünde çorak

araziden ansızın bitiveren bir lezzet olan çöl trüfü olduğunu söylüyor. Lefevre yetiştirilmesi çok zor olan bu mantarı üretmeye çabalarken yaşadığı başarısızlıkları ve mantarın konak ağaçlarla olan ilişkisini ne kadar az anladığımızı anlatırken, mantarların değişen ortamlara pek çok yoldan yanıt verdiğini, bağımlı oldukları bitkiler ve hayvanlarla birlikte yaşamak için yeni yollar bulduklarını düşünüyordum.[28]

Trüf avı için ormana döndüğümde kendimi bir kez daha bu dikkat çekici organizmaların yaşamını tarif edebilecek dili ararken buldum. Parfüm üreticileri ve şarap tadımcıları aromalardaki farklılıkları söze dökmek için metaforlardan faydalanırlar. Bir kimyasal madde "biçilmiş çim", "sulu mango", "greyfurt ve terli atlar"a dönüşür. Bu referanslar olmasaydı kokuyu hayal bile edemezdik. Sis-3-heksenol, biçilmiş çim kokar. Oksan sulu mango, gardamid ise greyfurt ve terli at kokar. Bu, oksanın sulu mango *olduğu* anlamına gelmez ama size bir flakon oksan açıp uzatsaydım kokuyu tanıyacağınıza hemen hiç şüphem yok. İnsan diliyle bir koku arasında bağıntı kurmak, hüküm ve önyargıyla ilgilidir. Tariflerimiz betimlediğimiz fenomeni çarpıtır ve deforme eder ama bazen dünyanın nitelikleri hakkında konuşmanın tek yolu, bu nitelikleri gerçekte ait olmadıkları şeylere benzetmektir. Diğer organizmalar hakkında konuşurken de bunu yapıyor olabilir miyiz?[29]

Meselenin özüne indiğinizde öyle görünüyor. Mantarların beyni olmayabilir ama önlerine çıkan seçenekler karar vermelerini gerektirir. Bulundukları değişken ortam doğaçlama yapmalarını gerektirir. Denemeleri hata yapmalarına yol açar. Biz insanlar, bir hif için duyumsamanın ya da yorumlamanın neye *benzediğini* bilmesek de mantarlar kendi dünyalarını etkin biçimde duyumsar ve yorumlar. Bunu miselyum ağındaki hif çekimi yanıtında ya da ayrı miselyum ağlarındaki iki hif arasında gelişen cinsel çekimde de görürüz, bir mikoriza hifiyle bir bitki kökü arasındaki hayati cazibede veya canına susamış bir nematodun mantardaki zehirli damlaya doğru çekilmesinde de. Mantarların ister bir nematod olsun ister ağaç kökü, bir trüf köpeği ya da New York'ta bir restoran sahibi, diğer organizmalar tarafından yorumlanabilecek şekilde tekrar tekrar düzenlenen kimyasal bir dağarcık kullanarak kendilerini ifade ettiklerini düşünmek çok da abes olmayabilir. Trüf mantarında olduğu gibi bazen bu moleküller,

kendimizce anlayabileceğimiz kimyasal bir dile tercüme edilebilir. Bu dilin büyük bölümü başımızın üstünden ya da ayaklarımızın altından geçer gider.

Dante var gücüyle kazıyordu. "Trüfe benziyor," dedi Lefevre köpeğin vücut dilini okuyarak "ama derinde." Çılgınca kazarken Dante'nin burnunun ya da ayaklarının yaralanmasından endişelenip endişelenmediğini sordum. "Patilerini incitip duruyor," diye itiraf etti Lefevre. "Her seferinde ona bot almaya niyetleniyorum ama..." Dante burnundan soluyarak toprağı kazıyordu ama nafile. "Başaramadığı zaman çabalarından ötürü onu ödüllendiremediğim için kötü hissediyorum," dedi Lefevre çömelip köpeğin kıvırcık tüylerini okşayarak. "Ama onun için trüf mantarından daha değerli bir ödül bulamadım. Trüf mantarı hepsini sollar." Bana bakıp gülümsedi. "Dante'nin Tanrısı toprağın altında yaşıyor."

2

Canlı Labirentler

> Labirentin ipeksi, nemli karanlığında çok mutluyum ve burada ip yok.[1]
>
> —Hélène Cixous

Aynı anda iki kapıdan birden geçebildiğinizi hayal edin. Akıl almaz bir durum olsa da mantarlar bunu hep yapar. Yol çatallandığında mantar hifleri iki yoldan birini seçmek zorunda değildir. Dallanarak aynı anda her iki yoldan da ilerleyebilirler.

Mikroskobik labirentlerdeki hiflerin yollarını nasıl bulduklarını seyredebilirsiniz. Yol tıkalıysa dallanırlar. Hif uçları engelin etrafından dolanıp aynı yönde büyümeye devam eder. Arkadaşımın IKEA labirentini çözen cıvıkmantarları gibi, bu hifler de çok geçmeden çıkışa giden kestirme yolu bulur. Etrafını araştırarak büyüyen uçları izlerseniz tuhaf bir şey görürsünüz. Bir uç önce ikiye ayrılır, sonra dörde, derken sekize ama bu uçların hepsi aynı miselyum ağına bağlıdır. Bu tekil bir organizma mı, yoksa çoğul mu diye düşünürken bulurum kendimi ve sonunda her nasılsa beklenmedik şekilde *hem tekil hem de çoğul* olduğunu itiraf etmek zorunda kalırım.[2]

Tek bir labirentte yolunu bulmaya çalışan bir hifi seyretmek hayret vericidir ama daha geniş ölçekli düşünün: Bir kaşık toprakta, her biri farklı bir labirentte yolunu bulmaya çalışan milyonlarca hif ucu hayal edin. Şimdi daha da büyük düşünün: Futbol sahası büyüklüğünde bir ormanda yolunu arayan milyarlarca hif ucunu hayal edin.

Miselyum ekolojik bağ dokusudur, dünyanın büyük bölümünü birbirine bağlayan canlı dikiştir. Okullarda çocuklara, her biri vücudun

farklı veçhelerini tasvir eden anatomi şemaları gösterilir. Şemalardan biri iskeleti, bir başkası kan damarlarını, bir diğeri sinirleri ya da kasları gösterir. Aynı şemaları ekosistemler için hazırlasaydık şemalardan biri, katmanlar arasındaki mantar miselyumunu gösterirdi. Bu şemada toprakta, okyanus yüzeyinin yüzlerce metre altındaki kükürtlü çökeltilerde, mercan resiflerinde, ölü ve diri bitki ve hayvan bedenlerinde, çöplüklerde, halılarda, döşeme tahtalarında, kütüphanelerdeki eski kitaplarda, evdeki toz zerrelerinde ve müzelerdeki tuvallerde yayılan, iç içe geçmiş ağlar görürdük. Bir gram, yani yaklaşık bir çay kaşığı kadar topraktaki miselyumu açıp uç uca ekleseydik hiflerin toplam uzunluğunun yüz metre ila on kilometreyi bulacağı tahmin ediliyor. Yerkürede bulunan yapılara, sistemlere ve canlılara nüfuz eden miselyum çok sıkı dokunmuş olduğundan, pratik olarak uzunluğunu ölçmek imkânsızdır. Miselyum, hayvani hayal gücümüze meydan okuyan bir yaşam biçimidir.[3]

Yıllarını miselyumun yiyecek arama davranışını incelemeye vermiş olan, Cardiff Üniversitesi'nden mikrobiyal ekoloji profesörü Lynne Boddy'nin incelikli araştırmaları miselyum ağlarının karşılaştığı sorunları nasıl çözdüğünü gösterir. Boddy, yaptığı bir deneyde odun çürüten bir mantarı bir odun parçası üzerinde yetiştirdi. Ardından odun parçasını bir petri kabına koydu. Miselyum odun parçasından dışarıya doğru dairesel biçimde yayılarak bulanık beyaz bir halka oluşturdu. Büyüyen miselyum ağı sonunda yeni bir odun parçasına ulaştı. Mantarın sadece küçük bir parçası oduna dokunduğu halde ağın bütünü davranışını değiştirdi. Miselyum dört koldan aranmayı bıraktı. Ağın keşif kollarını geri çekti ve yeni keşfettiği odun parçasıyla arasındaki bağlantıyı genişletti. Birkaç gün sonra ağ tanınmaz haldeydi. Kendini baştan aşağı yeniden biçimlendirmişti.[4]

Boddy deneyi tekrarladı ama bu kez bir şeyi değiştirdi. İlk odun parçası üzerindeki mantarın büyüyüp yeni odun parçasını keşfetmesine izin verdi. Fakat bu sefer ağın yeniden biçimlenmesine fırsat vermeden ilk odun parçasını petri kabından çıkarıp büyüyen hifleri kestikten sonra yeni bir petri kabına koydu. İlk odun parçası üzerindeki mantar yeni keşfettiği odun parçası yönünde büyümeye başladı. Görünüşe göre miselyumun bir yön belleği vardı ama bu belleğin esasını neyin oluşturduğunu henüz bilmiyoruz.[5]

Boddy bu mantarların neler yapabildiğini sakin bir hayret duygusuyla ve işini bilen birinin ciddi tavrıyla anlatıyor. Bu mantarların davranışı cıvıkmantarlarınkini andırır ve Boddy de onları benzer bir teste tabi tutmuştu. Ne var ki miselyumu Tokyo metro ağı modeli yerine Büyük Britanya şehirleri arasındaki en elverişli yolları bulmaya teşvik etmişti. Britanya kara kütlesinin biçimini verdiği toprağın üzerinde *Hypholoma fasciculare*'nin kolonize olduğu odun parçalarıyla şehirlerin yerlerini işaretledi. Odun parçalarının büyüklüğü, temsil ettikleri şehirlerin nüfuslarıyla doğru orantılıydı. "Mantarlar 'şehirler'den çıkıp otoyol ağını oluşturdular," diyor Boddy. "M5, M4, M1, M6 otobanlarını görebiliyordunuz. Bayağı eğlenceliydi."

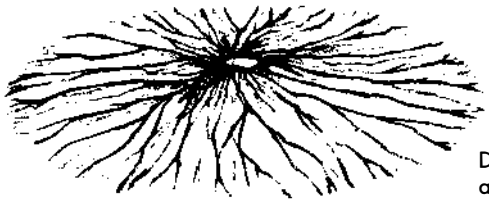
Miselyum ağları, bir hif sürüsü olarak da düşünülebilir. Böcekler sürü oluşturur. Sığırcıklar ve sardalyeler de. Sürüler kolektif davranış örüntüleridir. Karınca sürüsü, bir lider ya da kumanda merkezi olmaksızın besin kaynağına giden en kısa yolu bulabilir. Bir termit sürüsü incelikli mimari özellikler gösteren devasa yuvalar inşa edebilir. Ancak miselyum sürü benzetmesini aşar çünkü bir ağı oluşturan hif uçlarının hepsi birbiriyle bağlantılıdır. Termit sürüsünden farklı olarak bir miselyum ağını hif hif ayırmak mümkün olmasa da miselyum sürüsünde birim tanımına en çok yaklaşan şey, hif ucudur. Miselyum kavramsal olarak farklı anlamlar taşıyabilir. Ağ perspektifinden baktığınızda miselyum kendi içinde bağlantıları olan tek bir oluşumdur. Hif ucu perspektifinden baktığınızdaysa miselyum çokluktur.[6]

"İnsan olarak miselyumdan çok şey öğrenebileceğimizi düşünüyorum," diyor Boddy. "Trafik akışının nasıl değiştiğini görmek için gidip yolu kapatamazsınız ama miselyum ağındaki bir bağlantıyı kesebilirsiniz." Araştırmacılar beşeri sorunları çözmek için cıvıkmantarlar ve mantarlar gibi ağ tabanlı organizmaları kullanmaya başladılar. Cıvıkmantarları kullanarak Tokyo demiryolları ağı modelini oluşturan araştırmacılar, cıvıkmantar davranışını kentsel ulaşım ağlarının tasarımında kullanmaya çalışıyorlar. Batı İngiltere Üniversitesi Alışılmamış Bilişim Laboratuvarı'ndan araştırmacılar yangın sırasında binaların verimli biçimde nasıl tahliye edileceğini anlamak için cıvıkmantarlardan yararlandılar. Bazı araştırmacılarsa mantarların ve cıvıkmantarların labirentlerde yol bulmak için kullandığı stratejileri

matematik problemlerini çözmek ya da robot programlamak için kullanıyorlar.[7]

Labirentlerde yolunu bulmak ya da karmaşık yol problemlerini çözmek, önemsiz alıştırmalar değildir. Labirentler bu nedenle ahtapotlardan arılara ve insanlara pek çok canlının problem çözme becerilerini değerlendirmek için uzun zamandan beri kullanılıyor. Gelgelelim mantar miselyumları gerçek hayatta da labirentlerde yaşar; uzamsal ve geometrik problemleri çözecek şekilde evrilmişlerdir. Mantarlar bedenlerini en iyi nasıl yayacakları sorusuyla her an karşı karşıyadır. Miselyum yoğun bir ağ oluşturarak taşıma kapasitesini artırabilir ama yoğun ağlar uzun mesafeleri araştırmaya elverişli değildir. Seyrek ağlar geniş alanlarda yiyecek arama açısından daha iyidir ama ara bağlantıların daha az olduğu böyle ağlar hasara karşı daha savunmasızdır. Mantarlar kalabalık bir çürüme ortamında besin ararken bu dengeyi nasıl kurar?[8]

Boddy'nin iki odun parçası kullanarak yaptığı deney, tipik bir olaylar dizisini gösterir. Miselyum keşif durumuna geçerek her yöne uzamaya başlar. Çölde su bulmak için bir yön seçip aramaya başlarız. Mantarlarsa olası bütün yolları aynı anda seçebilir. Mantar yiyecek bir şey bulursa besinle arasındaki bağlantılarını güçlendirir ve bir yere varmayan bağlantılarını budar. Bunu bir nevi doğal seçilim olarak düşünebiliriz. Miselyum mebzul miktarda bağlantı oluşturur. Bunların bir kısmı diğerlerine göre daha rekabetçidir. Rekabetçi bağlantılar güçlenir. Daha az rekabetçi olanlarsa ortamdan çekilir ve geriye birkaç ana bağlantı kalır. Hatta miselyum ağları bir yönde büyürken diğer yönde geri çekilerek bulundukları arazide göç edebilir. Hayvan bedenlerinden farklı olarak önceden belirlenmiş olmayan sınırların sürekli biçimde dışına ve ötesine geçen miselyumu "ölçüsüz" sıfatıyla tanımlamak uygun olur. Miselyum vücut planı olmayan bir bedendir.[9]



Düz bir yüzeyi araştıran miselyum

MİSELYUMUN BİR PARÇASI, ağın uzak bir yerinde neler olup bittiğini nasıl "bilir"? Miselyum etrafa yayılırken de kendisiyle olan irtibatını bir şekilde koruyabilmelidir.

İsveçli mikolog (mantarbilimci) Stefan Olsson miselyum ağlarının eşgüdümü nasıl sağladığını ve bir bütün gibi davrandığını anlamak için yıllarını vermişti. Birkaç yıl önce sporokarpları ve miselyumu karanlıkta ışıldayan ve bu sayede sporlarını etrafa saçacak böcek türlerini kendine çeken bir biyolüminesan* mantar türüyle ilgilenmeye başladı. On dokuzuncu yüzyılda İngiltere'deki kömür madeni işçileri, maden ocaklarındaki payandaların üzerinde yetişen biyolüminesan mantarların etrafı, işçilerin "ellerini görmelerine izin verecek kadar" aydınlattığını söylüyordu. Benjamin Franklin, 1775'te Amerikan Bağımsızlık Savaşı sırasında geliştirilen *Turtle* adlı ilk denizaltının pusula ve derinlik göstergesini aydınlatmak için "tilki ateşi" olarak bilinen biyolüminesan mantarların kullanılmasını önermişti. Olsson'un incelediği tür *Panellus stipticus*'tu. "Kavanozda yetiştirdiğiniz mantarların ışığında okuyabiliyordunuz," diyordu Olsson. "Evde rafın üzerinde duran küçük bir lambaya benziyordu. Çocuklarım bayılmıştı."[10]

Olsson, laboratuvarda ürettiği mantar kültürlerinde *Panellus* miselyumunun davranışını izledi ve ışıldayan kültürlerden ikisini karanlık bir kutuya yerleştirip sabit koşullarda bekletti. Mantar kültürlerini bir hafta boyunca kutuda tuttu ve biyolüminesansı saptayabilecek kadar hassas bir kamerayla birkaç saniyede bir fotoğraflarını çekti. Zaman aralıklı videoda, aralarında bağlantı olmayan iki miselyum kültürünün dışarı doğru büyüdüğü ve her birinin kendi kültür ortamında düzensiz halkalar oluşturduğu, ortada kenarlara göre daha fazla ışıldadığı görülüyordu. Birkaç gün –videoda yaklaşık iki dakika– sonra ani bir değişim oluyordu. Kültürlerden birinde miselyum ağının bir ucundan başlayıp diğer ucuna ilerleyen bir biyolüminesans dalgası görülüyordu. Bir gün sonrasındaysa benzer bir dalga ikinci kültürü de taramıştı. Miselyumun zaman ölçeğinde bu son derece çarpıcı bir olaydır. Miselyum zamanıyla saniyeler içinde ağlardan her biri farklı bir fizyolojik duruma geçer.[11]

---

* İçlerindeki kimyasal tepkimeler sırasında ışık enerjisi üreten ve ışık yayan organizmalar (*e.n.*)

"Bu da neyin nesiydi?" diyor Olsson. Yalnız kalan mantarın sıkılmış olabileceğini, oyun oynamaya başladığını ya da depresyona girdiğini söylüyor şaka yollu. Kültürleri birkaç hafta daha karanlıkta bıraktığı halde dalga bir daha hiç görülmemiş. Yıllar sonra hâlâ ne bunun sebebine dair iyi bir açıklaması var ne de miselyumun davranışlarını bu denli kısa zaman ölçeğinde nasıl eşgüdümlü hale getirebildiğine dair.[12]

Herhangi bir kontrol merkezi olmadığı için miselyumdaki eşgüdümü anlamak zor. Kafamızı kesersek ya da kalbimizi durdurursak işimiz biter. Bir miselyum ağının başı ya da beyni yoktur. Mantarlar da bitkiler gibi denetim merkezi olmayan canlılardır. İşletim merkezleri, başkentleri ya da meclisleri bulunmaz. Denetim organizmanın bütününe dağılmıştır. Miselyumda eşgüdüm belli bir yerde değil, aynı anda her yerdedir. Miselyumun bir parçasından rejenerasyonla bütün ağ oluşabilir; yani tek bir miselyum bireyi –bunu söylemeye cesaretiniz varsa– ölümsüzlük potansiyeli taşır.

Kaydettiği biyolüminesans dalgalarının nedenini merak eden Olsson başka bir deney daha yaptı. *Panellus* miselyumunun bir tarafına bir pipet ucu sapladı. Hasar gören alan derhal parladı. Olsson'un kafasını karıştıran şey, ışığın ağda on dakika içinde dokuz santimetrelik bir mesafe kat etmesiydi. Bu, kimyasal bir sinyalin miselyumun bir ucundan diğer ucuna ulaşabilmesi için fazla hızlıydı.

Olsson, hasarlı hiflerden yayılan uçucu bir kimyasal sinyalin miselyum ağı boyunca havada bir gaz bulutu halinde yayılabileceğini ve böylece ağ içinde taşınmasının gerekmeyeceğini düşündü. Bu olasılığı sınamak için genetik açıdan özdeş iki miselyumu yan yana yetiştirdi. İki miselyum arasında doğrudan bağlantı yoktu ama miselyumlar birbirine, havada sürüklenen kimyasalların aradaki boşluğu aşabileceği kadar yakındı. Olsson ağlardan birine pipet sapladı. Işık daha önce olduğu gibi ağ boyunca ilerledi ama sinyal komşu miselyuma yayılmadı. Ağın içinde işleyen bir çeşit hızlı iletişim sistemi olsa gerekti. Bunun ne olabileceği Olsson'un kafasını gittikçe daha fazla kurcalıyordu.

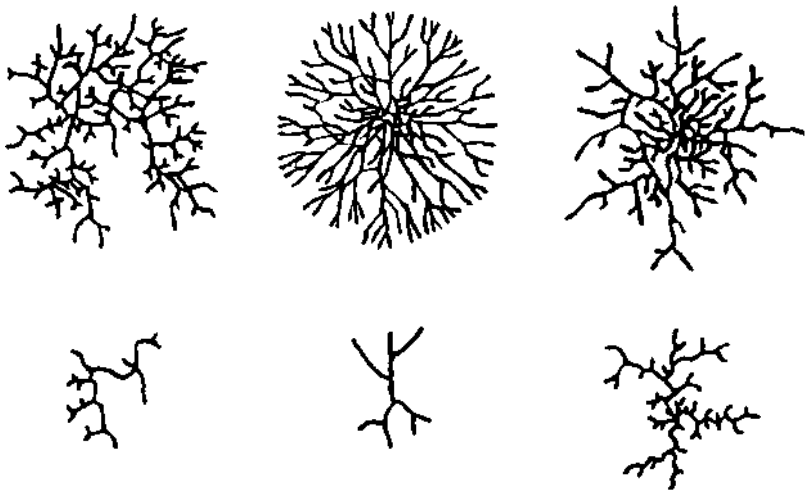
MİSELYUM, MANTARIN BESLENME YOLUDUR. Fotosentez yapan bitkiler gibi kimi organizmalar kendi besinini üretir. Buna karşılık hayvanların çoğu besini dış dünyadan alır, sindirir ve soğurur. Mantarlar

farklı bir strateji kullanır. İçinde bulundukları dış dünyayı sindirip soğururlar. Hifleri uzun, dallı ve tek bir hücre kalınlığındadır. Çapı iki ila yirmi mikron arasında değişen bu dallar insan saçının beşte biri kalınlığındadır. Hifler etraflarıyla ne kadar temas ederse o kadar besin alır. Hayvanlarla mantarlar arasındaki fark basittir: Hayvanlar gıdayı vücutlarına alır, mantarlarsa vücutlarını gıdanın içine gömer.[13]

Ne var ki dış dünyanın koşulları önceden kestirilemez. Hayvanların çoğu belirsizlikle başa çıkmak için hareket eder. Başka bir yerde yiyecek bulmak daha kolaysa oraya giderler. Fakat kendini miselyum gibi düzensiz ve öngörülemez bir besin kaynağına gömmek için biçim değiştirebilmek gerekir. Miselyum, fırsatçı bir araştırma ve spekülasyon sürecinin yaşayan ve büyüyen, bedenlenmiş halidir. Bu eğilim gelişimsel "belirlenimsizlik" olarak bilinir. Birbirinin aynı iki miselyum ağı bulamazsınız. Miselyumun şekli nasıldır? Bu, suyun şeklini sormaya benzer. Bu soruya yalnızca miselyumun nerede büyüdüğünü bilirsek yanıt verebiliriz. Miselyumun durumunu, ortak bir vücut planı olan ve benzer bir gelişim sürecinden geçen insanların durumuyla karşılaştıralım. İki kollu doğduysak dışarıdan herhangi bir müdahale olmadığı sürece iki kollu ölürüz.

Miselyum bulunduğu ortamda kendini bir yerden bir yere aktarır ama büyüme örüntüsü sonsuz çeşitlilikte değildir. Farklı mantar türleri farklı miselyum ağları oluşturur. Bazı türlerin hifleri ince, bazılarınınki kalındır. Bazıları besin konusunda seçiciyken, diğerleri o kadar müşkülpesent davranmaz. Kimi mantarlar besin kaynağının dışına çıkmayan ve tek bir toz zerresine sığan kısa ömürlü ponponlar oluşturur. Kimi türlerse kilometrelerce öteye uzanan uzun ömürlü ağlar meydana getirir. Bazı tropikal türler yiyecek aramaz bile: Süzerek beslenen hayvanlar gibi davranan bu mantarlar kalın miselyum şeritlerinden ördükleri ağlarla dökülen yaprakları yakalar.[14]

Mantarlar nerede büyürlerse büyüsünler besin kaynağına sinsice sızmak zorundadırlar. Bunun için baskı uygularlar. Bitkilerde hastalık yapan mantarlarda olduğu gibi sert engelleri aşması gereken miselyumlar elli ila seksen atmosfer basınç uygulayabilen, Mylar ve Kevlar gibi sert plastiğin dahi içine işleyebilen özel delici hifler geliştirir. Bir araştırmadaki tahmine göre tek bir hif, bir insan eli kadar geniş olsa sekiz tonluk bir otobüsü kaldırabilir.[15]



Farklı miselyum tipleri. Fries'ın (1943) çizimlerine göre yeniden çizilmiştir.

ÇOKHÜCRELİ ORGANİZMALARIN ÇOĞU yeni hücre katmanları oluşturarak büyür. Hücreler bölünerek yeni hücreler meydana getirir ve bunlar da bölünür. Karaciğer, karaciğer hücrelerinin üst üste yığılmasıyla oluşur. Kas ya da havuçta da aynısı olur. Oysa hifler farklıdır; onlar uzayarak büyür. Bir hif, uygun koşullarda sonsuza dek uzayabilir.

İster mantarda olsun ister başka bir canlıda, bütün hücresel faaliyetler moleküler düzeyde son derece hızlı gelişir. Bu standartlara göre bile hif uçları basketbol sahasında kendi kendine zıplayan on bin topun yarattığından daha büyük bir kargaşa içindedir. Bazı türlerin hifleri o kadar hızlı büyür ki uzarken seyredebilirsiniz. Hif uçları ilerledikçe yeni madde depolamak zorundadır. Hücresel yapı malzemeleriyle dolu minik keseler, içeriden hif uçlarına doğru ilerler ve saniyede altı yüz kadar kesecik bu hifin ucuyla kaynaşır.[16]

Sanatçı Francis Alÿs 1995'te mavi boyayla dolu, dibi delik bir kutuyu elinde taşıyarak São Paulo'da dolaşmıştı. Şehirde günlerce gezerken kutudan damlayan boya arkasında bir iz bırakmıştı. Bu mavi çizgi onun yolculuğunun bir haritası, zamanın bir portresiydi. Alÿs'in peformansı hiflerin büyümesini yansıtır. Alÿs hifin büyüyen ucudur,

arkasında bıraktığı kıvrımlı izse hifin gövdesi. Büyüme uçtan olur; biri Alÿs'i elinde boya kutusuyla yürürken durdursaydı çizgi orada kesilecekti. Kendi hayatınızı da böyle düşünebilirsiniz. Büyüyen uç içinde bulunduğunuz an, şu anda yaşadığınız tecrübe ve ilerledikçe geleceğinizi kemiren şimdidir. Hayat öykünüz hifin geri kalanı, geride bıraktığınız dolaşık mavi izdir. Miselyum ağı mantarın yakın tarihinin haritasıdır ve bütün yaşam formlarının aslında *şeyler* değil *süreçler* olduğunu hatırlatır. Beş yıl önceki "siz"i oluşturan şeyler bugünkü "siz"i oluşturanlardan farklıydı. *Genetik* sözcüğünü ilk defa kullanan William Bateson'ın dediği gibi, "Hayvanları ve bitkileri madde olarak düşünürüz ama aslında onlar, sürekli madde geçişi olan sistemlerdir." İster mantar olsun ister çam ağacı, bir canlı gördüğümüzde, onun kesintisiz gelişim sürecindeki tek bir ânı yakalarız.[17]

Miselyum genellikle hif uçlarından büyür ama bazen hifler şapkalı mantarı oluşturacaksa etraftan su alıp hızla şişer. Bu nedenle mantarlar yağmurdan sonra yerden bitiverir. Mantar gelişimi çok büyük bir kuvvet oluşturabilir. Kokarboynuz mantarı asfaltı çatlatırken 130 kiloluk bir cismi kaldırabilecek kuvvet uygular. 1860'larda yayımlanan popüler bir mantar rehberinde Mordecai Cooke şöyle diyordu: "Yıllar önce [İngiltere'nin] Basingstoke kasabasında yola taş döşenmiş ve birkaç ay sonra kaldırımda nedeni anlaşılamayan bir kabarma olmuştu. Çok geçmeden işin sırrı anlaşıldı: Kaldırımın altında büyüyen mantarlar en ağır taşların bir kısmını yerinden oynatmıştı. Taşlardan biri elli altıya elli üç santimetre boyutlarındaydı ve otuz yedi buçuk kilo çekiyordu."[18]

Miselyumun büyümesi üzerine bir dakikadan uzun düşündüğümde zihnim açılmaya başlıyor.

1980'LERİN ORTASINDA AMERİKALI MÜZİKOLOG Louis Sarno, Orta Afrika Cumhuriyeti ormanlarında yaşayan Aka pigmelerinin müziğini kaydetti. Bu kayıtlardan birinin adı "Mantar Toplayan Kadınlar"dı. Kayıtta kadınlar mantar toplamak için yeraltındaki miselyum ağını takip ederek dolaşırken, ormandaki hayvan sesleri arasında şarkı söyler. Her biri farklı bir ezgi söyler; her birinin sesi farklı bir müzikal hikâye anlatır. Ezgiler çoğulluğunu yitirmeksizin birbirine dolanır. Sesler yan yana ve iç içe geçerek birbirinin etrafından akar.[19]

"Mantar Toplayan Kadınlar" bir müzikal çokseslilik örneğidir. Çokseslilikte aynı anda birden fazla ses duyulur ya da birden fazla hikâye anlatılır. Barbershop kuartetlerindeki* armonilerden farklı olarak kadınların sesleri hiçbir zaman kaynaşıp birleşik bir sese dönüşmez. Sesler bireysel kimliklerini yitirmediği gibi, rol de çalmazlar. Solist, assolist, lider yoktur. Kaydı on kişiye dinletip duydukları şarkıyı tekrarlamalarını isteseniz her biri farklı bir ezgi mırıldanır.[20]

Miselyum çokseslilliğin somutlaşmış biçimidir. Kadınlardan her birinin sesi, kendi için bir ses ortamı ("soundscape") arayan bir hif ucudur. Her biri özgürce dolaşsa da gezintileri diğerlerinden ayrı düşünülemez. Ana ses yoktur. Baskın melodi yoktur. Merkezcil bir plan yoktur. Yine de ortaya bir form çıkar.

Ne zaman "Mantar Toplayan Kadınlar"ı dinlesem kulaklarım ormanda, kadınlardan birinin yanındaymışım gibi tek bir ses seçip müzik boyunca onu takip eder. Aynı anda birden fazla sesi izlemek zordur. Birçok konuşmayı birinden diğerine geçmeden aynı anda dinlemeye benzer. Birkaç bilinç akışı zihinde birbirine karışır. Dikkatimi daha az odaklamam, daha fazla dağıtmam gerekir. Her seferinde çuvallarım ama işitmemin odağı belirsizleşince başka bir şey olur. Şarkılar birleşerek seslerden hiçbirinde tek başına var olmayan başka bir şarkıya dönüşür. Bu şarkı, müziğin ezgi örgüsünü çözdüğümde kaybolur.

Miselyum, mantar hiflerinin –bilinç akışlarının somutlaşmış halinin– birbirine karışıp kaynaşmasıyla oluşur. Ne var ki miselyum gelişimi konusunda uzman olan mikolog Alan Rayner'ın hatırlattığı gibi, "Miselyum şekilsiz bir pamuk parçasından öte bir şeydir." Hifler bir araya gelerek karmaşık yapılar oluşturur.

Şapkalı mantarlara baktığınızda gördüğünüz şey, meyvedir. Gözünüzün önüne bir asmanın verdiği üzüm salkımlarını getirin. Şimdi de o üzümleri üreten, toprağın altında kıvrıla büküle, dallanan asmayı düşünün. Üzümler ve asma kütükleri farklı tipte hücrelerden oluşur. Bir şapkalı mantarı keserseniz miselyumla aynı tipte hücrelerden, hiflerden meydana geldiğini görürsünüz.

---

* Başlangıcı üzerine çeşitli görüşler bulunan, 20. yüzyıl başlarında popülerlik kazanmış, genellikle enstrümansız, sadece sesle ve genellikle dörtlü gruplarla (kuartet) icra edilen çok sesli bir müzik türü veya akımı. (*e.n.*)

Hifler şapkalı mantar dışında başka yapılar da oluşturur. Birçok mantar türünde hifler "kordon" ya da "rizomorf" olarak bilinen içi boş kablolar meydana getirir. Bunlar ince liflerden birkaç milimetre kalınlığında şeritlere varan ve yüzlerce metre uzayabilen yapılardır. İçlerindeki boşluğun sıvıyla dolu olduğunu kolayca unutuveririz ama hifler aslında iplik değil, tüp şeklindedir; kordonlar ve rizomorflar da çok sayda ince tüpten oluşmuş büyük borulardır. Bu borularda tek tek hiflerdekinin binlerce misli olan akış hızı (bir araştırmaya göre saatte yaklaşık 1,5 metre) miselyum ağlarının besini ve suyu uzak mesafelere taşımasını sağlar. Olsson, İsveç'teki bir ormanda gördüğü, iki futbol sahası büyüklüğünde bir alanda meyve vermiş büyük bir *Armillaria* (bal mantarı) ağından söz etmişti. O bölgede akan bir nehrin üzerinden küçük bir köprü geçiyormuş. "Köprüye daha yakından bakmaya başlayınca," diye anlatıyor Olsson, "mantarın kordonlarını köprünün altına sarmaya başlamış olduğunu gördüm. Gerçekten de köprüyü kullanarak nehri geçmeye çalışıyordu." Mantarların bu yapıların gelişmesi sırasında eşgüdümü nasıl sağladığı hâlâ bir sır.[21]



Şapkalı mantarlar da tıpkı miselyum gibi hiflerden oluşur.

Kordonlar ve rizomorflar, miselyum ağlarının iletim ağları olduğunu hatırlatır. Boddy'nin miselyum yol haritası bir diğer iyi örnektir. Şapkalı mantarın büyümesi de öyle: Asfaltı itebilmek için

mantarın suyla şişmesi gerekir. Bunun için de su miselyum ağında bir yerden bir yere hızla gidebilmeli ve dikkatli yönlendirilmiş bir akışla gelişmekte olan şapkalı mantara ulaşabilmelidir.

Kısa mesafelerde miselyum ağında madde aktarımı, asansörle iskele arasındaki bağlantılar gibi işlev gören, protein yapısında hareketli iplikçikler olan mikrotübüller vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Ne var ki mikrotübül "motorlar" yoluyla madde aktarımının enerji maliyeti yüksektir ve uzun mesafelerde hif içeriği, hücresel sıvı nehriyle taşınır. Her iki yaklaşım da miselyum ağları arasında hızlı ulaşıma olanak tanır. Verimli bir taşıma miselyum ağının farklı kısımlarının farklı faaliyetlerle meşgul olmasını sağlar. İngiltere'deki Haddon Hall malikânesinin renovasyonu sırasında, kullanılmayan bir taş fırının içinde *Serpula lacrymans* (kuru çürük mantarı) bulunmuştu. Mantarın miselyum bağlantıları, taşların arasında sekiz metre yol katedip binanın başka bir yerindeki çürümüş zemin tahtasına ulaşıyordu. Mantar zemin tahtasından besleniyordu ama fırında meyve vermişti.[22]

Miselyumdaki akışı anlamanın en iyi yolu, içeriğin ağ içindeki gidiş gelişini görmektir. 2013'te Los Angeles'ta, Kaliforniya Üniversitesi'nden bir grup araştırmacı miselyuma uyguladıkları işlemle hücresel yapıların hif içindeki hareketini görünür hale getirdiler. Video kayıtları akın akın ilerleyen çekirdekleri gösterir. Bazı hiflerde diğerlerine göre daha hızlı, bazılarında farklı yönlere doğru ilerlerler. Bazen trafik sıkışır ve çekirdek trafiği hiflerdeki kanallar aracılığıyla yön değiştirir. Çekirdek akıntıları birleşir. Ritmik çekirdek akımları ("çekirdek kuyrukluyıldızları") kavşaklarda dallanarak ve yan kanallara saparak harala gürele ilerler. Araştırmacılardan birinin şaka yollu ifade ettiği gibi, gördüğümüz manzara bir "çekirdek anarşisi"dir.[23]

AKIŞ, BİR MİSELYUM AĞINDA trafiğin nasıl işlediğini açıklamamıza yardımcı olur ama mantarların niye şu yönde değil de bu yönde büyüdüğünü açıklayamaz. Hifler uyaranlara karşı hassastır ve her an dünya kadar olasılıkla karşılaşırlar. Sabit hızla düz bir çizgi olarak uzamak yerine çekici şeylere yönelip itici olanlardan uzaklaşırlar. Bunu nasıl yaparlar?

Nobel Ödüllü biyofizikçi Max Delbrück 1950'lerde duyusal davranışla ilgilenmeye başlamıştı. Model organizma olarak *Phycomyces*

blakesleeanus mantarını seçti. Delbrück *Phycomyces*'in dikkat çekici algısal becerilerine hayran kalmıştı. Bu mantarın aslında devasa dikey hiflerden oluşan ve ucunda sporokarp taşıyan uzantıları insan gözü gibi ışığa karşı hassastır ve tıpkı gözlerimiz gibi parlak ya da loş ışığa uyum sağlar. Tek bir yıldızınki kadar zayıf bir ışığı saptayabilirler ve ancak güneşli bir günde maruz kaldığı ışıkla gözleri kamaşır. Bir bitkide yanıt oluşturmak için onu yüzlerce kat fazla ışığa maruz bırakmanız gerekir.[24]

Delbrück kariyerinin son döneminde, *Phycomyces*'in basit çokhücreli organizmaların "en zekisi" olduğunu yazmıştı. Saniyede bir santimetre, yani saatte 0,036 kilometre kadar düşük bir hızla büyüyen *Phycomyces* dokunmaya karşı olağanüstü duyarlılığının yanı sıra, "kaçınma yanıtı" olarak adlandırılan bir fenomen sayesinde yakınındaki cisimleri tespit eder. Onlarca yıl süren zahmetli araştırmalara rağmen kaçınma yanıtı hâlâ bir muammadır. *Phycomyces*'in meyve veren gövdesinin birkaç milimetrelik menzili içinde kalan cisimler, mantarın o cisme dokunmadan yön değiştirmesine neden olur. *Phycomyces* cismin saydam ya da opak, yüzeyinin pürüzsüz ya da pütürlü olmasına aldırmaksızın yaklaşık iki dakika sonra yön değiştirmeye başlar. Bu yön değiştirmenin elektrostatik alanlara, neme, mekanik etkenlere ve sıcaklığa bağlı olmadığı gösterilmiştir. *Phycomyces*'in yakınındaki cismin etrafında minik hava akımlarıyla yön değiştiren, uçucu kimyasallardan oluşmuş bir sinyal kullandığını ileri süren varsayım henüz kanıtlanmamıştır.[25]

Phycomyces olağanüstü duyarlı bir tür olsa da mantarların çoğu ışığa (yönüne, şiddetine ve rengine), sıcaklığa, neme, besin elementlerine, toksinlere ve elektrik alanlarına yanıt verir. Bitkiler gibi mantarlar da mavi ve kırmızı ışığa hassas reseptörlerle renk spektrumunu "görebilir." Bitkilerden farklı olarak mantarlarda, hayvanların gözündeki koni ve çubuklarda bulunan ışığa duyarlı opsin pigmentleri bulunur. Hifler yüzeylerin dokusunu da hissedebilir; bir çalışmaya göre fasulye pas mantarının genç hifleri yapay yüzeylerde bir mikron (CD'lerde lazerle açılan yiv derinliğinin yarısı) derinliğindeki girintileri saptayabilmektedir. Hifler birleşerek şapkalı mantarı meydana getirince yerçekimine karşı birdenbire duyarlılık kazanır. Ve daha önce de gördüğümüz gibi, mantarlar diğer organizmalarla ve kendi aralarında sayısız kimyasal

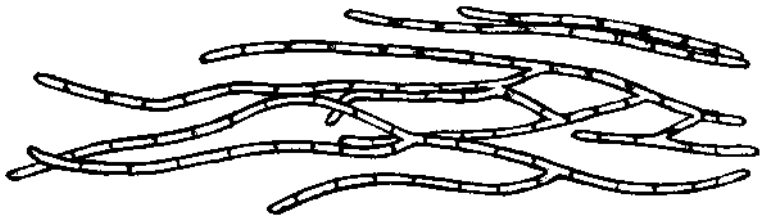
iletişim kanalı kurar. Hifler kaynaşacakları ya da eşeyli üreyecekleri zaman "kendi" olanı "öteki"nden ve "öteki"leri de birbirinden ayırt ederler.[26]

Mantarlar bir duyusal enformasyon selinde yaşar ve hifler, uçlarının komutasında bu veri nehirlerini *bütünleştirip* büyümek için kendilerine uygun bir güzergâh belirler. İnsanlar da çoğu hayvan gibi beyinlerini kullanarak duyusal verileri bütünleştirir, ne yapılması gerektiğine karar verirler. Bu nedenle diğer canlılarda da verilerin bütünleştirildiği belli yerler aramaya meyleder iz. *Nerede* sorusunu sormayı severiz ama bitkilerde ve mantarlarda "nerede" sorusunu sorarak fazla yol alamayız. Bir miselyum ağının ya da bitkinin farklı bölümleri vardır ama bunlar benzersiz değildir. Her şeyden çok sayıda vardır. O halde duyusal veri nehirleri bir miselyum ağında nasıl bir araya gelir? Beyni olmayan organizmalar algıyla eylem arasında nasıl bağlantı kurarlar?

Bitkibilimciler bu sorularla yüz yılı aşkın süredir boğuşuyor. 1880'de Charles Darwin ile oğlu Francis, *The Power of Movement in Plants* (Bitkilerde Hareketin Gücü) adlı bir kitap yayımladılar. Kitabın son paragrafında, büyüme rotasını kök uçları çizdiğine göre, organizmanın farklı yerlerinden gelen sinyallerin de kök uçlarında bütünleştirilmesi gerektiği ileri sürülür. Darwin'ler kök uçlarının "basit hayvanların beyni gibi (...) duyu organlarından izlenimler edindiğini ve bitkinin hareketlerini yönlendirdiğini" yazar. Darwin'lerin "kök-beyin" hipotezi olarak bilinen bu varsayımı en hafif deyimiyle tartışmalıdır. Gözlemlerinin doğru olduğuna şüphe yok; toprağın üzerinde büyüyen uçların sürgünlerin hareketini yönlendirmesine benzer şekilde kök uçlarının da kök hareketlerini yönlendirdiği çok açık. Bitkibilimciler *beyin* sözcüğünün kullanımı konusunda fikir ayrılığına düşer. Kimilerine göre bu yaklaşım bizi bitki yaşamını daha iyi anlamaya sevk eder. Kimileriyse bitkilerin beyne benzer bir yapıya sahip olduğunu ileri sürmenin akıl almaz olduğunu düşünür.[27]

Beyin sözcüğü bir açıdan dikkati başka yöne çeker. Darwin, kökleri ve sürgünleri yönlendiren uçların, enformasyonun bir araya gelerek algıyla eylem arasında bağlantı kurduğu, uygun büyüme rotasını belirleyen yer olması gerektiğini söylüyordu. Aynı şey mantar hifleri için de geçerlidir. Miselyumun büyüyen, yön değiştiren, dallanan ve kaynaşan

bölümleri hif uçlarıdır. İşin büyük bölümünü onlar halleder. Ve bir miselyumda çok sayıda hif ucu bulunur. Birbiriyle birleşen ve koşut veri işleyen hif uçlarının sayısı yüzler ile milyarlar arasında değişebilir.[28]



HİF UÇLARI VERİ NEHİRLERİNİN bir araya geldiği, büyümenin hızını ve yönünü tayin eden yerler olabilir ama ağın bir yerindeki uçlar, uzak bir bölgesindeki uçların ne yaptığını nasıl "bilebilir"? Olsson'un bilmecesine dönelim. Deneydeki biyolüminesan *Panellus* kültürleri, ağda A noktasından B noktasına kimyasal yolla olamayacak denli kısa süreler içinde ilerleyen eşgüdümlü davranışlar sergileyebiliyordu. Bazı mantar türlerinin miselyumları etrafa yüzlerce metre yayılan, asırlık "cadı halkaları" oluşturur; derken bu halkadan her nasılsa aynı anda şapkalı mantarlar bitiverir. Boddy'nin deneylerinde besin arayan miselyum ağının sadece bir kısmı yeni odun parçasını keşfetmiş ama bütün miselyumun davranışı değişmişti; üstelik bu değişim hızlı olmuştu. Miselyum ağları kendi içlerinde nasıl haberleşir? Miselyum ağlarında enformasyon nasıl bu kadar hızlı yayılabilir?[29]

Birkaç olasılık var. Bazı araştırmacılar, miselyum ağlarının basınç ya da akış değişiklikleri yoluyla gelişimsel başlama işaretlerini ilettiğini düşünüyor çünkü miselyum, arabaların fren sistemine benzer hidrolik bir ağ oluşturduğu için bir yerde ortaya çıkan ani bir basınç değişimi prensip olarak her yerde hissedilebilir. Bazı araştırmacılarsa hif kompartımanlarındaki bileşiklerin birikmesi ya da salıverilmesiyle gelişen metabolik aktivitenin, ağın davranışını eşzamanlı hale getiren düzenli uyarılar oluşturabildiğini gözlemlediler. Olsson ise dikkatini başka bir seçeneğe yönlendirdi: elektrik.[30]

Hayvanların, vücutlarının farklı bölümleri arasındaki iletişimde "aksiyon potansiyeli" denen elektrik impulslarını kullandıkları uzun zamandan beri biliniyor. Hayvan davranışlarında eşgüdümü

sağlayan, elektriksel olarak uyarılabilir özellikte uzun sinir hücreleri olan nöronları inceleyen ayrı bir bilim dalı var: nörobilim. Elektriksel sinyal mekanizması her ne kadar hayvanlara özgü bir beceri olarak düşünülse de aksiyon potansiyeli üretebilen tek canlı grubu hayvanlar değil. Bitkiler ve algler de aksiyon potansiyeli üretir ve bazı mantarların da bunu yapabildiği 1970'lerden beri biliniyor. Bakteriler de elektriksel olarak uyarılabilir. "Kablo bakterileri" nanoteller adıyla bilinen, uzun, iletken iplikçikler oluşturur. Bakterilerin, aksiyon potansiyeline benzer elektriksel aktivite dalgaları kullanarak faaliyetlerini eşgüdümlü hale getirdiklerini 2015'ten beri biliyoruz. Buna rağmen elektriksel aktivitenin mantarların yaşamında önemli bir rol oynuyor olabileceği pek az mikoloğun aklına gelmişti.[31]

1990'ların ortalarında İsveç Lund Üniversitesi'nde Olsson'un bölümünden bir grup, böcek nörobiyolojisi üzerine araştırmalar yapıyordu. Grup, yaptığı deneylerde güvelerin beynine ince cam mikroelektrotlar yerleştirerek nöronların aktivitesini ölçüyordu. Olsson, bu düzeneği basit bir soruya yanıt bulmak amacıyla kullanmak istedi. Güvelerin beyinleri yerine mantar miselyumu kullanırsa ne olurdu? Bu soru nörobilimcilerin merakını celbetti. Prensipte mantar hiflerinin elektrik impulslarını iletebilmesi gerekir. Hifler, elektriksel aktivitenin herhangi bir kayıp olmaksızın uzun mesafeler gidebilmesi için gerekli yalıtımı sağlayan proteinlerle kaplıdır. Hayvanlardaki sinir hücrelerinde de buna benzer yalıtkan bir kılıf bulunur. Dahası miselyumdaki hücrelerin birbirleriyle devamlılık göstermesi, ağın bir yerinde başlayan impulsların bir başka yere muhtemelen kesintisiz olarak ulaşmasını sağlar.

Olsson çalışacağı mantar türünü dikkatle seçti. Mantarlarda gerçekten de elektriksel iletişim varsa uzun mesafelerde iletişim kurması gereken türlerde bunu saptamanın daha kolay olabileceğini düşündü. İşi şansa bırakmamak için kilometrelerce yayılması ve binlerce yıl yaşamasıyla rekoru elinde tutan *Armillaria* ailesinden bir türü seçti.

Olsson mikroelektrotları *Armillaria* hiflerine yerleştirdiğinde, hayvanların duyu nöronlarındaki ateşleme hızına çok yakın hızda, aksiyon potansiyeline benzer düzenli impulslar saptadı. Saniyede yaklaşık dört impuls, bir mantar hifinde ölçülen en hızlı sıvı akışının yaklaşık on katı kadar bir hızla, saniyede en az yarım milimetre

ilerliyordu. Bu durum Olsson'un dikkatini çekmişti ama tek başına hızlı sinyal sisteminin temelini impulsların oluşturduğunu göstermiyordu. Elektriksel aktivite ancak uyarana duyarlıysa mantarlardaki iletişimde rol oynayabilir. Olsson, mantarın besin olarak kullandığı odun parçasına verdiği yanıtı ölçmeye karar verdi.[32]

Olsson düzeneği kurdu ve miselyumun üzerine, elektrotlardan birkaç santimetre öteye bir odun parçası koydu. Bulduğu şey olağanüstüydü. Miselyum odun parçasına temas ettiğinde impulsların ateşlenme hızı iki katına çıkmıştı. Odun parçasını kaldırınca ateşlenme hızı normale döndü. Mantarların odun parçasının ağırlığına tepki vermediğinden emin olmak için boyutları ve ağırlığı aynı olan ama besin niteliği taşımayan bir plastik parçasını miselyumun üstüne yerleştirdi. Mantar buna tepki vermedi.

Olsson deneyi başka mantar türleri –bir bitkinin kök sisteminde büyüyen bir mikorizal mantar, *Pleurotus* (istiridye mantarı miselyumu) ve *Serpula* (Haddon Hall'daki fırında bulunan mantar)– ile de denedi. Hepsinde aksiyon potansiyeline benzer impulslar meydana geldi ve hepsi de farklı uyaranlara karşı hassastı. Olsson, elektrik sinyallerinin çeşitli mantarların farklı bölümleri arasında mesaj göndermesini sağlayan gerçekçi bir yol olabileceği varsayımını ileri sürdü; "besin kaynakları, hasar, mantarın iç koşulları veya etrafında başka bireyler olup olmadığı" hakkında bilgi taşıyan mesajlardı bunlar.[33]

Olsson'un birlikte çalıştığı nörobiyologların birçoğu miselyum ağlarının beyin gibi davranabiliyor olma ihtimali karşısında heyecanlanmıştı. "İlk tepki böceklerle çalışanlardan geldi," diyor Olsson. "Ormandaki bu büyük miselyum ağlarının etrafa elektrik sinyalleri gönderdiğini düşünüyorlardı. Bu ağların orada öylece duran büyük beyinler olabileceğini hayal ediyorlardı." İtiraf etmeliyim ki aralarındaki yüzeysel benzerliği ben de görmezden gelememiştim. Olsson'un bulguları, miselyumun elektriksel olarak uyarılabilir hücrelerden olağanüstü karmaşık ağlar meydana getirebileceğini düşündürüyordu. Beyin de elektriksel olarak uyarılabilen olağanüstü karmaşık bir ağdır.

"Bence onlar beyin değil," diye açıklıyor Olsson. "Beyin kavramından geri durmam gerekiyordu. Biri çıkıp da miselyumların beyin

olduğunu söylerse herkes düşünceleri işleyerek karar veren, dil becerisine sahip kendi beynimize benzediklerini düşünmeye başlar." Olsson'un temkinli davranması son derece yerinde. *Beyin* çoğunlukla hayvanlar dünyasına ait kavramlarla yüklü çağrışımları tetikleyen bir sözcük. "Beyin dediğimizde," diye devam ediyor Olsson, "hep hayvan beyni üzerinden düşünüyoruz." Ayrıca Olsson'un da vurguladığı gibi, beyinler yapılarından ötürü beyin gibi davranır. Hayvan beyninin mimarisi mantar ağlarınınkinden çok farklıdır. Hayvan beyninde nöronlar sinaps denen kavşaklarda diğer nöronlarla bağlantı kurar. Sinyaller sinapslarda başka sinyallerle birleşir. Nörotransmitterler sinapsları aşıp farklı nöronların farklı davranmasını sağlar; bazıları nöronları uyarırken, bazıları ketler. Miselyum ağlarında bu özelliklerden hiçbiri görülmez.

Peki ama mantarlar ağ içindeki sinyal iletiminde elektrik dalgalarını kullanıyorsa miselyumu hiç değilse beyne *benzer* bir yapı olarak düşünemez miyiz? Olsson'a göre miselyum ağlarında elektrik impulslarını düzenlemek için "beyindekine benzer devreler, kapılar ve osilatörler" yaratmanın başka yolları olabilir. Bazı mantarlarda hifler, aralarında gözenekler bulunan ve hassas bir düzenlemeye tabi olan bölmelere ayrılır. Bir gözeneğin açılıp kapanması ister kimyasal ister basınca bağlı ya da elektriksel olsun bir bölmeden diğerine geçen sinyalin şiddetini değiştirir. Olsson'a göre, bir hif bölmesindeki elektrik yükünde meydana gelen ani değişiklikler bir gözeneği açıp kapayabiliyorsa bir impuls patlaması hiften geçen sinyallerin yolunu değiştirerek basit bir öğrenme döngüsü oluşturabilir. Dahası, hifler dallanır. İki impuls bir noktada birleşirse gözeneğin iletkenliğini etkileyerek farklı dallardan gelen sinyallerin bütünleşmesini sağlayabilir. "Bu tür sistemlerin karar geçitleri yaratabileceğini anlamak için ille de bilgisayarların nasıl çalıştığını çok iyi bilmeniz gerekmez," diyor Olsson. "Bu sistemleri esnek ve uyarlanabilen bir ağ oluşturacak şekilde birleştirerek, öğrenebilen ve anımsayabilen bir 'beyin' elde etmek mümkün." Olsson *beyin* sözcüğüne mesafeli durduğundan, kelimeyi bir metafor olarak kullandığını vurgulamak amacıyla tırnak içine alıyor.[34]

Mantarların elektrik sinyallerini hızlı haberleşmede kullanabiliyor olması, Alışılmamış Bilişim Laboratuvarı yöneticisi Andrew

Adamatzky'nin dikkatinden kaçmamıştı. Adamatzky 2018'de miselyum bloklarından öbek öbek filizlenen istiridye mantarlarına elektrotlar batırarak kendiliğinden oluşan elektriksel aktiviteyi tespit etmişti. Mantarlardan birine elindeki alevi yaklaştırdığında aynı öbekteki diğer mantarlar ani bir elektriksel aktivite artışıyla yanıt veriyordu. Kısa bir zaman sonra "Mantar Bilgisayarına Doğru" başlıklı bir makale yayımladı. Makalesinde miselyum ağlarının, elektriksel aktivite artışları şeklinde kodlanan enformasyonu "işlediği"ni ileri sürdü. Bir miselyum ağının belli bir uyarana nasıl yanıt vereceğini bilirsek ona canlı bir devre kartı muamelesi yapabileceğimizi savunuyordu. Miselyumu, sözgelimi alevle ya da bir kimyasalla uyararak, mantar bilgisayarına veri yükleyebilirdik.[35]

Mantar bilgisayarı kulağa fantastik gelebilir ama biyolojik bilgisayarlar hızla gelişen bir alan. Adamatzky cıvıkmantarları sensör ve bilgisayar olarak kullanmanın yollarını geliştirmek için yıllarını vermiş. Bu biyolojik bilgisayar prototipleri, geometri problemlerini çözmek için cıvıkmantarları kullanıyorlar. Ağın uyguladığı "mantıksal fonksiyonlar" kümesini değiştirmek için cıvıkmantar ağları –örneğin bir bağlantının kesilmesiyle– değiştirilebiliyor. Adamatzky'nin "mantar bilgisayarı" fikri, cıvıkmantar bilgi işleme olgusunun ağ tabanlı bir başka organizmaya uygulanmasıdır sadece.[36]

Adamatzky'nin gözlemlerine göre bazı mantar türlerinin miselyum ağları bilgi işleme için cıvıkmantarlardan daha elverişlidir. Daha uzun ömürlü ağlar oluşturur, çok hızlı biçim değiştirmezler. Ayrıca hifler arasında daha fazla kavşağın bulunduğu daha büyük yapılar oluştururlar. Ağın farklı dallarından gelen sinyaller, Olsson'un "karar geçitleri", Adamatzky'nin ise "elementer işlemciler" olarak tanımladığı bu kavşaklarda etkileşip birleşir. Adamatzky, on beş hektarlık bir alanı kaplayan bir bal mantarı ağında bir trilyon civarında böyle işlem birimi olduğunu tahmin ediyor.

Adamatzky için mesele mantar bilgisayarlarının silisyum çiplerinin yerini alacak olması değil. Mantarın tepkileri bunun için fazla yavaş kalır. Adamatzky daha çok bir ekosistemde büyüyen miselyumun "geniş ölçekli bir çevresel sensör" olarak kullanılabileceğini düşünüyor. Mantar ağlarının, çok sayıda veri nehrini günlük yaşantılarının bir parçası olarak izlediğini söylüyor. Miselyum

ağlarına bağlanabilseydik ve bilgi işleme için kullandıkları sinyalleri yorumlayabilseydik ekosistemde neler olup bittiği hakkında çok daha fazlasını öğrenebilirdik. Mantarlar bizi toprağın kalitesinde, suyun saflığında, çevre kirliliğinde ya da hassas oldukları diğer çevresel özelliklerde meydana gelen değişikliklerden haberdar edebilir.[37]

Daha çok yolumuz var. Ağ tabanlı organizmalarla bilgi işleme konusu henüz emekleme aşamasında ve hâlâ yanıtlanması gereken pek çok soru var. Olsson ve Adamatzky miselyumun elektriksel açıdan duyarlı olduğunu gösterdiler ama elektrik impulslarının uyaranla yanıt arasında bağlantı kurduğunu göstermiş değiller. Sanki ayağınıza iğne batmış, vücudunuzdan geçen sinir impulslarını tespit etmişsiniz ama acıya verdiğiniz tepkiyi ölçememişsiniz: Bu da ona benzer bir durum.

Geleceğe ait bir engel bu. Olsson'un miselyum araştırmasıyla Adamatzky'nin istiridye mantarlarında yaptığı araştırma arasında geçen yirmi üç yıl zarfında mantarlarda elektriksel sinyal iletimi konusunda başka araştırma yapılmadı. Olsson, elinde yeterli kaynak olsaydı elektriksel aktivite değişikliklerine karşı açık bir fizyolojik yanıt geliştiğini göstermeyi ve elektriksel impulsların örüntülerini deşifre etmeyi deneyeceğini söylüyor. Hayali "bir mantarı bir bilgisayara bağlayıp onunla iletişim kurmak" ve elektrik sinyalleriyle mantarın davranışını değiştirmek. "Bunun doğru olduğu anlaşılırsa her türlü acayip ve muhteşem deney yapılabilir."[38]

BU ÇALIŞMALAR BERABERİNDE bir yığın soru getiriyor. Mantarlar ve cıvıkmantarlar gibi ağ tabanlı yaşam formları biliş oluşturma becerisine sahip mi? Bu canlıların zeki olduğunu düşünebilir miyiz? Diğer organizmaların zekâsı bizimkine benzemiyorsa nasıl tezahür edebilir? Dahası böyle bir zekânın farkına varır mıyız?

Biyologlar bu konuda fikir ayrılığına düşüyor. Geleneksel olarak zekâ ve biliş, beşeri terimlerle en azından bir beyin ve çoğunlukla akıl gerektiren bir şey olarak tanımlanır. Bilişsel bilim insanlarda yapılan çalışmalardan doğmuş olduğundan, doğal olarak insan aklını araştırma alanının merkezine koymuştur. Akıl olmaksızın bilişsel süreçlerin dil, mantık, usavurma, aynada kendini tanıma gibi klasik örnekleri imkânsız görünür. Bunların hepsi yüksek zihinsel işlevler gerektirir. Fakat zekâ ve biliş tanımı kişiden kişiye değişir. Birçokları

için beyinmerkezli bakış açısı fazla sınırlıdır. Filozof Daniel Dennett, insan olmayanları insanlardan "gerçek akıl" ve "gerçek anlama yetisi"ne göre kesin bir çizgi çekerek ayırmayı "arkaik bir mit" olduğu gerekçesiyle reddeder. Beyinler sahip oldukları nitelikleri yoktan var etmedi; taşıdıkları özelliklerin pek çoğu beyin olarak tanımladığımız yapıların ortaya çıkmasından çok uzun zaman önce gerçekleşmiş kadim süreçleri yansıtır.[39]

Charles Darwin 1871'de yazarken pragmatik bir yaklaşım izlemişti. "Zekâ, bir türün hayatta kalmak için ihtiyaç duyduğu şeyleri yapmadaki verimliliği nispetindedir." Birçok çağdaş biyolog ve filozofta yankı bulan bir bakış açısıdır bu. İngilizcede zekâ karşılığı olarak kullanılan *intelligence* sözcüğünün Latince kökeni "seçim yapmak" anlamına gelir. Bitkiler, mantarlar ve cıvıkmantarlar gibi beyni olmayan organizmalar çevrelerine esnek tepkiler verir, problem çözer ve farklı eylem seçenekleri arasında ne yapacaklarına karar verirler. Karmaşık bilgi işleme sürecinin beynin iç işleyişiyle sınırlı olmadığı açıkça görülüyor. Beyni olmayan sistemlerin problem çözme davranışını tarif etmek için kimileri "sürü zekâsı" terimini kullanır. Kimileriyse bu ağ tabanlı yaşam biçimlerinin "asgari" ya da "temel" bilişten beslendiğini düşünebileceğimizi ileri sürer, asıl sorulması gerekenin bir organizmada biliş var mı sorusu olmadığını savunurlar. Bu düşünceye göre yapılması gereken, bir organizmanın hangi *ölçüde* biliş sahibi olduğunu değerlendirmektir. Her iki bakış açısı da zekâ gerektiren davranışların beyin olmadan da gelişebileceğini söyler. İhtiyaç duyulan tek şey, dinamik ve yanıt veren bir ağdır.[40]

Beyin, uzun zamandan beri dinamik bir ağ olarak düşünülüyor. 1940'ta Nobel Ödüllü nörobiyolog Charles Sherrington insan beynini "yanıp sönen milyonlarca mekiğin birbiri içinde çözünen bir desen oluşturduğu büyülü bir dokuma tezgâhı" olarak tanımlamıştı. Günümüzde, milyonlarca nöronun birbiriyle bağlantılı faaliyetlerinden beyin aktivitesinin nasıl ortaya çıktığını anlamaya çalışan disipline "ağ nörobilimi" diyoruz. Tek bir termitin davranışı bir termit yuvasının girift mimarisini ortaya çıkarmaya nasıl yetmiyorsa bir beyindeki tek bir nöron devresi de zekâ gerektiren davranışın gelişmesi için yeterli değildir. Hiçbir nöron devresi tek başına ne olup bittiği konusunda, tek bir termitin yuvanın yapısı hakkında "bildiğinden" fazlasını

bilemez. Fakat çok sayıda nöron şaşırtıcı fenomenlerin ortaya çıkabileceği bir ağ inşa edebilir. Bu görüşe göre, aklı ve yaşanmış, bilinçli deneyimin detaylı dokusunu da içeren karmaşık davranışlar, esneklikle kendini yeniden biçimlendiren karmaşık nöron ağlarından doğar.[41]

Beyin dediğimiz yapı böyle ağlardan ya da bilgi işleme yollarından sadece birisidir. Hayvanlarda dahi pek çok şeyin gerçekleşmesi için beyin gerekmez. Tufts Üniversitesi'nden araştırmacılar yassısolucanlarla yaptıkları dikkat çekici deneylerde bunu gösterdiler. Yassısolucanlar, yenilenme (rejenerasyon) yetenekleri nedeniyle iyi incelenmiş model organizmalardır. Bir yassısolucanın başı kesildiğinde beyin ve diğer her şeyiyle başka bir baş gelişir. Yassısolucanlar ayrıca eğitilebilirler de. Araştırmacılar bir yassısolucanı ortamın özelliklerini hatırlayacak şekilde eğittikten sonra başını keserlerse yeni bir baş ve beyin geliştiğinde belleğinin kalıcı olup olmadığını merak ettiler. Sonuç şaşırtıcıydı: Solucanın belleği kalıcıydı. Göründüğü kadarıyla yassısolucanda bellek, vücudun beyin dışında bir bölgesinde bulunuyordu. Bu deneyler, karmaşık davranışların gelişmesine zemin hazırlayan esnek ağların, beyne bağımlı hayvanların dahi vücudunda baştaki küçük bir bölgeyle sınırlı kalması gerekmediğini düşündürüyor. Başka örnekler de verilebilir. Örneğin ahtapotlardaki sinirlerin çoğu beyinde değil, vücuda dağılmış halde bulunur. Bu sinirlerin birçoğu, ahtapotun etrafını araştırıp tadına bakmak için kullandığı ve beynin sürece dahil olmadığı dokunaçlarında yer alır. Dokunaçlar, kesildikten sonra bile uzanma ve kavrama yetisini korur.[42]

Bundan, yaşamın getirdiği problemleri çözmek için pek çok farklı organizmada esnek ağlar evrilmiş olduğu sonucuna varıyoruz. Görünüşe göre miselyum oluşturan canlılar bunu yapabilen ilk organizmalar arasında. İsveç Kraliyet Doğa Tarihi Müzesi'nden araştırmacılar 2017'de yayımladıkları bir makalede, tarihöncesi çağlardan kalma lav akıntılarında fosilleşmiş bir miselyumu tarif etmişlerdi. Fosillerde "birbirine dokunan ve dolanan" dallanmış iplikçikler görülüyordu. Oluşturdukları "dolaşık ağ", hiflerin ve spor benzeri yapıların boyutları ve miselyumun büyüme örüntüsü, günümüz mantar miselyumlarının özellikleriyle yakın benzerlik gösteriyordu. Bu olağanüstü bir keşifti çünkü 2,4 milyar yaşında olan bu fosillerin geçmişi, mantarların

yaşam ağacından dallandığı dönemin bir milyar yıl öncesine uzanıyor. Organizmayı kesin olarak tanımlamak mümkün değil ama gerçek mantar olsa da olmasa da miselyum oluşturduğu açık. Bu bulgu, miselyumun karmaşık çokhücreli yaşama doğru ilerleyen, bilinen ilk davranış biçimlerinden ve ilk dolaşık canlı ağlardan biri olduğunu gösteriyor. Dört milyar yıllık yaşam tarihinin yarısından fazlasında var olmuş, sayısız afet ve küresel felaket atlatmış olan miselyum dikkat çekici biçimde değişmeden bugüne gelebilmiştir.[43]

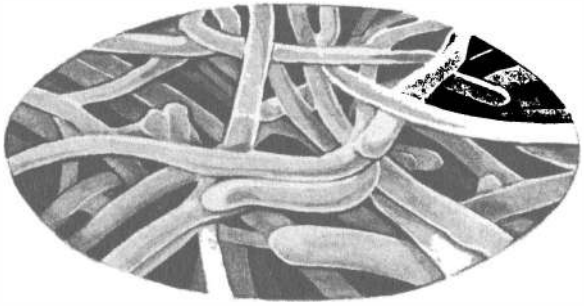
MISIR GENETİĞİYLE İLGİLİ çalışmalarıyla Nobel Ödülü almış olan Barbara McClintock, bitkileri "en yabanıl beklentilerimizin ötesinde" olağanüstü canlılar olarak tanımlamıştı. İnsanların yapabildikleri şeyleri yapmanın yollarını buldukları için değil, bir noktada kök salarak yaşarken, hayvanların kaçarak sakınabileceği zorluklarla başa çıkmalarını sağlayan sayısız "yaratıcı mekanizma" geliştirmiş oldukları için. Aynısını mantarlar için de söyleyebiliriz. Miselyum bu yaratıcı çözümlerden biri, yaşamın en temel zorluklarından bazılarına verilen zekice bir yanıttır. Miselyum oluşturan mantarlar bizim yaptığımızı yapmazlar ve kendini durmaksızın yeniden biçimlendiren esnek ağlar içerirler. Onlar kendini durmaksızın yeniden biçimlendiren ağların *ta kendisidir*.[44]

McClintock "maddenin bize söyleyeceklerini duyacak" sabra sahip olmak için "organizmaya karşı bir duygu" beslemenin ne denli önemli olduğunu vurgular. Mantarlar konusunda gerçekten böyle bir şansımız var mı? Miselyum hayatı o kadar *başka*, içerdiği olasılıklar o kadar tuhaf ki. Ama belki de bizden ilk bakışta göründükleri kadar uzak değildirler. Geleneksel kültürlerin birçoğu yaşamı dolaşık bir bütün olarak görür. Her şeyin birbiriyle bağlantılı olduğu fikri günümüzde o kadar iyi kullanılıyor ki artık bir klişeye dönüştü. Modern doğa anlayışının altında "yaşam ağı" fikri yatar; yirminci yüzyılda ortaya çıkan "sistemler teorisi" ekolü, trafikten devlet yapılarına ve ekosistemlere, bütün sistemleri dinamik etkileşim ağları olarak yorumlar; "yapay zekâ" alanı bütün problemleri yapay nöral ağlar kullanarak çözer; insan yaşamı birçok yönden internetin dijital ağlarıyla devamlılık gösterir; ağ nörobilimi bizi, *kendimizi* dinamik

ağlar olarak düşünmeye davet eder. "Ağ" kavramı da çok çalışan bir kas gibi gelişerek hâkim bir kavrama dönüştü. Anlamamız için ağların kullanılmadığı bir konu düşünmek zor.[45]

Buna rağmen miselyumu anlamakta zorlanıyoruz. Boddy'ye miselyum yaşamının en gizemli kalan yönlerinin hangileri olduğunu sordum. "Aa.... bu iyi bir soru," deyip duraksadı. "Aslında bilmiyorum. *O kadar çok şey* var ki. Mantar miselyumları *ağ* olarak nasıl çalışır? Çevrelerini nasıl algılarlar? Kendi içlerinde nasıl mesaj gönderirler? Bu sinyaller daha sonra nasıl bütünleşir? Bunların hepsi de önemli olmakla beraber üzerinde pek düşünülmeyen sorular. Ama bunları anlamak, mantarların neyi nasıl yaptığını anlamamız için elzem. Bu çalışmaları yapmak için gereken tekniklere sahibiz ama temel mantar biyolojisiyle kim ilgileniyor? Pek az kimse. Böyle olması bence üzücü. Bulduklarımızın birçoğunu genel bir anlayış çerçevesinde bir araya getiremedik." Gülüyor. "Faydalanmaya çok müsait bir alan! Lakin faydalanan fazla kişi olduğunu sanmıyorum."

1845'te Alexander von Humboldt "Doğayı daha yakından tanımak için attığımız her adım yeni labirentlere açılır," demişti. "Mantar Toplayan Kadınlar" gibi çoksesli şarkılar dolaşık seslerden doğar; miselyum hiflerin birbirine dolanmasıyla ortaya çıkar. Henüz miselyuma dair incelikli bir anlayış geliştiremedik. Yaşamın en eski labirentlerinden birinin girişinde duruyoruz.[46]



3
Yabancıların Yakınlığı

> Sorun şuydu ki "biz" derken kimi kastettiğimizi bilmiyorduk.[1]
>
> —Adrienne Rich

18 Haziran 2016'da Soyuz uzay aracının iniş modülü Kazakistan'da ıssız bir bozkıra indi. Kavrulmuş kapsülden Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki (İSS) görevini tamamlamış üç kişi sağ salim çıkarıldı. Astronotlar Dünya'ya dönerken yalnız değillerdi. Oturdukları koltukların altında bir kutuda sıkıca paketlenmiş yüzlerce canlı organizma vardı.

Örnekler arasında Biyoloji ve Mars Deneyi'nin (BIOMEX) parçası olarak bir buçuk yıllığına uzaya gönderilen birkaç liken türü de bulunuyordu. Uluslararası bir konsorsiyum olan BIOMEX için çalışan astrobiyologlar, biyolojik örnekleri dünya dışı koşullarda bekletmek için ISS'nin dışına monte edilmiş olan EXPOSE adlı birimdeki tepsileri kullanmışlardı. BIOMEX liken ekibinden Natuschka Lee, planlanan iniş tarihinden birkaç gün önce, "Umarım kazasız belasız dönerler," demişti. "Dönerler" derken kimi kastettiğinden emin değildim ama Lee çok geçmeden benimle temas kurup hepsinin iyi olduğunu haber verdi. Berlin'de, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi'ndeki araştırma liderinden bir e-posta almış, konu başlığını okuyunca rahatlamıştı: "EXPOSE tepsileri Dünya'ya dönüyor..." "Örneklerimiz yakında dönmüş olacak," dedi Lee gülümseyerek.[2]

Bakteri sporlarından serbest yaşayan alglere, kayaları mesken tutan mantarlara ve "suayısı" da denen mikrokobik hayvanlar olan tardigradlara, uç koşullara dayanıklı bazı organizmalar yörüngeye

gönderilmişti. Bunlardan bazıları, güneş kaynaklı radyasyona karşı korunursa hayatta kalabilir. Ama üç beş liken türü dışında pek azı kozmik ışınlara maruz kaldıkları uzay koşullarında yaşayabilir. Bu özellikleri o kadar dikkat çekicidir ki astrobiyoloji araştırmalarında model yaşam formu haline gelmiş olan bu canlılar için bir araştırmacının yazdığı gibi, likenler "dünyadaki yaşamın sınırlarını ve kısıtlamalarını anlamamız açısından" ideal organizmalardır.[3]

Bildiğimiz haliyle yaşamın sınırlarını anlamamızda likenlerden gördüğümüz ilk yardım bu değil. Likenler canlı bilmecelerdir. Özerk bireyi oluşturan şeyin ne olduğu konusunda on dokuzuncu yüzyıldan beri hararetli tartışmalara yol açmışlardır. Ne kadar yakından bakarsanız o kadar garip görünürler. Bugün bile likenler kimlik kavramı konusunda kafamızı karıştırır; bizi bir organizmanın nerede bitip diğerinin nerede başladığını sorgulamaya zorlar.

BİYOLOG VE RESSAM Ernst Haeckel, zengin resimlerle bezeli kitabı *Art Forms in Nature*'da (1904) çeşitli liken formlarını canlı biçimde resmetmişti. Haeckel'in likenleri çılgınca filizlenir, katman katman çoğalır. Damarlı kabarıklıklar yerini pürüzsüz kabarcıklara bırakır, saplar maşa ve çanak görünümlü yapılara dönüşür. Ulaşılması zor kuytu köşelerle dolu engebeli kıyılar dünyevi olmayan köşklerle buluşur. *Ekoloji* sözcüğünü 1866'da ilk kez Haeckel kullanmıştı. Ekoloji, organizmaların çevreleriyle olan ilişkilerini –hem yaşadıkları yerleri hem de ayakta kalmalarını sağlayan yoğun ilişkileri– tanımlar. Alexander von Humboldt'un çalışmalarından ilham alan ekoloji alanı doğanın kendi içinde bağlantılı bir bütün, "etkin kuvvetlerden meydana gelen bir sistem" olduğu fikrinden doğmuştu. Organizmaları çevrelerinden kopuk olarak anlamak mümkün değildi.[4]

Üç yıl sonra, 1869'da İsviçreli botanikçi Simon Schwendener "likenlerde ikilik hipotezi"ni ileri süren bir makale yayımladı. Bu makalede likenlerin uzun zamandan beri kabul edildiğinin tersine tek bir organizma olmadığını söyleyen radikal bir görüş ortaya attı. Schwendener likenlerin oldukça farklı iki canlıdan, bir mantar ve bir algden meydana geldiğini iddia ediyordu. Likendeki mantarın (günümüzde "mikobiyont" olarak adlandırılır) hem kendine hem de alg hücrelerine fiziksel koruma ve besin elementleri sağladığını ileri sürdü. Mantarın

ortağı olan alg ise (günümüzde "fotobiyont" olarak adlandırılır; bazen fotosentez yapan bir bakteri bu rolü üstlenir) ışık ve karbondioksit kullanarak, enerji kaynağı olan şekerleri üretiyordu. Schwendener'a göre mantar ortaklar "parazit olmalarına rağmen devlet büyüklerinin bilgeliğine sahipti." Alg ortaklarsa mantarın "arayıp bulduğu (...) ve hizmet etmeye zorladığı (...) kölelerdi." İkisi birlikte gözle görülebilir bir yapı olan likeni meydana getiriyordu. Bu ilişkide her iki ortak da tek başına hayatta kalmalarının mümkün olmadığı yerlerde birlikte bir yaşam kurabiliyordu.[5]

Schwendener'ın önerisine likenbilimci meslektaşları şiddetle karşı çıktı. İki farklı türün bir araya gelip ayrı ayrı kimlikleriyle yeni bir organizma oluşturması fikri şok etkisi yaratmıştı. "Faydalı ve hayat veren bir parazitlik mi?" diye homurdanmıştı biri. "Duyulmuş şey mi bu?" Diğerleriyse "duygusal bir aşk hikâyesi", "esir düşen Alg Hanım ile zorba Mantar Efendi arasında doğal olmayan bir birliktelik" olarak düşündükleri bu ilişkiyi görmezden geldiler. Bazıları daha ılımlıydı. "Gördüğünüz gibi," diye yazmıştı çocuk kitapları yazarı olarak tanınan İngiliz mikolog Beatrix Potter, "Schwendener'ın teorisine inanmıyoruz."[6]

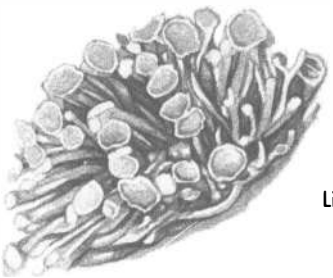
Yaşamı kökenlerine göre hatlara ayırarak düzenlemeye çalışan taksonomistler açısından en üzücü olansa tek bir organizmanın iki farklı soy içerebilmesiydi. Charles Darwin'in doğal seçilim yoluyla evrim kuramını 1859'da yayımlamasından beri türlerin birbirinden *ıraksayarak* oluştuğu düşünülüyordu. Evrimsel soy hatları ağaç dalları gibi çatallanıyordu. Ağacın gövdesinden çıkan ana dallar gittikçe incelen başka dallara ayrılıyordu. Türler yaşam ağacının ince dallarının üzerindeki yapraklardı. Ne var ki ikilik hipotezi, likenleri oldukça farklı kökenlerden gelen organizmaların oluşturduğunu öne sürüyordu. Likenlerde yaşam ağacının yüz milyonlarca yıldır ıraksayan dalları hiç beklenmedik biçimde birbirine *yaklaşıyordu*.[7]

Sonraki yıllarda artan sayıda biyolog ikilik hipotezini benimsediyse de birçoğu, çizdiği ilişki portresi konusunda Schwendener ile aynı görüşü paylaşmıyordu. Bunlar duygusal endişeler değildi çünkü Schwendener'ın metafor seçimi ikilik hipotezinin beraberinde getirdiği daha önemli soruların yolunu tıkamıştı. 1877'de Alman botanikçi Albert Frank, mantar ve alg ortakların birlikte yaşamasını tanımlamak

için *simbiyoz* (ortakyaşam) sözcüğünü kullandı. Likenlerle ilgili çalışmasında, tanımladığı ilişkiye dair önyargı yaratmayacak yeni bir sözcüğün gerekli olduğuna kanaat getirmişti. Kısa bir süre sonra biyolog Heinrich Anton de Bary, Frank'ın terimini benimsedi ve bir uçta parazitliğin diğer uçtaysa karşılıklı fayda sağlamaya dayalı mutualistik ilişkinin yer aldığı etkileşimler yelpazesini kapsayan bir genellemeyle kullanmaya başladı.[8]

Sonraki yıllarda bilim insanları simbiyozla ilgili önemli bazı yeni iddialar ortaya attılar. Bunlardan biri, bitkilerin topraktan besin elementleri almasına mantarların yardım ediyor olabileceğini savunan Frank'ın görüşüydü (1885). Bu bilim insanlarının hepsi, fikirlerini desteklemek için likenlerdeki ikilik hipotezine atıfta bulunmuştu. Mercanlarda, süngerlerde ve yeşil deniztavşanlarında algler saptandığı zaman bir araştırmacı bunları "hayvan likenler" olarak tanımlamıştı. Yıllar sonra bakterilerin içinde virüsler gözlemlendiğinde de keşfi yapan kişi onları "mikroliken" olarak adlandırmıştı.[9]

Bir başka deyişle likenler hızla bir biyolojik ilke haline geldi. Thomas Henry Huxley'nin "en güçlü, en hızlı ve en kurnaz olanın mücadele etmek için bir gün daha yaşadığı (...) bir gladyatör gösterisi" sözleriyle en iyi biçimde özetlediği, on dokuzuncu yüzyılda ve yirminci yüzyılın başlarında evrimsel düşüncede hâkim olan akıntıya karşı duran simbiyoz fikrine kapı aralayan organizmalardı likenler. İkilik hipotezinin doğuşuyla evrimin artık sadece rekabet ve çatışmadan ibaret olduğu düşünülemezdi. Likenler, canlılarda âlemlerarası işbirliğinde bir örnek vakaya dönüşmüştü.[10]



Liken: *Niebla*

LİKENLER GEZEGENİMİZİN yüzeyinin yaklaşık yüzde sekizini, yani tropikal yağmur ormanlarından daha büyük bir alanı kaplar. Kayaları, ağaçları, çatıları, çitleri, yamaçları ve çöllerin yüzeyini örterler. Bazıları tekdüze bir kamuflaj rengindedir. Bazılarıysa çim yeşili ya da parlak sarıdır. Kimileri leke gibi görünür, kimileri minik çalılara, bazılarıysa geyik boynuzuna benzer. Bazıları yarasa kanadını andırırcasına sarkık bir deri gibi görünür, bazıları şair Brenda Hillman'ın dediği gibi, "'hashtag' işaretleri halinde asılı durur." Bazıları hayatı likenlerin sağladığı kamuflaja bağlı olan böceklerin üstünde yaşar. "Avare" ya da "seyyar" olarak bilinen, bir yere bağlı olmayan likenler belli bir şeyin *üstünde* yaşamaktansa etrafta serseri mayın gibi dolanır. Riverside'da, Kaliforniya Üniversitesi herbaryumunun likenler bölümü küratörü Kerry Knudsen'ın da söylediği gibi, likenler çevrelerindeki "yalın öykü"ye karşılık "peri masalı gibi görünür."[11]

Beni en çok büyüleyen likenler, Kanada'nın batı kıyısında, Britanya Kolumbiyası açıklarındaki adalarda gördüklerimdi. Yukarıdan bakıldığında sahil şeridi parça parça okyanusa uzanır. Kesintisiz devam eden bir kıyı göremezsiniz. Anakara koylar ve boğazlarla, sonra da kanallar ve geçitlerle bölünür. Kıyıya yüzlerce ada serpiştirilmiştir. Bazılarının büyüklüğü ancak bir balina kadardır; içlerinde en büyükleri olan Vancouver Adası, Britanya'nın yarısı uzunluğundadır. Adaların çoğu sert granit kayalardan, denizaltı yükseltilerinin tepelerinden ve buzulların aşındırdığı vadilerden oluşur.

Her sene bir grup arkadaşımla sekiz buçuk metrelik bir yelkenliye doluşup birkaç günlüğüne adaların etrafında dolaşırız. *Caper* adlı salmasız, tek kırmızı yelkenli yeşil tekneden karaya çıkmak ince iştir. Sallantılı, küçük bir bota binip kürek çekeriz; kürekler neredeyse her seferinde kayıp ıskarmozlarından çıkar. Kıyıya çıkmak bir sanattır. Dalgalar botu kayalara doğru savurur, biz inmeye çalışırken ayağımızın altından çeker. Ama kıyıya adım atar atmaz likenler başlar. Likenlerin kurduğu bu dünyalara, kayalık denizdeki bu yaşam adalarına kendimi kaptırıp saatlerce oyalanırım. Likenleri tarif etmek için kullanılan sıfatlar başa derttir, söylerken insanın dili dolanır: krustoz (kabuksu), foliyoz (yapraksı), skuamuloz (pulsu), leproz (tozsu), frutikoz (dalsı). Dalsı likenler kıvrımlar yapar ve püsküllenir, kabuksu

ve pulsu likenler sürünerek etrafa sızar, yapraksı likenler pul pul tabakalanır. Likenlerin bazıları doğu, bazılarıysa batı bakısında yaşamayı tercih eder. Bir kısmı dış etkenlere açık çıkıntıları, bir kısmıysa nemli oyukları seçer. Bazı likenler yavaş bir savaşla komşularını yerlerinden eder ya da böler. Bazılarıysa diğer likenlerin ölüp pul pul döküldüğü açık yüzeyleri mesken tutar. Bilmediğimiz bir atlastaki kıtalara ve takımadalara benzerler; harita likeni de denen *Rhizocarpon geographicum*'un adı buradan gelir. En eski yüzeyler, likenlerin asırlar süren yaşam ve ölüm döngüsünün etkisiyle delik deşik olur.

Likenlerin kayalara olan düşkünlüğü gezegenin çehresini gerçek anlamda değiştirdi, hâlâ da değiştiriyor. 2006'da Rushmore Dağı'ndaki başkan portrelerinin ömrünü uzatma ümidiyle altmış yıllık likenleri yerinden sökmek için anıta tazyikli su püskürtülmüştü. Likenlerin tahrip ettiği tek anıt başkanlarınki değil. "Her anıtın," diye yazmıştır şair Drew Milne, "likenden bir astarı var." 2019'da Paskalya Adası sakinleri, moai denen taştan yapılmış yüzlerce anıtın, üzerlerini kaplayan likenlerden temizlenmesi için bir kampanya başlatmıştı. Yerli halk tarafından "cüzzam" olarak tanımlanan likenler heykellerin yapısını bozar ve kayayı yumuşatarak ona "kil benzeri" bir kıvam verir.[12]

Likenler "günlenme" adı verilen süreçle mineralleri kayalardan ayrıştırır. Önce, büyürken uyguladıkları kuvvetle yüzeyi fiziksel olarak parçalarlar. Ardından güçlü asitler ve mineral bağlayıcı bileşikler salgılayarak kayayı çözer ve sindirirler. Ayrıştırıcı etkileri onları jeolojik bir kuvvet haline getirir ama likenler yeryüzünde fiziksel çözünme yaratmaktan fazlasını yapar. Ölen likenler çürüyünce yeni ekosistemlerin ilk toprağını oluşturur. Likenler, kayalardaki cansız kütlenin yaşamın metabolik döngülerine katılmasını sağlar. Vücudunuzdaki minerallerin bir kısmı muhtemelen bir noktada bir likenden geçmiştir. İster bir mezarlıktaki mezar taşlarının üzerinde olsun ister Antarktika'daki granit levhalar arasında, likenler canlı ile cansız arasındaki sınırda bulunan aracılardır. Kanada'nın kayalık sahil şeridini *Caper*'dan seyrederken bunu açıkça görürsünüz. Gelgit çizgisinin ilerisinde, likenlerle yosunların sadece birkaç metre ötesinde, deniz suyunun erişemediği ve genç toprakların oluşabildiği yerlerde çatlaklara kök salmış büyük ağaçlar görünmeye başlar.[13]



Liken: *Ramalina*

ADA NEDİR, ne değildir sorusu, ekoloji ve evrim açısından temel bir sorudur. Eski Yunanca "hepsi" anlamına gelen *pan* ve "tohum" anlamına gelen *sperma* kelimelerinden türetilmiş olan "panspermia" varsayımıyla uğraşan BIOMEX ekibi ve diğer astrobiyologlar için de bir o kadar önemlidir bu soru. Panspermia varsayımı gezegenlerin de birer ada olup olmadığı ve yaşamın uzaydaki gökcisimleri arasında seyahat edip edemeyeceğiyle ilgilenir. Antikçağlardan beri var olan bir görüş olsa da ancak yirminci yüzyılın başlarında bilimsel bir hipotez haline gelmiştir. Bu görüşü savunanların bir kısmı yaşamın diğer gezegenlerden gelmiş olduğunu iddia eder. Bazılarıysa yaşamın Dünya'da *ve* başka yerlerde evrilmiş olduğunu ve Dünya üzerindeki çarpıcı evrimsel yeniliklerin uzaydan gelen yaşam parçaları tarafından başlatıldığını ileri sürer. Diğer bir grup ise yaşamın Dünya'da evrildiğini ama yaşam için gerekli olan yapıtaşlarının uzaydan geldiğini iddia eden "ılımlı panspermia" varsayımını savunur. Gezegenlerarası seyahatin nasıl gerçekleşmiş olabileceğine dair de pek çok varsayım var. Bunların çoğu aynı temanın çeşitlemeleridir: Organizmalar asteroitlerin ya da çarpışma sırasında gezegenlerden fırlayan parçaların içinde sıkışıp kalır, bir başka gezegenle çarpışana dek uzayda bu şekilde dolaşır ve koşullar uygunsa bu gezegende bir ihtimal yeni bir yaşam başlatabilir.[14]

1950'lerin sonlarına doğru ABD uzaya roket göndermeye hazırlandığı sırada biyolog Joshua Lederberg gökcisimlerinden mikrop bulaşabileceği konusunda endişeliydi (*Mikrobiyom* sözcüğünü 2001'de ilk kez Lederberg kullanmıştı). İnsanlar artık dünyadaki organizmaları güneş sisteminin başka yerlerine yayabilme potansiyeli taşıyordu. Daha da endişe verici olansa insanların, ekolojik bozulmaya yol

açabilecek ya da daha beteri sebep olduğu hastalıklarla ortalığı kırıp geçirebilecek yabancı organizmaları Dünya'ya getirme ihtimaliydi. Lederberg, olası bir "kozmik felaket"e karşı Ulusal Bilimler Akademisi'ne acilen uyarı mektupları yazdı. Akademi uyarıyı dikkate aldı ve duydukları kaygıyla ilgili resmi bir beyanat yayımladı. Dünya dışı yaşam bilimini tanımlayan bir sözcük yoktu henüz. Bunun üzerine Lederberg *ekẓobiyoloji* sözcüğünü kullandı. Günümüzde astrobiyoloji olarak bilinen alanın ilk versiyonuydu bu.[15]

Lederberg bir dâhiydi. On beş yaşında Columbia Üniversitesi'ne başlamış, yirmili yaşların başlarında yaşam tarihi anlayışımızı dönüştüren bir keşif yapmıştı. Bakterilerin birbiriyle gen alışverişi yapabildiğini bulmuştu. Bir bakteri "yatay" yolla bir başka bakterinin özelliğini kazanabiliyordu. Ebeveynden kalıtsal olarak "dikey" yolla geçmeyen bu özellikler, yatay yolla kazanılıyordu. Canlı bu özellikleri yaşarken ediniyordu. Bu ilke bize yabancı değil. Bir şey öğrenirken ya da öğretirken yatay bilgi alışverişine katılırız. İnsan kültürü ve davranışlarının büyük bölümü bu şekilde aktarılır. Ne var ki evrimsel geçmişimizde ara sıra gerçekleşmiş olsa da insanların bakteriler gibi yatay gen aktarımı yapabilmesi fantastik bir olasılıktır. Yatay gen aktarımı, genlerin ve kodladıkları özelliklerin bulaşıcı olduğu anlamına gelir. Öyle olsaydı yol kenarında tesadüfen denk geldiğimiz bir özelliği alıp deneyince bir çift gamzemiz olabilirdi. Ya da yolda karşılaştığımız birine düz saçımızı verip onun kıvırcık saçını alabilirdik. Ya da belki göz rengini. Veya belki yanımızdan geçen bir tazıya ezkaza değdikten sonra her gün saatlerce hızlı koşma isteği duyabilirdik.[16]

Keşfi Lederberg'e otuz üç yaşında Nobel Ödülü getirdi. Yatay gen aktarımı keşfedilmeden önce bakterilerin de diğer canlılar gibi biyolojik adalar olduğu düşünülüyordu. Genomlar kapalı sistemlerdi. Organizmanın, yaşamın herhangi bir ânında yeni bir DNA'yı alma, kendi bünyesi dışında gelişmiş genleri kazanma şansı yoktu. Bu durumu değiştiren yatay gen aktarımı, bakteri genomlarının milyonlarca yıldır birbirinden ayrı evrilmiş genlerden meydana gelen kozmopolit yapılar olduğunu gösterir. Yatay gen aktarımı, daha önce likenler için de söylediğimiz gibi, evrim ağacının uzun zamandan beri ıraksayan dallarının tek bir organizma bünyesinde birbirine yaklaşabileceğini düşündürür.

Bakterilerde yatay gen aktarımı normdur. Herhangi bir bakteride genlerin çoğu ortak bir evrimsel bir geçmişe sahip değildir; bunlar evde biriken eşyalar gibi sağdan soldan parça parça toplanmıştır. Bir bakteri bu yolla yeni özellikler edinirken "hazıra konarak" evrimi katbekat hızlandırır. Zararsız bir bakteri, DNA alışverişi yaparak antibiyotik direnci kazanabilir, tek bir hamlede bir süpermikroba dönüşebilir. Son yıllarda bu becerinin sadece bakterilerde bulunmadığı ama en usta uygulayıcıların onlar olduğu açıklık kazandı. Genetik madde bütün canlı gruplarında yatay alışverişle aktarılmıştır.[17]

Lederberg'in fikirleri Soğuk Savaş paranoyasıyla lekelendi. Panspermia, kozmik ölçekte gerçekleşen yatay gen aktarımına benzetildi. İnsanlar tarihte ilk kez Dünya'yı ve diğer gezegenleri –kuramsal olarak– başka yerlerde gelişmiş organizmalarla enfekte edebilir hale gelmişlerdi. Dünya üzerindeki yaşamı bundan böyle genetik açıdan kapalı bir sistem, aşılmaz bir denizdeki gezegensel bir ada olarak düşünmek mümkün değildi. Bakterilerin yatay DNA aktarımıyla evrimi ileri sarması gibi, Dünya'ya yabancı DNA'nın gelmesi de aslında "dolambaçlı" olan evrim sürecinde "kestirme" bir yol yaratarak yaşamı felakete sürükleyebilirdi.[18]

BIOMEX'İN ANA hedeflerinden biri, yaşam formlarının gerçekten de uzay yolculuğunda hayatta kalıp kalmadığını anlamaktı. Dünya'nın koruyucu derisi olan atmosferin dışındaki koşullar yaşam için elverişsizdir. Bu koşullar arasında güneşten ve diğer yıldızlardan gelen muazzam bir radyasyon, likenler dahil biyolojik yapıları neredeyse ânında kurutan bir vakum ve yirmi dört saat içinde –120 ile +120 santigrat derece arasında hızla değişen donma, erime ve ısınma döngüleri yer alır.[19]

Uzaya liken gönderme girişimlerinden ilki iyi sonuçlanmamıştı. 2002'de liken örneklerini taşıyan insansız uzay aracı Soyuz, Rus uzay üssünden havalandıktan saniyeler sonra meydana gelen patlamayla parçalandı. Kazadan aylar sonra karlar eriyince kargodan geriye kalanlar toplandı. Araştırmacılar şunları söylemişti: "İlginçtir ki enkazdaki tanınabilir birkaç parçadan biri liken deneyiydi ve koşulların elverişsizliğine rağmen liken[ler] (...) hâlâ az çok biyolojik aktivite gösteriyordu. "[20]

O zamandan bu yana yapılan bir dizi çalışmada likenlerin uzayda hayatta kalabildiği gösterildi ve sonuçlar büyük ölçüde aynıydı. En dayanıklı liken türleri kaybettikleri suyu geri alırlarsa yirmi dört saat içinde metabolik aktivitelerini bütünüyle yeniden kazanabilir, yapılarında meydana gelen "uzay koşullarından kaynaklı" hasarın büyük bölümünü tamir edebilirler. Nitekim en dayanıklı tür olan *Circinaria gyrosa*'nın sağkalım oranları o denli yüksekti ki yakın zamanda yapılan üç çalışmada, uzayda maruz kaldıklarından daha yüksek radyasyon dozlarına maruz bırakılan örnekler "hayatta kalma sınırı"na dek sınandı. Elbette belli bir doz likenleri öldürebiliyordu ama hücre yapısını bozmak için gereken doz muazzamdı. Altı kilogray gama radyasyonu – ABD'de gıda sterilizasyonunda kullanılan standart dozun altı, insanlar için ölümcül olan dozun on iki bin katı – uygulanan liken örneklerinde hiçbir sorun çıkmadı. Doz iki katına (on iki kilogray), yani tardigratlar için öldürücü olan dozun iki buçuk katına çıkarıldığında likenlerin üremesi bozuldu ama hayatta kaldılar ve görünürde herhangi bir sorun olmaksızın fotosentez yapmaya devam ettiler.[21]

Britanya Kolumbiyası Üniversitesi liken koleksiyonunun küratörü Trevor Goward, likenlerin uç koşullara tahammülünü, "likenlerin sihirli değnek etkisi"nin bir örneği olarak görüyor. Likenler ani aydınlanmalar ya da Goward'ın deyişiyle "süperşarjlı bir kavrayış" yaşamamızı sağlıyor. Sihirli değnek etkisi, likenlerin tanıdık kavramlara dokunduğunda onlara yeni biçimler vermesiyle ortaya çıkar. Simbiyoz fikri bunlardan biri. Bir diğeriyse uzayda hayatta kalmaları; likenlerin biyolojik sınıflama açısından yarattığı tehdit de keza öyle. "Likenler bize *yaşam* hakkında bir şeyler anlatır," diyor Goward. "*Bize bilgi verirler.*"[22]

Goward her şeyden önce bir liken delisi (üniversitenin koleksiyonuna otuz bin civarında liken örneğiyle katkıda bulunmuş) ve bir liken taksonomisti (üç cinse adını vermiş ve otuz altı yeni liken türü tanımlamış). Ama mistik bir tarafı da var. "Likenler yıllar önce zihnimin yüzeyini kapladı," diyor kıkırdayarak. Britanya Kolumbiyası'nda büyük bir yaban alanın kıyısında yaşıyor, Ways of Enlichenment* (Li-

* Yazar, aydınlanma anlamına gelen "enlightment" ile kelime oyunu yaparak "enlichenment" sözcüğünü türetmiş. (*ç.n.*)

kenlerle Aydınlanmanın Yolları) adını verdiği internet sitesinde yazıyor. Goward'a göre likenler hakkında derin düşünmek, yaşamı kavrama biçimimizi değiştirir; likenler bizi yeni sorulara ve yeni yanıtlara doğru çeker. "Dünyayla nasıl bir ilişkimiz var? Neye *dairiz*?" Astrobiyoloji bu soruları kozmik ölçekte sorar. Likenlerin –büyük oranda değilse bile olanca hararetiyle– panspermia tartışmasının ön saflarında ve merkezinde yer almasına şaşmamalı.

Ancak likenler ve somut kıldıkları simbiyoz kavramı, en derin varoluşsal sorularımızı tetiklemiş olabilir. Yirminci yüzyılda âlemlerarası işbirliği kavramı, karmaşık yaşam formlarının nasıl evrildiğine ilişkin bilimsel anlayışımızı değiştirdi. Goward'ın soruları abartılı gelebilir ama likenler ve simbiyotik yaşam biçimleri bizi tam da bunu, dünyayla olan ilişkimizi yeniden incelemeye sevk eder.

Yaşam üç üst âleme ayrılır. Birini bakteriler oluşturur. Bakterilere benzeyen ama hücre zarını farklı biçimde meydana getiren arkeler diğer üst âlemi, ökaryotlarsa üçüncüyü oluşturur. Hayvan, bitki, alg ya da mantar olsun bütün çokhücreli canlılar gibi biz de ökaryotuz. Ökaryotların hücreleri bakteri ve arke hücrelerinden daha büyüktür ve özelleşmiş birtakım yapılar içerir. Bunlardan biri olan çekirdek, hücredeki DNA'nın büyük bölümünü içerir. Bu yapılardan bir diğeri, enerji üretim yeri olan mitokondrilerdir. Bitkilerde ve alglerde bunlar dışında fotosentezin gerçekleştiği kloroplastlar bulunur.[23]

İleri görüşlü Amerikalı bir biyolog olan Lynn Margulis 1967'de, evrimin erken döneminde simbiyoza önemli rol biçen tartışmalı bir kuramın savunucusu oldu. Margulis evrimde en önemli anlardan bazılarının farklı organizmaların bir araya gelmeleri –ve bir arada kalmaları– sonucunda yaşandığını ileri sürdü. Ökaryotlar, tekhücreli bir organizmanın bir bakteriyi yutması ve bakterinin bu tekhücrelinin içinde simbiyotik bir yaşam sürmesiyle ortaya çıkmıştı. Mitokondriler bu bakterilerden geliyordu. Kloroplastlarsa ökaryot bir hücrenin yuttuğu bir fotosentetik bakteriden köken alıyordu. Sonrasında gelişen ve insanları da kapsayan karmaşık yaşam, "yabancıların yakınlaşması"nı anlatan, geçmişi çok eskilere uzanan bir hikâyeydi.[24]

Ökaryotların "kaynaşma ve birleşme" sonucu ortaya çıktığı fikri yirminci yüzyılın başından beri biyolojik düşünceye ara ara sızmakla birlikte "kibar biyoloji cemiyeti"nin sınırlarında kalmıştı. 1967'ye

gelindiğinde pek az şey değişmişti; Margulis'in taslağı sonunda kabul edilene dek on beş kez geri çevrildi. Çalışması yayımlandıktan sonra Margulis'in fikirleri, daha önce benzer düşünceler için olduğu gibi güçlü bir muhalefetle karşılaştı. (1970'te mikrobiyolog Roger Stanier iğneleyici bir üslupla Margulis için şöyle demişti: "Evrimsel spekülasyonu (...) bir saplantıya dönüşmediği sürece fıstık yemek gibi zararsız bir alışkanlık olarak düşünülebilir; onun ötesine geçince zaafa dönüşür.") Ne var ki 1970'lerde Margulis'in haklı olduğu kanıtlandı. Yeni genetik araçlar, mitokondri ve kloroplastların bir zamanlar gerçekten de bağımsız bakteriler olduğunu ortaya çıkardı. O zamandan beri başka endosimbiyoz örnekleri de bulundu. Sözgelimi bazı böceklerin hücreleri, kendileri de bakteri içeren bazı bakteriler taşır.[25]

Margulis'in önermesi ökaryot yaşamın başlangıcındaki ikilik varsayımına dayanıyordu. Görüşünü savunmak için likenleri örnek olarak öne sürmesi şaşırtıcı değil; yirminci yüzyılın başında onun gibi düşünenler de öyle yapmıştı. Margulis ilk ökaryot hücrelerin likenlerle "oldukça benzeştiği"ni düşünüyordu. Likenler sonraki yıllarda da Margulis'in çalışmalarında önemli yer tutmaya devam etti. "Likenler ortaklıktan doğan yeniliğin dikkate değer örnekleridir," diye yazmıştı. "Birlik, parçalarının toplamından çok daha fazlasıdır."[26]

Endosimbiyoz kuramı olarak bilinen kuram, yaşamın hikâyesini yeniden yazdı. Yirminci yüzyılda biyoloji alanındaki fikir birliğinde görülen en çarpıcı değişimlerden biriydi. Evrim biyoloğu Richard Dawkins, "gelenek karşıtlığından başlayıp geleneğe dönüşen" kuramına "sadık kalan" Margulis'i kutlarken şöyle demişti: "Bu, evrim biyolojisinde yirminci yüzyılın en büyük başarılarından biri ve Lynn Margulis'in gösterdiği cesarete ve metanete büyük bir hayranlık duyuyorum." Filozof Daniel Dennett, Margulis'in kuramını "o güne dek karşılaştığı en güzel fikirlerden biri", Margulis'i de "yirminci yüzyıl biyolojisinin kahramanlarından biri" olarak tanımlamıştı.[27]

Endosimbiyoz kuramının en önemli içerimlerinden biri, canlının bütün bu yetileri ebeveyni olmayan, dahası kendi türünden, âleminden, hatta üst âleminden dahi olmayan organizmalardan evrimsel anlamda bir çırpıda edinerek hazıra konmasıydı. Lederberg bakterilerde yatay gen geçişini göstermişti. Endosimbiyoz kuramıysa tekhücreli organizmaların yatay geçişle bir bakteriyi bütünüyle içine aldığını

ileri sürüyordu. Yatay gen aktarımı bakteri genomlarını kozmopolit yapılara dönüştürmüştü; endosimbiyoz ise hücreleri kozmopolit yapılara dönüştürmüştü. Bütün modern ökaryotların ataları, oksijen kullanarak enerji elde edebilen bir bakteriyi yatay geçişle almıştı. Benzer şekilde günümüz bitkilerinin ataları da fotosentez yapabilen bir bakteriyi yatay geçişle edinmişti.

Aslında bu ifade o kadar da doğru değil. Günümüzde yaşayan bitkilerin ataları, fotosentez yapabilen bir bakteriyi edinmedi; bitkiler, fotosentez yapabilen organizmalarla yapamayan organizmaların birleşmesi sonucunda ortaya çıktı. Birlikte yaşadıkları iki milyar yıl içinde her ikisi de giderek birbirine bağımlı hale geldi; öyle ki bugün geldiğimiz noktada biri olmaksızın diğerinin yaşaması mümkün değil. Ökaryot hücrelerde yaşam ağacının uç dalları birbirine dolanıp birbiri içinde eriyerek, birbirinden ayrılmaz yeni bir soy hattı oluşturur; dallar tıpkı mantar hifleri gibi kaynaşır ya da ağızlaşır.[28]

Likenlerin oluşumu, ökaryot hücrenin kökeninin bire bir tekrar sahnelenmesi değildir ama Goward'ın dikkat çektiği gibi, o süreçle "uyaklıdır." Likenler, yaşamların buluştuğu kozmopolit gövdelerdir. Bir mantar kendi başına fotosentez yapamaz ama bir alg ya da fotosentetik bir bakteriyle ortaklık kurarak bu beceriyi yatay geçişle edinebilir. Benzer şekilde bir alg ya da fotosentetik bakteri sert, koruyucu doku katmanları oluşturamaz ya da kayayı sindiremez ama bir mantarla ortaklık kurması, bu becerilere aniden erişebilir hale gelmesini sağlar. Taksonomik açıdan birbirine uzak olan bu organizmalar yepyeni olasılıklara gebe birleşik yaşam formları inşa edebilir. Kloroplastlarından ayrılması mümkün olmayan bitki hücrelerine kıyasla likenlerinki açık ilişkidir. Bu da onlara esneklik tanır. Bazı durumlarda likenler ilişkilerini bozmadan üreyebilir; bütün simbiyotik ortakları içeren liken parçaları başka bir yere ulaşıp orada büyüyerek yeni bir liken oluşturur. Bazen de likenin yapısındaki mantar tek başına seyahat eden sporlar üretir. Yeni bir yere gelen mantar, uyumlu bir fotobiyont bulup baştan ilişki kurmak zorundadır.[29]

Kuvvetlerini birleştirince mantar ortaklar kısmen fotobiyont, fotobiyont ortaklarsa kısmen mantar haline gelir. Hidrojen ve oksijen elementlerinin kimyasal olarak birleşip bileşenlerinden tamamen farklı bir bileşik olan suyu oluşturması gibi, likenler de parçalarının

toplamından fazlası olan yeni organizmalardır. Goward'ın da vurguladığı gibi, bu öylesine basit bir nokta ki kavraması zor. "Hep söylerim, likenleri *göremeyenler* likenbilimcilerdir. Çünkü onlar, birer bilim insanı olarak aldıkları eğitimden ötürü parçalara bakarlar. Sorun şu ki likenin parçalarına bakarsanız *likenin kendisini göremezsiniz*."[30]

ASTROBİYOLOJİK AÇIDAN asıl ilginç olan da yeni ortaya çıkan likenlerdir. Bir çalışmada şöyle yazıyordu: "Yeryüzünde yaşamın özelliklerini daha iyi özetleyen bir biyolojik sistem hayal etmek zor." Likenler hem fotosentetik hem de fotosentetik olmayan organizmaları içeren ve böylelikle Dünya'daki temel metabolik süreçleri bir araya getiren küçük biyosferlerdir. Likenler bir açıdan mikrogezegenler, minyatür dünyalardır.[31]

Peki ama Dünya yörüngesinde dolaşırken likenlere ne olur? BIOMEX ekibi, biyolojik örnekleri uzaydayken izleme sorununu aşmak için orta İspanya'nın çorak dağlarından topladıkları dayanıklı bir tür olan *Circinaria gyrosa*'yı Mars simülasyon tesisine götürdüler. Likenleri Mars'takine benzer koşullara maruz bırakırken, liken aktivitesini gerçek zamanlı ölçebileceklerini umuyorlardı. Fakat ölçecek pek bir şey olmadığı anlaşıldı. Mars simülasyonu başladıktan sonra bir saat içinde likenlerin fotosentez aktivitesi neredeyse sıfırlanmıştı. Simülatörde kalan zamanı uykuda geçiren likenler ancak otuz gün sonra yeniden suya kavuştuklarında normal hayatlarına döndüler.[32]

Likenlerin uç koşullarda hayatta kalma becerilerinin yaşamı askıya almalarına ("suspended animation") bağlı olduğu iyi bilinir. Bazı çalışmalarda, likenlerin on yıl süren susuzluğun ardından başarıyla yeniden canlandırılabildiği bulunmuştur. Dokular suyunu kaybetmişse donma, çözülme ve ısınma fazla hasar vermez. Ayrıca su kaybı likenleri kozmik ışınların zararlarından korur çünkü radyasyonun su moleküllerini parçalamasıyla oluşan ve son derece reaktif olan serbest radikaller DNA hasarı oluşturur.

Uykuya yatma, görünüşe göre likenlerin en önemli hayatta kalma stratejisi ama başka yöntemler de var. En dayanıklı liken türünün kalın doku katmanları onu zararlı ışınlara karşı korur. Ayrıca likenler diğer yaşam formlarında bulunmayan ve bazıları güneş ışınlarına karşı koruma sağlayan binden fazla kimyasal içerir. Yenilikçi

metabolizmalarının bir ürünü olan bu kimyasallar, likenlerin ilaçlardan (antibiyotikler) parfümlere (meşe likeni), boyalara (tüvit ve tartan kumaş boyaları, pH ayracı olarak kullanılan litmus) ve gıdaya (bir baharat karışımı olan garam masalanın başlıca malzemelerinden biri likenden elde edilir), insanlarla zaman içinde her türlü ilişkiyi kurmasına yol açtı. İnsanlar için önemli bileşikler üreten –penisilin küfleri dahil– birçok mantar, evrimsel geçmişlerinde liken olarak yaşamış ama daha sonra bundan vazgeçmiştir. Bazı araştırmacılar, bu bileşiklerden bazılarının, örneğin penisilinin, likenlerin atalarında bir savunma stratejisi olarak gelişmiş ve ilişkilerinin metabolik mirası olarak bugüne dek gelmiş olabileceğini ileri sürüyor.[33]

Likenler "ekstremofil", yani bizim bakış açımızla başka dünyalarda yaşayabilecek özellikte organizmalardır. Ekstremofiller akıl almaz koşullara dayanabilirler. Jeotermal kaynaklardan, aşırı sıcak hidrotermal bacalardan, Antarktika'da buzun altında bir kilometre derinden örnekler alırsanız bu zorlu koşullardan etkilenmemiş ekstremofil mikroplar bulursunuz. Derin Karbon Gözlemevi'nde elde edilen yeni bulgular, "yeraltındakiler" de denen bakteri ve arkelerin gezegen yüzeyinin kilometrelerce derininde, yüksek basınç ve aşırı ısı altında yaşadığını gösteriyor. Gezegendeki insanların toplam ağırlığının yüzlerce katına karşılık gelen milyarlarca ton mikrop barındıran, yüzeyin altındaki bu dünyalar çeşitlilik açısından Amazon'daki yağmur ormanları kadar zengindir ve örneklerden bazıları binlerce yıl yaşındadır.[34]

Likenler de en az bu kadar etkileyicidir. Hatta pek çok farklı uç koşulda yaşayabildikleri için "poliekstremofil" olarak nitelendirilirler. Çöllerin en sıcak, en kuru yerlerinde, kavrulmuş zeminin üzerini kabuk gibi örten likenler görürsünüz. Likenler çöllerin kumlu yüzeyini dengede tutarak, kum fırtınalarını azaltarak ve daha da fazla çölleşmeyi önleyerek bu ortamlarda kritik bir ekolojik rol üstlenir. Bazı likenler kayalardaki çatlaklarda ya da gözeneklerde yetişir. Bir çalışmada granit parçaları içinde likenlerin bulunduğunu bildiren yazarlar, bu likenlerin oraya nasıl girmiş olabileceği konusunda hiçbir fikirleri olmadığını itiraf etmişlerdi. Birkaç liken türü, Mars'takine benzer koşullar için kullanılacak denli zorlu bir ekosistem olan Antarktika'nın Kuru Vadileri'nde rahatlıkla yaşar. Uzun süren

dondurucu soğuklar, yüksek düzeyde UV ışınlarına maruz kalma ve neredeyse hiç su olmaması görünüşe göre bu likenleri rahatsız etmez. –195 santigrat derecede sıvı azota batırıldıktan sonra bile hızla canlanırlar. Ayrıca çoğu organizmadan daha uzun yaşarlar. Rekor, İsveç'in Lapland bölgesindeki dokuz bin yıldan yaşlı bir likene aittir.[35]

Ekstremofillerin zaten ilginç olan dünyasında likenler iki nedenle sıra dışıdır. Birincisi, likenler karmaşık çokhücreli organizmalardır. İkincisi, simbiyozla ortaya çıkarlar. Ekstremofillerin çoğunda böyle karmaşık biçimler ve kalıcı ilişkiler gelişmez. Likenleri astrobiyologlar için bu denli ilgi çekici kılan da kısmen bu özellikleridir. Uzayda dolaşan bir liken bir yaşam demeti, bir bütün olarak gezen bir ekosistemdir. Gezegenlerarası yolculuk yapmaya hangi organizma bundan daha uygun olabilir ki?[36]

Bir dizi çalışma likenlerin uzayda yaşayabileceğini ve gezegenler arasında taşınabileceğini gösterse de likenler iki zorlukla daha baş etmek zorundadır. Birincisi, gezegene çarpan bir göktaşının yaratacağı fırlatma kuvvetinin şoku; ikincisi, bir gezegenin atmosferine yeniden giriş. Her ikisi de ciddi riskler taşır. Buna rağmen fırlatılmanın şoku likenleri muhtemelen fazla zorlamayacaktır. Araştırmacılar 2007'de likenlerin 10-50 gigapaskal basınca (Dünya'nın en derin yeri olan Mariana Çukuru'nun dibindeki basıncın 100-500 katı) dayanabildiğini gösterdiler. Bu basınç, göktaşlarının etkisiyle fırlayan kayaların Mars yüzeyinden kurtulma hızında maruz kaldığı basınç şokunun sınırları içindedir. Yeni bir gezegenin atmosferine giriş daha büyük bir sorun yaratabilir. 2007'de atmosfere yeniden giren bir kapsülün ısı kalkanına bakteri ve kaya likeni örnekleri yerleştirilmişti. Kapsül Dünya'nın atmosferinden geçtiği sırada kavrulurken, örnekler otuz saniye süreyle iki bin santigrat derecenin üzerinde sıcaklığa maruz kaldılar. Bu süreçte kayalar kısmen eridi ve yeni biçimlere kristalize oldu. Kalıntılar incelendiğinde canlı hücre izine rastlanmadı.[37]

Bu durum astrobiyologların cesaretini kırmadı. Bazıları büyük göktaşlarının derinlerinde muhafaza edilen yaşam formlarının bu uç koşullardan korunacağını iddia ediyor. Bazılarıysa uzaydan Dünya'ya ulaşan maddenin büyük bölümünün bir tür kozmik toz olan mikrogöktaşları halinde geldiğine işaret ediyor. Bu küçük parçacıklar atmosfere girerken daha az sürtünmeyle ve daha düşük sıcaklıklarla

karşılaşır ve yaşam formlarını Dünya'ya güvenle taşıma olasılıkları roket kapsüllerindekine göre daha fazla olabilir. Bir grup araştırmacının da memnuniyetle ifade ettiği gibi, konu hâlâ tartışmaya açık.[38]

LİKENLERİN İLK KEZ ne zaman ortaya çıktığını kimse bilmiyor. En eski fosiller dört yüz milyon yıldan daha eski ama bundan öncesinde de liken benzeri organizmaların yaşamış olması mümkün. Likenler o zamandan bu yana dokuz ila on iki kez bağımsız olarak evrim geçirmiş. Günümüzde bilinen her beş mantar türünden biri liken oluşturur, yani "likenleşir." *Penicillium* küfleri gibi eskiden likenleşen bazı mantarlar artık liken oluşturmuyor. Bazı mantarlar evrimsel geçmişleri sırasında fotosentez yapan ortaklarını değiştirmiş, yani yeniden likenleşmişlerdir. Bazı likenlerde likenleşme bir yaşam tarzıdır; liken olarak yaşayıp yaşamamaları, içinde bulundukları koşullara göre değişir.[39]

Anlaşıldığı kadarıyla mantarlarla algler en küçük kışkırtmayla dahi bir araya gelmektedir. Serbest yaşayan birçok mantar ve alg bir araya getirildiğinde günler içinde karşılıklı fayda sağlayan bir simbiyoz oluştururlar. Farklı mantar türleri ya da farklı alg türleri: Anlaşılan bunun önemi yoktur. Bir yaranın kabuk bağlamasından bile daha kısa sürede tamamen yeni simbiyotik ilişkiler ortaya çıkar. Harvard Üniversitesi'nden araştırmacılar, yeni simbiyotik ilişkilerin "doğumu"na anlık bakışlarla elde edilen bu çarpıcı bulguları 2014'te yayımladılar. Mantarlar alglerle birlikte yetiştirildiğinde bir araya gelip yumuşak yeşil toplara benzeyen, gözle görülür oluşumlar meydana getirmişlerdi. Bunlar, Ernst Haeckel ve Beatrix Potter'ın tarif ettiği karmaşık liken yapıları değildi ama birlikte geçirdikleri süre de milyonlarca yıl değildi.[40]

Ne var ki her mantar her algle ortaklık kuramaz. Simbiyotik bir ilişkinin oluşabilmesi için sağlanması gereken bir koşul vardır: Ortaklardan her birinin, diğerinin tek başına yapamadığı bir şeyi yapabilmesi. Ortakların kimlikleri, ekolojik uyumları kadar önemli değildi. Evrim kuramcısı W. Ford Doolittle'ın ifadesiyle anlaşılan önemli olan, "şarkıcı değil, şarkı"ydı. Bu bulgu likenlerin uç koşullarda hayatta kalma becerilerine ışık tutar. Goward'ın işaret ettiği gibi, likenler doğaları gereği ortakların tek başına hayatta kalamayacağı denli zor koşullarda kıyılan bir "yıldırım nikâhı"dır. Likenler ilk ne zaman ortaya çıkmış olursa olsun varoluşları, likenin katlanılması zor koşullarda

bulunduğu ve ortakların tek başına söyleyemedikleri bir metabolik "şarkı"yı beraber söyleyebildikleri anlamına gelir. Bu şekilde baktığımızda likenlerin ekstremofilliği, yaşamın sınırında yaşayabilmeleri likenlerin kendisi kadar eskidir ve simbiyotik yaşam biçimlerinin doğrudan bir sonucudur.[41]

Likenlerin ekstremofilliğini görmek için Antarktika'nın Kuru Vadileri'ne ya da bir Mars simülasyon tesisine gitmeye gerek yok. Çoğu sahil şeridi de aynı işi görür. Likenlerin azmini en dikkat çekici bulduğum yer, Britanya Kolumbiyası'nın kayalık sahilidir. Kekamozların* otuz santimetre kadar üstünde, suyun erişebileceği en uzak noktanın hemen gerisinde kayaları boydan boya kat eden, yaklaşık yarım metre yükseklikte siyah bir bant uzanır. Yakından baktığınızda bir rıhtımdaki çatlamış zifte benzer. Kıyı hattını izleyen bir şerit oluşturur; bu şerit tekneyle adalar etrafında dolaşırken bizim için önem kazanır. Demir attığımızda onu gelgit zamanını belirlemek için kullanırız; suyun ulaşabileceği sınırların güvenilir bir göstergesidir. Çorak arazinin başladığına işaret eder.

Canlı bir organizma olduğunu tahmin etmek zor ama bu siyah şerit aslında bir liken türüdür. Ayrıntılı yapılar oluşturmaz. Fakat *Hydropunctaria maura* ("üzerinde su damlacıkları olan gece yarısı" anlamında) denen bu organizma Kuzey Amerika'nın yukarı batı kıyısı boyunca, dalgaların erişebildiği sınırın ötesinde yaşayan ilk organizmadır. Yeryüzündeki gelgit hatlarına baktığınızda benzer bir şey görürsünüz. Kayalık kıyıların çoğu likenlerle çerçevelenmiştir. Suyosunlarının durduğu yerde likenler başlar, hatta bazıları suyun içine doğru uzanır. Bir yanardağ Pasifik Okyanusu'nun ortasında bir ada oluşturduğunda çıplak kayalar üzerinde ilk önce, sporları ya da parçaları rüzgârla ya da kuşlarla taşınan likenler yetişir. Bir buzul gerilediği zaman da benzer şey yaşanır. Buzun altından açığa çıkan kayalar, panspermia temasının bir çeşitlemesidir. Bu çıplak yüzeyler çoğu organizma için yaşanabilir olmaktan uzak, misafirperver olmayan adalardır. Yoğun radyasyon altında kavrulan, şiddetli fırtınalara ve sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalan bu çorak bölgeler pekâlâ Dünya dışı gezegenler de olabilirdi.[42]

---

* Midyelerden farklı olarak tekne gövdelerine ve kayalıklara yapışık yaşayan, eklembacaklılar ailesine mensup kabuklu canlılar. (*e.n.*)

LİKENLER BİR ORGANİZMANIN çözülerek bir ekosisteme dönüştüğü ve bir ekosistemin bir organizmaya yoğunlaştığı yapılardır. "Bütünler" ile "parçaların toplamı" arasında belirsiz bir konumda yer alırlar. Bu iki farklı bakış açısı arasında gidip gelmek kafa karıştırır. İngilizcede birey anlamında kullanılan *individual* sözcüğünün kökeni Latince "bölünemeyen" anlamına gelir. Birey, likenin bütünü müdür? Yoksa likeni oluşturan bileşenler, bölümler mi bireydir? Dahası, bu soruyu bu şekilde sormak doğru mu? Likenler parçalarından çok, bu parçalar arasındaki alışverişlerin bir ürünüdür. Dengeye oturmuş ilişki ağlarıdır; likenleşmeleri asla bitmez: Likenler isim oldukları kadar fiildirler.[43]

Bu kategorileri dert edinenlerden biri de Montanalı likenbilimci Toby Spribille. Spribille ve meslektaşları 2016'da *Science* dergisinde ikilik hipotezinin ayağını kaydıran bir makale yayımladılar. Spribille ana liken soylarından birinde yeni bir mantar katılımcı, yüz elli yıllık zahmetli ve özenli incelemeye rağmen fark edilmemiş bir ortak tarif ediyordu.[44]

Spribille bu yeni mantarı kazara keşfetmişti. Bir arkadaşı, likeni parçalayıp yapısına katılan organizmaların DNA dizisini çıkarması için ona meydan okumuştu. Spribille sonuca kolayca ulaşmayı bekliyordu. "Ders kitaplarında yazanlar açıktı," diyor. "Sadece iki ortak olabilirdi." Ne var ki Spribille ne kadar incelerse işin aslı o kadar farklı görünüyordu. Bu liken çeşidini her analiz ettiğinde, beklenen mantar ve algin yanı sıra, başka organizmalar da buldu. "Likene 'bulaşmış' bu organizmalarla uzun süre uğraştım," diyor, "ta ki 'bulaşma' görülmeyen liken diye bir şey olmadığına ikna olana kadar; 'bulaşan organizmalar'ın da belirgin biçimde tutarlı olduğunu bulduk. Biz araştırmamızı derinleştirdikçe, onlar da bir istisna değil, kural gibi görünmeye başlamıştı."

Araştırmacılar uzun zamandır likenlerin başka simbiyotik ortakları olabileceğini varsayıyorlardı. Ne de olsa likenler mikrobiyom içermez. Onlar mikrobiyomun *ta kendisidir*; bilinen iki oyuncunun yanı sıra, mantarlar ve bakterilerle doludurlar. Buna rağmen 2016'ya kadar likenlerde yeni bir istikrarlı ortaklık saptanmamıştı. Spribille'in likene "bulaşmış" olduğunu bulduğu organizmalardan birinin –tekhücreli bir mayanın– geçici bir mukimden fazlası olduğu anlaşıldı.

Bu maya, altı kıtaya yayılmıştır ve likenlerin fizyolojisine öyle önemli katkılarda bulunur ki onlara bambaşka bir türdenmiş görüntüsü verir. Bu maya simbiyoz için elzem olan üçüncü ortaktı. Spribille'in bomba etkisi yaratan bulgusu sadece başlangıçtı. O ve ekibi, iki yıl sonra en iyi incelenmiş türlerden biri olan kurt likeninde bir başka mantar türü, *dördüncü* bir ortak olduğunu buldular. Likenlerin kimliği daha da küçük parçalara bölündü. Ama Spribille yine de bunun durumu fazla basite indirgemek olduğunu söylüyor. "Yayımladığımız her şeye göre sonsuz derecede karmaşık bir durum bu. Her likenin grubunda ortakların 'temel küme'si farklı. Bazılarında daha çok, bazılarındaysa daha az bakteri var; bazılarında bir, bazılarında iki maya varken bir kısmında hiç yok. İlginçtir, henüz bir mantar ve bir algden oluşan, geleneksel tanıma uygun bir liken bulamadık."[45]

Yeni mantar ortakların likendeki *işlevini* sordum. "Emin değiliz," diye yanıt verdi Spribille. "Kimin, ne yaptığını anlamaya çalıştığımızda kafamız karışıyor. Oyuncuların rollerini anlayacağımıza daha da fazla oyuncuyla karşılaşıyoruz. Ne kadar kazarsak o kadar fazlasını buluyoruz."

Spribille'in bulguları, liken simbiyozunun önceden düşünüldüğü kadar "kenetlenmiş" bir ilişki olmadığını düşündürdüğünden, bazı araştırmacıların canını sıkıyor. "Simbiyozu parçaları, işlevleri ve parçaların montaj sırası açıkça tanımlanmış bir IKEA paketi gibi düşünenler var," diyor Spribille. Onun bulgularıysa çok farklı oyuncuların bir liken oluşturabileceğini, bunun için sadece "birbirlerine doğru biçimde temas etmeleri" gerektiğini düşündürüyor. Mesele likenin yapısındaki oyuncuların kimliğinden çok ne yaptıklarıyla, yani her birinin söylediği metabolik "şarkı"yla ilgili. Bu bakış açısı, likenleri birbiriyle etkileşen bir bileşenler kataloğundan çok, dinamik *sistemler* olarak görür.

Bu durum ikilik hipotezinden çok farklı bir tablo çizer. Schwendener, mantar ve algi, efendi ve köle olarak betimlediğinden beri biyologlar iki ortaktan hangisinin diğerini kontrol ettiğini tartışıyorlardı. Fakat düet artık trioya, trio kuartete dönüştü ve kuartet de daha çok bir koro gibi görünüyor. Bir likenin gerçekte ne olduğuna dair tek ve sabit bir tanımın mümkün olmaması karşısında Spribille sakin görünüyor. Goward bu konunun saçmalığına sık sık değinmenin keyfini çıkarıyor:

"Koca bir disiplin, üzerinde çalıştığı şeyi tanımlayamıyor." Hillman likenler için, "Ne dediğinizin bir önemi yok," der. "Hem bu denli radikal hem de sıradan ne olsa bir şeyi temsil eder." Yüz yılı aşkın süredir birçok şeyi temsil eden likenler, canlı organizmaların ne olduğuna dair anlayışımıza meydan okumaya muhtemelen devam edecekler.[46]

Bu arada Spribille ümit vaat eden bir dizi ipucunun peşinde. "Likenler tıka basa bakteri dolu," diyor. Gerçekten de likenler o kadar çok bakteri içerir ki bazı araştırmacılar –konuyu yine panspermia varsayımına getirip– likenlerin çorak habitatlara önemli bakteri suşlarını eken mikrop rezervuarları olarak işlev gördüğü varsayımını ileri sürer. Likenlerin içindeki bazı bakteriler savunmadan sorumludur; diğerleri vitamin ve hormon üretir. Spribille daha fazlasını da yapıyor olabileceklerinden şüpheleniyor. "Bence bu bakterilerin birkaçı liken sistemini birbirine bağlıyor ve pelte gibi yayılmasını önleyip ona biçim veriyor olabilir."[47]

Spribille "Likenlerde Queer Kuramı" başlıklı bir makaleden söz etti. ("Google'a anahtar sözcük olarak 'queer' ve 'liken' yazdığınızda karşınıza ilk bu makale çıkar.") Makalenin yazarı, likenlerin insanlara katı ikili çerçevenin ötesinde düşünmenin yollarını sunan queer varlıklar olduğunu iddia eder: Likenlerin kimliği, önceden bilinen bir yanıttan çok, bir sorudur. O nedenle Spribille, queer kuramının likenlere uygulanmasının faydalı olabileceğini düşünmüş. "İnsanın ikili bakış açısı, ikili yanıtı olmayan sorular sormayı zorlaştırdı," diyor. "Örneğin cinsellik hakkındaki tenkitlerimiz cinsellikle ilgili sorular sormayı güçleştiriyor. Kendi kültürel bağlamımıza göre sorular soruyoruz. Ve bu da likenler gibi karmaşık simbiyozlar hakkında soru sormamızı son derece zorlaştırıyor çünkü kendimizi özerk bireyler olarak düşünürken bağlantıyı kurmakta güçlük çekiyoruz."[48]

Spribille likenleri tüm simbiyozların en "dışadönükleri" olarak tarif ediyor. Gelgelelim artık insanlar dahil hiçbir organizmayı aynı bedeni paylaştıkları mikrop topluluklarından ayrı düşünmek mümkün değil. Çoğu organizmanın biyolojik kimliği, mikrop simbiyontlarınınkinden ayrılamaz. *Ekoloji* sözcüğü Yunanca "ev", "ev halkı" ya da "yaşanan yer" anlamına gelen *oikos* kökünden türemiştir. Vücudumuz da diğer bütün organizmaların bedenleri gibi, yaşam mekânlarıdır. Yaşam, iç içe geçmiş biyomlardan oluşur.

Vücudumuzu mikroplarla paylaştığımız ve "kendi" hücrelerimizden daha fazla mikrop hücresi taşıdığımız için kendimizi anatomik zeminde tanımlayamayız. Örneğin inekler ot yiyemez ama taşıdıkları mikrop toplulukları yiyebilir ve inek vücudu kendisini besleyen mikroplara ev sahipliği yapacak şekilde evrilmiştir. Kendimizi bir hayvan yumurtasının döllenmesinden sonra organizmanın yaşadığı gelişim sürecine göre de tanımlayamayız çünkü bütün memeliler gibi gelişimsel programımızın yönetimi simbiyotik ortaklarımıza bağlıdır. Özdeş bir genomu paylaşan hücrelerden oluşmuş bedenler olduğumuzu söyleyen genetik temelli bir tanım yapmamız da mümkün değil; zira "kendi" DNA'mızın yanı sıra, simbiyotik mikrop ortaklarımızın birçoğu annelerimizden kalıtılır ve evrim tarihinin belli noktalarında mikrop ortaklar, bulundukları konak hücrelerin yapısına kalıcı olarak sızmıştır. Bitkilerdeki kloroplastlar gibi mitokondrilerimizin de kendi genomları vardır ve insan genomunun en az yüzde sekizi virüslerden gelir (hatta diğer insanlarla hücre değiştokuşu dahi yapabiliriz; anneyle fetüsün gebelik sırasında hücre ya da genetik madde alışverişi yapmasıyla bu şekilde "kimerik" bir yapı oluşur). Bağışıklık hücrelerimizin genellikle "kendinden olan" ile "kendinden olmayan"ı ayırt ederek bu soruyu bizim için yanıtladığı düşünülür ama bağışıklık sistemimiz de bireysellik ölçütü olarak kabul edilemez. Bağışıklık sistemi, dışarıdan gelen saldırılarla mücadele ettiği gibi, yerleşik mikroplarımızla olan ilişkilerimizi de düzenler ve mikropların vücudumuzda kolonize olmasını önlemekten çok, kolaylaştırmak için evrilmiş görünür. Böyle düşünmek bizi –ya da belki cem-i cümlemizi demek daha doğru– nereye götürür?[49]

Bazı araştırmacılar farklı organizmaların bir araya gelip tek birim gibi davranarak oluşturdukları yapı için "holobiyont" terimini kullanırlar. *Holobiyont*, Yunanca "tüm" anlamına gelen *holos* sözcüğünden türetilmiştir. Parçalarının toplamından fazlası olan holobiyontlar bu dünyanın likenleridir. Simbiyoz ve ekoloji gibi, holobiyont da kullanışlı bir kelimedir. Düzgün sınırlandırılmış özerk bireyleri tanımlayan sözcüklerimiz olduğunda, onların gerçekten var olduklarını düşünmek kolaylaşır.[50]

Holobiyont ütopik bir kavram değil. İşbirliği her zaman rekabetle imecenin bir karışımıdır. Simbiyontların çıkarlarının uyuşmadığı pek

çok örnek var. Bağırsaklarımızdaki bir bakteri türü, sindirim sistemimizin önemli bir parçasını oluşturduğu halde kana karıştığında ölümcül bir enfeksiyona yol açabilir. Bu fikre başka örneklerden de aşinayız. Örneğin grup içinde yaşanan yoğun gerilime rağmen bir aile, aile olarak varlığını sürdürebilir ya da bir caz grubu muhteşem bir performans sergileyebilir.[51]

Likenlerle ilintilenmek o kadar da zor olmayabilir. Bu tür bir ilişkinin inşası, en eski evrimsel ilkelerden birini sahneye koyar. "Sibernetik organizma"nın kısaltması olan *siborg* sözcüğü canlı bir organizmayla bir teknoloji ürününün kaynaşmasını tanımlıyorsa biz de diğer bütün yaşam formları gibi simborglar, yani simbiyotik organizmalarız. Yaşama simbiyotik bakış üzerine yazılmış ufuk açıcı bir makalenin yazarları açıkça şöyle diyor: "Birey diye bir şey hiç var olmadı. Hepimiz likeniz."[52]

Caper'la denizde seyrederken haritalara bakarak epey zaman geçiririz. Bu haritalarda deniz ile karanın alışılageldik rolleri tersine döner. Kara parçaları krem rengi, engin boş alanlar olarak görünür. Suyun olduğu alanlarsa, kayaların etrafında büzülen konturlar ve işaretlerle doludur. Meçhul kara parçaları arasında suyolları dallanır, birleşir. Okyanusun suyolları ağındaki hareketi önceden kestirilemez. Bazı geçitler günün yalnızca belli zamanlarında kullanılabilir. Gelgit sırasında tehlikeli, dar bir kanalda sular yükselirken, akıntı bir buçuk metre yüksekliğinde kıpırtısız bir su duvarı oluşturur. Hele iki ada arasındaki güvenilmez bir koridorda oluşan on beş metre çapındaki gelgit girdapları suda yüzen tomrukları dibe çeker.

Bu suyollarının birçoğunun kenarları kayalarla döşelidir. Yamaçlardan denize granit kayalar yuvarlanır. Yavaş çekimde devrilen ağaçlar denize doğru eğilir. Kıyı boyunca gelgit dalgaları ağaçların, yosunların ve likenlerin üzerinden geçer, buzullardan kalmış izler taşıyan kaya bloklarını ve tabakalarını açığa çıkarır. Burada, karanın büyük bölümünün yavaş yavaş parçalanan kaya kütlelerinden oluştuğunu unutmanız zordur. Düzensiz kaya çıkıntıları aşağıya doğru indikçe yerlerini dik yamaçlara bırakır. Kardeşimle ben geceleri sık sık bu çıkıntıların üzerinde uyuruz. Her yer likenlerle kaplıdır; sabah yüzüm gözüm liken içinde uyanırım. Pantolonumun ceplerinde

günlerce liken parçaları bulurum. Ceplerimi tersyüz edip silkelerken kendimi bir göktaşı gibi hissederim; cebimden dökülenlerin kaçının beklenmedik yerlerde kendine bir hayat kuracağını merak ederim.

4
Miselyum Zihni

> Bizimkinden öte bir dünya var (...) O dünya konuşuyor. Kendine has bir dili var. Ben onun söylediklerini aktarıyorum. Kutsal mantar beni elimden tutup her şeyin bilindiği dünyaya götürüyor (...) Ben soruyorum, onlar cevaplıyor.[1]
>
> —María Sabina

Bir ile beş arası bir ölçekte –bir "kesinlikle hayır"a ve beş "kesinlikle evet"e karşılık geliyorsa– kimlik kaybı hissi yaşıyor musunuz? Saf Varoluş deneyimi yaşıyor musunuz? Daha büyük bir dünyayla kaynaşma hissi yaşıyor musunuz?

LSD maceramın sonuna doğru klinik ilaç testi birimindeki yatağımda yatıyor, bu soruları çözmeye çalışıyordum. Duvarlar usul usul nefes alıp veriyormuş gibi görünüyordu; ekrandaki kelimelere odaklanmakta zorlanıyordum. Karnımın etrafında tatlı bir mırıltı duyuyordum; dışarıda parlak, yeşil söğütler hafif hafif sallanıyordu.

"Sihirli" mantar türlerinin birçoğunun aktif içeriği olan psilosibin gibi, LSD de hem psikedelik ("ruhsal dünyayı görünür hale getiren") hem de bir entojen ("ilahi" tecrübeler yaşatabilen madde) olarak sınıflandırılır. İşitsel ve görsel halüsinasyonlar ve rüya benzeri vecd durumundan ciddi bilişsel ve duygusal değişimlere, zaman ve uzayın çözülmesine varan farklı etkiler gösteren bu kimyasallar günlük algılarımızı gevşetir, bilincimizin derinliklerinde bir yere dokunur. Bu maddeleri kullananların pek çoğu mistik tecrübeler yaşadıklarını, ilahi

varlıklarla bağlantı kurduklarını, doğayla bir ve bütün olduklarını ve benlik algısının sınırlarını yitirdiklerini ifade ederler.[2]

Tamamlamak için uğraştığım psikometrik anket bu tür bir deneyimi değerlendirmek için geliştirilmişti. Fakat hissettiklerimi bir sayfa üzerindeki beş puanlık ölçeğe sığdırmak için ne kadar çabalarsam o kadar kafam karışıyordu. Zamansızlık deneyimini nasıl ölçebilirsiniz ki? Ya da nihai gerçeklikle bir ve bütün olma deneyimini nasıl ölçersiniz? Bunlar nicelik değil, niteliktir. Oysa bilim niceliklerle uğraşır.

Sağa sola kıvrandım, derin derin nefes aldım ve sorulara farklı açıdan yaklaşmayı denedim. *Hayret duygusu yaşıyor musunuz?* Yatak yavaşça sallanıyordu sanki ve düşünceler zihnimde şaşkın balıklar gibi kaçışıyordu. *Sonsuzluk tecrübesi yaşıyor musunuz?* Başarılması imkânsız bir görev gibi görünen bu sürecin altında yatan bilimsel prosedürü sezebiliyordum. *Zaman algısı kaybı yaşıyor musunuz?* LSD'nin sık rastlanan bir etkisi olan, kontrol edemediğim bir kahkaha krizine yenik düştüm; hazırlayıcı risk değerlendirmesinde bu konuda uyarmışlardı. *Nerede olduğunuza dair farkındalık kaybı yaşıyor musunuz?*

Gülmem geçince tavana baktım. Nasıl olmuştu da kendimi burada *bulmuştum*? Bir mantar, ilaç hammaddesi olan bir kimyasal geliştirmişti. Bu ilacın insan tecrübesinde yarattığı değişim handiyse kazara keşfedilmişti. Yaklaşık yetmiş yıl boyunca LSD'nin zihnimiz üzerindeki garip etkileri hayret, kafa karışıklığı, güçlü bir şevk, ahlaki panik gibi türlü çeşit duygu uyandırmıştı. Yirminci yüzyıl boyunca üzerimizde hâlâ anlam vermeye uğraştığımız, silinemez bir kültürel iz bırakmıştı. Bir klinik çalışmanın parçası olarak bu hastane odasında yatıyordum çünkü LSD'nin etkileri bugün de her zaman olduğu kadar şaşırtıcıydı.

Afallamış olmama şaşmamalı. LSD ve psilosibin, mantarların ürettiği, insan yaşamıyla karmaşık yollardan birbirine dolanmış moleküllerdir; en temel kavram olan benlik algımız dahil zihnimizdeki kavramları ve yapıları birbirine katarlar. Bu moleküller zihnimizi beklenmedik yerlere çekebildikleri için psilosibin üreten sihirli mantarlar antikçağlardan beri insan toplumlarının törensel ve spiritüel öğretilerine girdi. Bu kimyasallar zihnimizin katı alışkanlıklarını yumuşatabildikleri için ciddi bağımlılık davranışlarını, diğer yöntemlerin başarısız olduğu depresyonu ve ölümcül bir hastalık tanısının

getirdiği varoluşsal sıkıntıyı hafifletebilen güçlü ilaçlar olarak işlev görür. Ayrıca zihnimizin içsel tecrübelerini değiştirebilen bu kimyasallar, zihnin gerçek tabiatını modern bilimsel çerçevede anlamamıza yardımcı olmuştur. Gelgelelim belli mantar türlerinde bu becerilerin niye geliştiği sorusu hâlâ bir şaşkınlık ve merak konusudur.

Gözlerimi ovuşturdum, döndüm ve ekrandaki sözcüklere bir kez daha bakacak cesareti topladım. *Kelimelerin yaşadığınız tecrübeyi tarif etmekte yetersiz kaldığı hissine kapılıyor musunuz?*

HAYVAN DAVRANIŞININ en üretken ve yaratıcı manipülatörleri, böceklerin vücutlarında yaşayan bir grup mantardır. Bu "zombi mantarlar" konak canlının davranışlarını kendilerine yontacak şekilde değiştirir. Böceği esir alan mantar, sporlarını saçarak yaşam döngüsünü tamamlar.

En iyi incelenmiş örneklerden biri, yaşamını marangoz karıncalar etrafında örgütleyen *Ophiocordyceps unilateralis* adlı mantardır. Mantarın enfekte ettiği karıncalar yükseklik korkusunu kaybeder, yuvalarının nispeten güvenli ortamını terk ederek en yakındaki bitkiye tırmanmaya başlarlar. Bu sendrom "zirve hastalığı" olarak bilinir. Karınca mantarın zorlamasıyla zamanı gelince çenelerini "ölüm ısırığı" ile bitkiye kenetler. Karıncanın ayaklarından serpilen miselyum, ayakları bitkinin yüzeyine sıkıca bağlar. Ardından mantar karıncanın vücudunu sindirir ve hayvanın başını delip çıkan bir saptan saçılan sporlar aşağıdan geçen karıncaların üzerine yağar. Sporlar hedefi tutturamazsa mantar tuzak teli işlevi gören iplikler çıkarır ve bunlara tutunan ikincil yapışkan sporlar üretir.[3]

Zombi mantarlar konak böceklerin davranışlarını mükemmel bir hassasiyetle kontrol eder. Karıncalar mantarın meyve vermeye en uygun sıcaklık ve nem bölgesine, orman zemininden yirmi beş santimetre yükseğe ulaştıkları zaman *Ophiocordyceps* onları ölüm ısırığına çağırır. Mantar, karıncaları güneşe doğru yönlendirir ve enfekte olmuş karıncaların hepsi bitkiyi öğle vakti aynı anda ısırır. Yaprağın altındaki sararmış bölgeleri ısırmazlar. Yüzde doksan sekizi ana damara tutunur.[4]

Zombi mantarların konak böceklerin zihinlerini nasıl kontrol ettikleri meselesi uzun zamandan beri araştırmacıların kafasını

kurcalıyordu. Mantarların manipülatif davranışları üzerine tanınmış bir uzman olan David Hughes'un öncülüğünde bir ekip, 2017'de laboratuvarda karıncaları *Ophiocordyceps* ile enfekte etti. Araştırmacılar karıncaların bedenini ölüm ısırığı ânındaki haliyle muhafaza ettiler, ince kesitler halinde doğrayıp dokularda yaşayan mantarın üçboyutlu görüntüsünü oluşturdular. Mantarın, karıncanın vücudunda rahatsız edici boyutlarda bir protez organa dönüştüğünü buldular. Enfekte karıncanın biyokütlesinin yüzde kırka varan bir bölümü mantardan oluşur. Kıvrılarak büyüyen hifler vücut boşluklarını tepeden tırnağa doldurur, etrafını sardığı kas liflerinin hareketlerini kendi içinde bağlantıları olan bir miselyum ağı vasıtasıyla eşgüdümlü hale getirir. Ne var ki karıncaların beyninde mantar bulunmaması dikkat çekicidir. Hughes ve ekibi için bu beklenmedik bir durumdu. Karıncaların davranışlarının bu düzeyde ince kontrolünü yapabilen mantara beyinde de rastlayacaklarını düşünmüşlerdi.[5]

Fakat anlaşılan mantar farmakolojik bir yol izliyor. Araştırmacılar mantarın, karıncaların hareketlerini, beyinlerinde fiziksel olarak bulunmasa da kasları ve merkezi sinir sistemleri üzerinde etki gösteren kimyasallar salgılayarak, bir kukla oynatıcısı gibi kontrol edebildiğinden şüpheleniyor. Bunların hangi kimyasallar olduğunu bilmiyoruz. Mantarın, karıncanın beyniyle gövdesi arasındaki bağlantıyı kesip kesmediğini, bu yolla kas kasılmalarını doğrudan yönetip yönetmediğini de bilmiyoruz. Ne var ki *Ophiocordyceps*, ilk olarak İsviçreli kimyager Albert Hofmann'ın, LSD yapımında kullanılan bileşikleri izole ettiği ergot mantarları (çavdarmahmuzu) ile yakın akrabadır ve LSD'nin köken aldığı, "ergot alkaloidleri" adıyla bilinen kimyasalları üretebilir. *Ophiocordyceps* genomunda bu alkaloidlerin üretiminden sorumlu kısımların mantarın bulaştığı karıncalarda etkinleşmesi, karınca davranışlarının manipülasyonunda bu maddelerin rol oynamasının mümkün olduğunu düşündürüyor.[6]

Yöntem ne olursa olsun mantarların bu müdahaleleri insan standartlarına göre kayda değerdir. Yıllarca süren araştırmalara ve milyarlarca dolarlık yatırıma rağmen insan davranışlarını ilaçlarla düzenlemede ince ayarın çok uzağındayız. Örneğin antipsikotik ilaçlar belli davranışları hedef almaz; sadece sakinleştirir. Bunu *Ophiocordyceps*'in başarı oranıyla karşılaştırın: Mantar, karıncayı bitkiye tırmandırmak

ve ölüm ısırığını yaptırmakla kalmaz (bunu mantarı taşıyan bütün karıncalar yapar), bu tırmanışların yüzde doksan sekizinde karıncaların, mantarın meyve vermesi için en uygun koşullara sahip yeri ısırmasını sağlar. Dürüst olmak gerekirse diğer birçok zombi mantar gibi *Ophiocordyceps*'in de yöntemlerini mükemmelleştirmek için uzun bir zamanı olmuştur. Mantar bulaşan karıncaların davranışları geride iz bırakır. Karıncaların ölüm ısırıklarından ötürü yaprak damarları üzerinde belirgin yara izleri kalır ve fosilleşmiş izler bu davranışın kökeninin kırk sekiz milyon yıl önceki Eosen devrine uzandığını gösterir. Mantarlar muhtemelen yönlendirebilecekleri zihinler ortaya çıktığından beri hayvan zihinlerini yönlendiriyor.[7]



Ophiocordyceps'in karıncadan filizlenmesi

İNSANLARIN BAŞKA CANLILARI yiyerek algılarını değiştirebileceklerini fark ettiğimde yedi yaşındaydım. Annemle babam erkek kardeşimle beni Hawaii'de yaşayan bir arkadaşlarına, eksantrik yazar, filozof ve etnobotanikçi Terence McKenna'ya götürmüştü. Zihin değiştirici bitkiler ve mantarlar McKenna'nın büyük tutkusuydu. Bombay'de haşhaş kaçakçılığı, Endonezya'da kelebek toplayıcılığı yapmış, Kuzey Kaliforniya'da psilosibin içeren mantar yetiştirmişti. Artık Mauna Lona yanardağının eteklerinde, birkaç kilometrelik engebeli bir yolla ulaşılan Botanical Dimensions (Botanik Boyutlar) adlı sıra dışı bir sığınakta yaşıyordu. Hawaii'deki araziyi bir orman bahçesi, tropikal dünyanın pek çok köşesinden toplanmış bazıları nadir, bazıları o kadar nadir olmayan psikoaktif ve tıbbi bitkiler içeren canlı bir kütüphane olarak düzenlemişti. Tuvalete ulaşmak için üzerinden sular damlayan yaprakların ve tropikal sarmaşıkların arasından, ormanda

kıvrılarak ilerleyen bir patika boyunca yürümeniz gerekiyordu. Yolun birkaç kilometre aşağısında, lav akıntılarının denize boşaldığı yerde su fokurdayarak kaynıyordu.

McKenna psilosibin içeren mantarlara karşı hâlâ büyük bir tutku besliyordu. Bu mantarları ilk kez 1970'lerin başında kardeşi Dennis'le Kolombiya'da Amazon havzasına yaptıkları seyahat sırasında yemişti. İzleyen yıllarda düzenli olarak "kahramanca" dozlarda mantar yiyen McKenna, kendisine ender görülen bir gevezelik ve hitabet yeteneği bahşedilmiş olduğunu fark etti. "Yıllarca psilosibin içeren mantarları kullanmamın, İrlanda kanından gelen abuk sabuk konuşma becerimi olağanüstü güçlendirdiğini anladım," diyordu. "Küçük gruplarla, görünüşe göre yoğun bir heyecan uyandıran (...) alışılmışın dışında transandantal meseleler hakkında konuşabiliyordum." Belagati güçlü olan McKenna'nın geniş bir kitleye ulaşan şairane esinlenmeleri kimilerince takdir edilirken, kimilerince aynı ölçüde kınanıyordu.[8]

Botanical Dimensions'ta geçen birkaç günün ardından ateşim çıkmıştı. Cibinliğin altında yatarken, McKenna'yı büyük bir havanda bir şeyler döverken izlediğimi hatırlıyorum. Benim için bir ilaç hazırladığını düşünmüş, ne yaptığını sormuştum. O komik metalik sesiyle kelimeleri uzata uzata konuşarak, zannettiğim gibi bir şey hazırlamadığını söylemişti. Havanda dövdüğü bitki, tıpkı bazı mantar türleri gibi rüya görmemizi sağlayabiliyordu. Hatta şanslıysak bu organizmalar bizimle konuşabilirdi bile. Bunlar, insanların uzun zaman önce kullandığı güçlü ilaçlardı ama korkutucu da olabilirlerdi. Yüzünde bitkin bir gülümseme belirmişti. Şimdi değilse bile biraz daha büyüdüğüm zaman, hazırladığı bitkiden deneyebileceğimi söylemişti. Şaşkınlıktan donakalmıştım. Sonradan bu bitkinin, adaçayının zihin değişikliği yapan bir akrabası olan *Salvia divinorum* olduğunu öğrendim.

Hayvanlar âleminde sarhoşluğun pek çok örneğiyle karşılaşırız: Kuşlar alkollenmiş meyveleri yer, lemurlar kırkayakları yalar, güveler psikoaktif çiçeklerin nektarını içer. Zihin değiştiren maddeleri kullanmamızın geçmişi muhtemelen insan olmamızdan öncesine dayanır. Psikoaktif bitkiler ve mantarlar konusunda önde gelen uzmanlardan biri ve Harvard Üniversitesi'nde biyoloji profesörü olan Richard Evans Schultes bu maddelerin etkilerinin "sıklıkla açıklanamadığını ve gerçekten de tekinsiz olduğunu" yazmıştı. "Hiç kuşkusuz [bu

bileşikler] insanın yaşadığı ortamdaki bitki örtüsüyle yaşadığı ilk tecrübelerden beri biliniyor ve kullanılıyordu." Birçoğu "tuhaf, mistik ve kafa karıştırıcı" etkiler gösterir ve psilosibin gibi mantarlar, insan kültürleri ve ruhani pratikleriyle iç içe geçmiştir.[9]

Bir grup mantar zihin değiştirici etki gösterir. Bunlar arasında ikonik olan, Sibirya'nın bazı kesimlerinde şamanların yediği, kırmızı-beyaz benekli *Amanita muscaria*, öforiye ve halüsinasyonlara neden olur. Ergot mantarları halüsinasyonlardan havalelere ve dayanılmaz yanma hissine varan ürkütücü etkiler gösterebilir. İstemsiz kas seğirmeleri ergotizmin başlıca belirtilerindendir ve ergot alkaloidlerinin insanlarda kas kasılmalarını uyarması, *Ophiocordyceps* ile enfekte olmuş karıncalardaki rolünü yansıtıyor olabilir. Rönesans ressamı Hieronymus Bosch'un betimlediği bazı korkunç sahnelerde ergot zehirlenmesinin belirtilerinden esinlendiği düşünülmektedir; on dördüncü ila on yedinci yüzyıllar arasında defalarca görülmüş olan, yüzlerce kasabalının durup dinlenmeden günlerce dans ettiği "dans çılgınlığı" salgınlarının da ergotizmin yol açtığı havalelerden kaynaklandığını düşünenler var.[10]

Psilosibin içeren mantarların çok eskilerden beri Meksika'da kullanıldığı belgelenmiştir. Dominiken rahip Diego Durán zihinsel değişim yaratan –"tanrıların eti" olarak bilinen– mantarların 1486'da Aztek imparatorunun taç giyme töreninde kullanıldığını bildirmişti. İspanya kralının hekimi Francisco Hernández, "yendiği zaman öldürmeyen ama kontrol edilemeyen gülmeyle belirti veren ve bazen uzun süreli bir çılgınlığa yol açan" mantarlar tarif etmişti. "İnsanı gülme krizine sokmayan ama savaşlar ve şeytani varlıklar dahil her çeşit hayali görmesine neden olan başka mantarlar da var," diye devam ediyordu. Fransisken rahip Bernardino de Sahagún (1499-1590) mantar kullanımına dair en canlı tanıklıklardan birini aktarıyordu:[11]

> Bu küçük mantarları balla yediler ve onların etkisiyle vecde gelince dans etmeye başladılar; bazıları şarkı söylüyor, bazıları ağlıyordu (...) Bazılarıysa şarkı söylemek istemiyor, kendi köşelerine çekilip tefekküre dalıyordu. Bazıları hayalinde kendi ölümünü görüp ağlıyor, bazılarıysa vahşi bir canavara yem olduğunu görüyordu (...) Bu küçük mantarların sarhoş edici etkisi geçince, gördükleri hayalleri birbirlerine anlattılar.

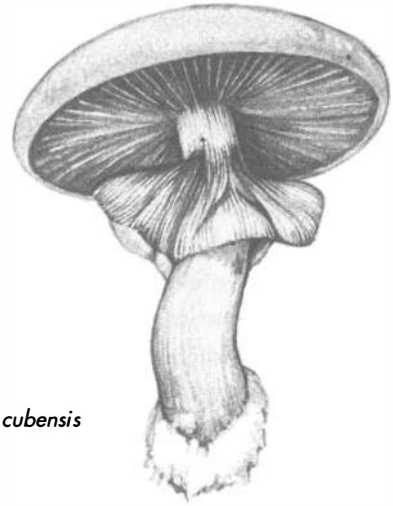
Orta Amerika'da mantar tüketimiyle ilgili açık ve net kayıtların geçmişi on beşinci yüzyıla kadar uzanır ama bölgede psilosibin içeren mantarların kullanılması kesinlikle daha da gerilere gider. MÖ ikinci binyıla tarihlenen mantar biçiminde heykeller bulunmuştur ve İspanyolların Amerika'yı fethetmesinden önceki döneme ait kodekslerde, uçan tüylü ilahların yediği ve havada tuttuğu mantar tasvirlerine rastlanır.[12]

McKenna, insanların psilosibin içeren mantarları yemesinin daha kadim bir gelenek olduğunu ve insanın biyolojik, kültürel ve ruhani evriminin kökeninde yattığını düşünüyor. Dinin, karmaşık sosyal örgütlenmenin, ticaretin ve sanata dair ilk örneklerin delilleri yaklaşık elli ila yetmiş bin yıl önce, insanlık tarihinde görece kısa bir zaman diliminde ortaya çıktı. Bu gelişmeleri neyin tetiklediğini bilmiyoruz. Kimi akademisyenler bu gelişmeleri dilin karmaşık hale gelmesine atfeder. Kimileriyse genetik mutasyonların beyin yapısını değiştirdiği varsayımını savunur. McKenna, insanlarda Paleolitik Çağ'ın puslu ön kültür döneminde özdüşünüm, dil ve maneviyatın ilk kıvılcımlarını psilosibin içeren mantarların çaktığını düşünüyor. Ona göre ilk bilgi ağacı mantarlardı.

Cezayir'in güneyinde, Sahra Çölü'nün kuru sıcağı sayesinde korunmuş olan mağara resimleri McKenna'ya kadim çağlarda mantar tüketimiyle ilgili ilk çarpıcı delilleri sunmuştu. MÖ 9000 ila 7000'den kalma Tassili resimlerinde, hayvan kafalı bir ilah figürünün omuzlarıyla kollarından mantar benzeri uzantılar çıkar. McKenna'nın tahminine göre atalarımız "tropikal ve subtropikal Afrika'nın mantarlarla kaplı çayırlarında" dolaşırken "psilosibin içeren mantarlarla karşılaştılar, onları yediler ve ilahlaştılar. Hominid aklının karanlığından dil, şiir, ritüel ve düşünce doğdu."[13]

"Sarhoş maymun" hipotezinin pek çok çeşitlemesi olsa da köken hikâyelerinin çoğunda olduğu gibi hangisinin doğru olduğunu kanıtlamak zor. Psilosibin içeren mantarları yeme geleneğinin olduğu her yerde bu mantarların etrafında çeşitli spekülasyonlar türer. Günümüze ulaşan metinler ve el yapımı nesneler bölük pörçük ve hemen her zaman muğlaktır. Tassili resimleri bir mantar tanrısını mı temsil eder? Belki öyle. Belki de değil. Neandertal diş plağından, Buz Adam'dan ve korunmuş diğer cesetlerden elde edilen deliller, insanın besin ve

ilaç olarak kullandığı mantarlarla ilgili bilgisinin binlerce yıl önceye dayandığına dair kanıt oluşturur. Ne var ki bu bedenlerin hiçbirinde psilosibin içeren mantarların izi bulunamadı. Bazı primatların yemek için mantar aradıklarını biliyoruz ve psilosibin içeren mantarları yiyen primatlar hakkında anlatılan anekdotlar da var ama elimizde belgelenmiş örnekler yok. Psilosibin içeren mantarların kadim Avrasya toplulukları tarafından dinsel seremonilerde kullanıldığından şüpheleniliyor. Antik Yunan kültüründe gizlice yapılan kutlama törenleri olan Elefsis Gizemleri bunlar arasında en iyi bilinenlerdir; bu törenlere Platon'un ve diğer birçok aydının katıldığı düşünülüyor. Fakat bu konuda da elimizde kesin kayıtlar yok. Yine de delil olmaması, olmadığının delili değildir. Bu durumda spekülasyon yapmak kaçınılmaz hale gelir. Ve psilosibinin verdiği süper güç sayesinde McKenna bu sanatın ustasıydı.[14]



Psilocybe cubensis

Ophiocordyceps en az iki kurgusal canavar karaktere ilham kaynağı olmuştur: *The Last of Us* adlı video oyunundaki yamyamlar ve *The Girl with All the Gifts* kitabındaki zombiler. Tuhaf olmakla birlikte kulağa gerçek bir özel örnek, evrimin beklenmedik bir sonucu gibi geliyor. Ne var ki *Ophiocordyceps* detaylı incelenmiş bir örnektir sadece. Oysa bu tür manipülasyonlar bir istisna olmayıp mantarlar âleminde akraba olmayan soylar arasında defalarca evrildi; ayrıca

mantarlar dışında, konağın zihnini kendi çıkarları doğrultusunda yönlendirebilen başka parazitler de var.[15]

Mantarlar, konak davranışını düzenleyen biyokimyasal düğmelere basmak için çeşitli yaklaşımlar kullanır. Bağışıklık sistemini baskılayan maddelerle böceklerin savunma yanıtlarını bastırırlar. Böyle iki bileşik tam da bu nedenle ana akım tıpta kendine kullanım alanı bulmuştur. Bunlardan biri olan siklosporin bağışıklık sistemini baskılayarak organ naklini mümkün kılar. Multipl skleroz tedavisinde kullanılan ve yılda en az bir milyar dolarlık satışı olan fingolimodun üretiminde kullanılan *myriocine*, Çin'in bazı bölgelerinde gençlik iksiri olarak yenen, mantarla enfekte olmuş yabanarılarından elde edilmiştir.[16]

2018'de Berkeley Kaliforniya Üniversitesi'nden araştırmacıların yayımladığı bir çalışma, sinekleri enfekte ederek zihin manipülasyonu yapan bir mantar olan *Entomophthora*'nın kullandığı şaşırtıcı bir tekniği ortaya koydu. *Ophiocordyceps* ile benzerlikler taşıyan bu mantarın enfekte ettiği sinekler yükseğe tırmanır. Beslenmek için ağız parçalarını uzattığında mantarın ürettiği zamk sineğin dokunduğu yüzeye yapışmasına neden olur. Mantar sineğin yağlı kısımlarından başlayıp en son yaşamsal organlarını sindirdikten sonra sırtından dışarı çıkarttığı bir saptan havaya sporlar saçar.

Entomophthora mantarının bir virüs taşıması ve bu virüsün mantarları değil, böcekleri enfekte etmesi araştırmacıları şaşırtmıştı. Çalışmanın başyazarı bunun, bilim alanında kendi çağının "en uçuk kaçık keşiflerinden biri" olduğunu söylüyordu. Uçuk kaçık olan şey, bulguların, böceğin zihnini kendi çıkarları doğrultusunda yönlendiren mantarın bu amaçla virüsü kullandığını ima etmesiydi. Bu hâlâ bir varsayım ve doğru olması mümkün. Bağlantılı bir grup virüs, böcek davranışlarını değiştirecek şekilde özelleşmiştir. Bu virüslerden biri, parazit yabanarıları tarafından uğurböceklerine zerk edilir, uğurböceği titrer, olduğu yerde kalakalır ve yabanarısı yumurtalarının bekçisine dönüşür. Benzer bir başka virüs balarılarını saldırganlaştırır. Bir mantar, zihin manipülasyonu yapan bir virüs kullanıyorsa konağı olan böceğin zihnini değiştirme becerisini bizzat geliştirmesi gerekmez.[17]

Zombi mantarlar hikâyesindeki en şaşırtıcı sürprizlerden biri, Batı Virginia Üniversitesi'nden Matt Kasson ve ekibinin yaptığı

araştırmalarda ortaya çıktı. Kasson, ağustosböceklerini enfekte eden ve böceğin gövdesinin arka üçte birinin kopmasıyla sporlarını saçan *Massospora* mantarını inceliyor. Enfekte olmuş erkek ağustosböcekleri, Kasson'ın ifadesiyle "uçan ölüm tuzlukları", hiperaktif ve cinsel açıdan aşırı istekli davranmaya başlar. Oysaki cinsel organları uçup gitmiştir. Bu durum mantarın, böceğin vücudunda nasıl da ustaca bir tahribat yarattığını açıkça gösterir. Ağustosböceklerinin çürüyen bedenlerinde merkezi sinir sisteminin bütünlüğü korunur.[18]

Kasson ve ekibi 2018'de ağustosböceklerinin kopan gövdelerinden çıkan mantar "tıkaçları"nın kimyasal yapısını analiz ettiler. Mantarın bir amfetamin olan katinon ürettiğini görünce şaşırdılar. Keyif verici bir madde olan mefedron ile aynı sınıfta yer alan katinon doğada, Afrika Boynuzu ve Ortadoğu'da yetiştirilen, uyarıcı etkilerinden ötürü insanların asırlardır çiğnediği gat bitkisinin (*Catha edulis*) yapraklarında bulunur. Daha da şaşırtıcı olan, mantar tıkaçlarında en bol bulunan kimyasallardan birinin psilosibin olmasıydı ama herhangi bir etkinin ortaya çıkması için enfekte olmuş yüzlerce ağustosböceği yemek gerekiyordu. *Massospora*, mantarlar âleminde psilosibin ürettiği bilinen türlerden yüz milyonlarca yıllık bir uçurumla ayrılmış, tamamen farklı bir şubede yer aldığından bu durum şaşırtıcıydı. Psilosibinin mantarların evrim ağacının bu denli uzak bir dalında ortaya çıkabileceği ve çok farklı bir hikâyede davranış değiştirici rol oynayabileceği pek az kişinin aklına gelmişti.[19]

Massospora, konağı üzerinde bir psikedelik madde ve bir amfetaminle tam olarak nasıl bir etki gösterir? Araştırmacılara göre bu maddeler mantarın böceği yönlendirmesinde rol oynuyor. Ama mantarın bunu nasıl yaptığı tam olarak bilinmiyor.[20]

PSİKEDELİK DENEYİMLERLE ilgili hikâyeler sıklıkla melez varlıkları ve türlerarası dönüşümleri içerir. Mitler ve peri masallarında da kurtadamlardan kentorlara, sfenkslere ve kimerik varlıklara türlü çeşit bileşik hayvana rastlanır. Ovidius'un *Dönüşümler*'i bir yaratıktan bir başkasına dönüşümlerin kataloğudur; hatta "sağanak yağmurda kalmış mantardan insanların yetiştiği" bir diyardan bahsedilir. Birçok geleneksel kültürde bileşik yaratıkların var olduğuna ve organizmalar arasındaki sınırların akışkan olduğuna inanılır. Antropolog Eduardo

Viveiros de Castro'ya göre, yerli Amazon toplumlarında yaşayan şamanlar başka bir hayvanın ya da bir bitkinin zihnine ve bedenine geçici olarak girebildiklerine inanırlar. Antropolog Rane Willerslev, Kuzey Sibirya'da yaşayan Yukagirlerin geyik avlarken, geyik kılığına bürünüp geyik gibi davrandıklarını yazar.[21]

Bu anlatılar biyolojik olasılıkların sınırlarını esnetir ve modern bilim çevreleri tarafından nadiren ciddiye alınır. Ne var ki simbiyoz, yaşamın, farklı organizmalardan oluşan likenler gibi melez yaşam formlarıyla dolu olduğunu gösterir. Gerçekten de bütün bitkiler, mantarlar ve biz dahil hayvanlar bir ölçüde bileşik varlıklarız: Ökaryot hücreler melezdir ve hepimiz büyümek, yaptıklarımızı yapabilmek ve üremek için muhtaç olduğumuz sayısız mikropla aynı bedeni paylaşıyoruz. Bu faydalı mikropların birçoğunda, *Ophiocordyceps* gibi parazitlerin manipülatif becerilerinden bir kısmının bulunması olası. Giderek artan sayıda çalışma, hayvan davranışlarıyla bağırsaklarda yaşayan ve hayvanların sinir sistemi üzerinde etkili kimyasallar üreten trilyonlarca bakteri ve mantar arasında bağlantı olduğunu gösteriyor. Bağırsaktaki mikroplarla beyin arasındaki etkileşim –"mikrobiyom-bağırsak-beyin ekseni"– öylesine önem kazandı ki yeni bir alan doğurdu: nöromikrobiyoloji. Ne var ki zihin manipülasyonu yapan mantarlar bileşik organizmalar arasında hâlâ en çarpıcı örneklerden sayılıyor. Hughes'un ifadesiyle enfekte olmuş bir karınca, "karınca kılığına girmiş bir mantar"dır.[22]

Bu tür bir biçim değiştirmeyi bilimsel perspektife oturtmak mümkün. Richard Dawkins *Genişletilmiş Fenotip* adlı kitabında, genlerin sadece organizmanın beden inşası için gereken yönergeleri değil, belli davranışların gelişmesi için gereken yönergeleri de içerdiğine dikkat çeker. Bir kuşun yuvası, kuşun genomunun dışadönük bir ifadesidir. Bir kunduzun yaptığı baraj da aynı şekilde kunduz genomunun dışadönük bir ifadesidir. Bir karıncanın ölüm ısırığıysa *Ophiocordyceps* mantarı genomunun dışadönük ifadesidir. Dawkins bir organizmanın genlerinin, "fenotip" adıyla bilinen dışadönük ifadesinin kalıtsal davranışlar yoluyla dış dünyaya uzandığını savunur.

Dawkins genişletilmiş fenotip fikrinin çerçevesini çizerken "katı koşullar" koyma konusunda dikkatli davranır. Spekülatif bir kavram olmakla birlikte genişletilmiş fenotipin "son derece kesin sınırlı bir

spekülasyon" olduğunu bize ısrarla hatırlatır. Fenotiplerin *haddinden fazla* genişletilmemesi (yaptığı baraj kunduzun genomunun ifadesiyse o zaman aynı barajın yukarısında oluşan göl ve o gölde yüzen balıklar için ne denmeli, vs. şeklinde uzayıp gitmemesi) için üç önemli kıstas koyar.[23]

İlk olarak genişletilmiş özellikler kalıtsal olmak zorundadır. Örneğin *Ophiocordyceps*, karıncaları enfekte etmesini ve istediği gibi yönlendirmesini sağlayan farmakolojik bir beceriye sahiptir. İkincisi, genişletilmiş özellikler kuşaktan kuşağa değişkenlik göstermelidir; bazı *Ophiocordyceps* mantarları diğerlerine göre karınca davranışlarının manipülasyonunda daha başarılıdır. Üçüncüsü ve en önemlisi, tür içi çeşitlilik (varyasyon) bir organizmanın, "uyum başarısı" olarak adlandırılan hayatta kalma ve üreme becerisini etkilemelidir; böceğin hareketlerini daha iyi kontrol eden *Ophiocordyceps* daha fazla spor saçar. Bu üç koşulun –özelliklerin kalıtsal olması, değişkenlik göstermesi ve çeşitliliğin organizmanın uyum başarısını etkilemesi– sağlanması halinde genişletilmiş özellikler doğal seçilime tabi olacak, bedensel özelliklerin geçirdiği evrime benzer şekilde evrilecektir. Daha iyi barajlar yapabilen kunduzların hayatta kalma ve bu beceriyi sonraki kuşaklara aktarma olasılığı daha fazladır. Fakat insanların yaptığı barajlar –ya da insan eliyle inşa edilen diğer yapılar– bizim genişletilmiş fenotipimizin parçası sayılmaz çünkü bizler uyum başarımızı doğrudan etkileyen özel yapılar inşa etme içgüdüsüyle doğmadık.

Öte yandan zirve hastalığı ve ölüm ısırığı bu açıdan karınca davranışlarına değil, mantar davranışlarına tam anlamıyla uygundur. Mantarın bir merkezi sinir sistemi ve hayvanlarınki gibi hareketli, kaslı bir vücudu ya da yürüme, ısırma veya uçma yetisi bulunmaz. O nedenle bu özelliklere sahip bir hayvanı kumanda eder. O kadar iyi bir stratejidir ki bu, mantar onsuz hayatta kalma becerisini yitirmiştir. *Ophiocordyceps*, hayatının bir döneminde bir karıncanın vücudunu giymek zorundadır. On dokuzuncu yüzyılın spiritüel ortamlarında, ölülerin ruhlarının medyumların içine girdiği düşünülürdü. Bu düşünceye göre kendi bedeni ve sesi olmayan ruhlar, konuşabilmek ve hareket edebilmek için bir insanın bedenini ödünç alırdı. Benzer şekilde zihin manipülasyonu yapan mantarlar da enfekte ettikleri böceklerin içine girip onları kontrol eder. Enfekte olan karıncalar artık

karınca gibi davranmaz, mantarların medyumları haline gelirler. Hughes bu nedenle *Ophiocordyceps*'in enfekte ettiği bir karıncayı "karınca kılığına girmiş mantar" olarak düşünür. Mantarın denetimine giren karınca, kendi evrim hikâyesinde izlediği gerek davranışlarına gerekse dünyayla ve diğer karıncalarla olan ilişkilerine rehberlik eden yoldan saparak *Ophiocordyceps*'in evrim hikâyesinin yolunu izler. Fizyolojik, davranışsal ve evrimsel açılardan karınca, *mantara dönüşür.*

Ophiocordyceps ve böcekleri kendi çıkarları doğrultusunda yönlendiren diğer mantarlar, etkiledikleri hayvanlara dikkat çekici bir zarar verme becerisi geliştirmiştir. Psilosibin içeren mantarlardaysa giderek artan sayıda çalışmanın gösterdiği gibi, insanlarda görülen çeşitli sorunları tedavi edebilecek şaşırtıcı bir beceri evrilmiştir. Bir açıdan yeni bir haber bu: 2000'lerden beri özenle yürütülen kontrollü çalışmalar ve en yeni beyin tarama teknikleri, araştırmacıların psikedelik deneyimleri modern bilim dilini kullanarak yorumlamalarına yardımcı oldu. LSD araştırması için hastaneye gelmemin sebebi, bu yeni dalga psikedelik araştırmalardı. Son bulgular, 1950'ler ve 60'larda LSD ve psilosibini çeşitli psikiyatrik hastalıkların mucizevi tedavisi olarak gören birçok araştırmacının görüşlerini büyük ölçüde doğruladı. Ne var ki modern bilimsel bağlamda gerçekleştirilmiş araştırmaların önemli bir kısmı, psikoaktif bitkileri ve mantarları bilemediğimiz kadar uzun bir süre önce ilaç ve psikolojik-ruhsal araçlar olarak kullanmış geleneksel kültürlerin bildiklerini büyük ölçüde doğrular. Bu açıdan baktığımızda modern bilim aslında sadece arayı kapatmaktadır.[24]

Konvansiyonel farmakolojik müdahale standartlarına göre son zamanlarda elde edilen bulguların birçoğu olağanüstüdür. 2016'da New York Üniversitesi ve Johns Hopkins Üniversitesi'nde yapılan iki kardeş çalışmada son dönem kanser tanısı almış, kaygı, depresyon ve "varoluşsal sıkıntı"dan mustarip hastalara psikoterapiyle birlikte psilosibin uygulandı. Tek doz psilosibin uygulamasının ardından hastaların yüzde sekseninde psikolojik semptomlarda önemli bir azalma oldu ve bu durum en az altı ay sürdü. Psilosibin "moral bozukluğunu ve ümitsizliği azalttı, ruhsal durumda düzelme sağladı ve yaşam kalitesini artırdı." Katılımcılar "büyük bir neşe, mutluluk ve sevgi"nin

yanı sıra, "kopukluk duygusundan, karşılıklı bağlantılı olma duygusuna yöneldiklerini" söylemişlerdi. Katılımcıların yüzde yetmişinden fazlası yaşadıkları deneyimi hayatlarındaki en anlamlı beş tecrübe arasında saymıştı. Çalışmadaki kıdemli araştırmacılardan biri olan Roland Griffiths bir söyleşide, "Bu da ne demek oluyor, diye sorabilirsiniz," demişti. "Başlangıçta acaba bu hastaların hayatı çok mu sıkıcıydı, diye merak etmiştim. Ama öyle değildi." Katılımcılar için yaşadıkları deneyim, ilk çocuklarının doğumu ya da bir ebeveynin ölümüyle kıyaslanabilir düzeydeydi. Bu araştırmaların modern tıp tarihindeki en etkili psikiyatrik müdahaleler arasında yer aldığı düşünülüyor.[25]

İnsanların zihinlerinde ve kişiliklerinde nadiren derin değişiklikler oluşur; bu denli kısa süreli bir deneyimde böylesine önemli bir değişim olması çarpıcıdır. Gelgelelim bunlar ayrıksı bulgular değil. Bazı yeni çalışmalar psilosibinin insanların zihinlerinde, dış görünüşlerinde ve bakış açılarında dikkat çekici etkiler gösterdiğini bildiriyor. Benim de yanıtlamaya uğraştığım psikometrik anketlerin kullanıldığı birçok çalışma, psilosibinin "mistik" olarak sınıflandırılan deneyimleri güvenilir biçimde başlatabildiğini gösterdi. Bu mistik deneyimler arasında huşu ve her şeyin birbiriyle bağlantılı olduğu duygusu, zaman ve uzayda aşkınlık hissi, gerçekliğin doğasını derin bir sezgiyle kavrayış ve gönülden hissedilen sevgi, barış ve neşe yer alıyor. Bu süreçte net bir tanımı olan benlik duygusu da genellikle kayboluyor.[26]

Psilosibin insan zihni üzerinde, *Alice Harikalar Diyarında*'ki Cheshire Kedisi'nin "kendisi gittikten sonra da bir süre havada asılı kalan" sırıtışına benzer uzun süreli bir iz bırakabilmektedir. Bir çalışmada araştırmacılar, tek seferde uygulanan yüksek doz psilosibinin sağlıklı gönüllülerde yeni deneyimlere açık olma isteğini, psikolojik iyilik halini ve yaşamdan tatmin olma duygusunu güçlendirdiğini ve bu değişimin vakaların çoğunda bir yıldan uzun sürdüğünü buldular. Bazı çalışmalarda psilosibinle yaşanan deneyimlerin sigara tiryakilerinin ve alkoliklerin bağımlılıklarından kurtulmalarına yardım ettiği bildirildi. Başka araştırmalardaysa deneklerin doğal dünyayla olan bağlantı hissini kalıcı biçimde güçlendirdiği bulundu.[27]

Psilosibinle ilgili son zamanlarda yapılan bu araştırma selinden bazı fikirler çıkmaya başladı. En ilginç olanlardan biri, psilosibin çalışmalarındaki katılımcıların yaşadıkları deneyimlere nasıl anlam

verdikleriydi. Michael Pollan'ın *How to Change Your Mind* kitabında yazdığı gibi, psilosibin alanların çoğu, deneyimlerini modern biyolojinin mekanistik terimleriyle, beyinlerinde dolanan moleküllerle yorumlamaz. Tam tersine, Pollan'ın görüştüğü birçok kişi "başlangıçta katı materyalist ya da ateist iken (...) bazıları yaşadıkları 'mistik deneyimler' sonucunda bildiğimizden fazlasının, fiziksel evreni aşan 'öte' bir şeyin var olduğuna dair sarsılmaz bir inanç beslemeye başlamıştı." Bu etkiler bir bilmeceyi de beraberinde getirir. Derin mistik deneyim başlatabilen bir kimyasal, öznel dünyalarımızın altında beynimizin kimyasal etkinliğinin yattığını, ruhsal inançlar ve ilahi tecrübeler dünyasının bir maddeden, biyokimyasal bir olaydan kaynaklanabileceğini savunan hâkim bilimsel bakış açısını destekler görünmektedir. Ne var ki Pollan'ın da işaret ettiği gibi bu deneyimler, insanları –dinsel inancın özünü oluşturan– maddesel olmayan bir gerçekliğin var olduğuna ikna edecek denli güçlüdür.[28]

Ophiocordyceps ve bağırsakta yaşayan bakteriler, vücutlarında yaşadıkları hayvanların zihnini, kimyasal salgılarının ince ayarını yaparak etkiler. Psilosibin içeren mantarlardaysa durum farklıdır. Birine sentetik psilosibin enjekte ederek her türlü psikolojik-ruhsal etkiyi uyandırabilirsiniz. Bu nasıl olur?

Vücuda giren psilosibin, psilosine dönüşür. Psilosin normalde serotonin adlı nörotransmitterin uyardığı reseptörleri uyararak beynin işleyişine karışır. LSD gibi, psilosibin de en yaygın kullanılan kimyasal ulaklarımızdan birini taklit ederek sinir sistemimize nüfuz eder, vücudumuzda elektriksel sinyallerin geçişine doğrudan karışır, hatta nöronların gelişimini ve yapısını dahi değiştirebilir.[29]

Psilosibinin nöronal aktivite örüntülerini nasıl değiştirdiği ancak 2000'lerin sonunda, Beckley/Emperyal Psikedelik Araştırmalar Programı'nı yürüten araştırmacıların deneklere psilosibin verip beyin aktivitelerini izlemeleriyle anlaşıldı. Bulgular şaşırtıcıydı. Taramalar psilosibinin insan zihni ve bilişi üzerindeki çarpıcı etkileri göz önüne alındığında, beklenenin tersine, beyin aktivitesini artırmadığını gösterdi. Aksine, belli kilit alanların aktivitesini azaltıyordu.

Psilosibinin azalttığı beyin aktivitesi, varsayılan mod ağının (VMA) temelini oluşturur. Bir şeye çok fazla odaklanmadığımız

zamanlarda, zihnimiz ordan oraya gezinirken, özdüşünüm esnasında, geçmişimiz hakkında düşünür ya da gelecek hakkında planlar yaparken VMA'mız aktiftir. Araştırmacılar VMA'yı beynin "başkenti" ya da "şirket yöneticisi" olarak tanımlar. Beyindeki süreçlerin kargaşasında VMA, kaotik bir sınıftaki öğretmen misali düzeni sağlar.

Çalışma, psilosibin alan denekler arasında VMA aktivitesi en belirgin biçimde azalan kişilerin "ego çözülmesi" ya da "benlik kaybı"nı en güçlü biçimde hissettiğini ifade edenler olduğunu gösterdi. VMA'yı kapatınca beyin zincirlerinden kurtulur. Beynin bağlantısallığı patlama yapar ve yeni nöron yolakları ortaya çıkar. Daha önce uzak olan aktivite ağları birbirine bağlanır. Aldous Huxley'nin psikedelik deneyimi incelediği ufuk açıcı kitabı *Algı Kapıları*'nda kullandığı metaforla söyleyecek olursak psilosibin, bilincimizdeki "kısma vanası"nı kapatır. Sonuç? "Kısıtlanmamış biliş tarzı." Yazarlar psilosibinin insan zihnini değiştirme yetisinin beynin akış halinde olmasıyla ilişkili olduğu sonucuna varmışlardı.[30]

Beyin görüntüleme çalışmaları, psikedeliklerin vücudumuzda nasıl etki gösterdiğine dair önemli bir açıklama getirse de katılımcıların duygularını açıklamada pek işe yaramaz. Sonuçta deneyimi yaşayan, beyin değil, insandır. Ve psilosibinin tedavi edici etkilerinin altında görünüşe göre insanın yaşadığı deneyimler yatmaktadır. Psilosibinin son dönem kanser hastalarındaki etkilerini ölçen çalışmalarda, depresyon ve kaygı belirtilerinin en belirgin biçimde azaldığı kişiler, aynı zamanda en güçlü mistik deneyimleri yaşayanlardı. Tütün bağımlılığı ve psilosibinle ilgili bir çalışmada en iyi sonuç alınan hastalar benzer şekilde en güçlü mistik deneyimi yaşayanlar olmuştu. Anlaşılan psilosibin bir dizi biyokimyasal düğmeye basarak değil, hastaların zihinlerini hayatları ve davranışları hakkında yeni düşünme biçimlerine açarak etki gösteriyor.

Bu bulgu, yirminci yüzyılın ortalarında, modern psikedelik araştırmaların ilk dalgası sırasında yapılan LSD ve psilosibinle ilgili araştırmaların büyük bölümünü yansıtıyor. 1950'lerde LSD'nin etkileri üzerinde çalışan Kanadalı psikiyatrist ve araştırmacı Abram Hoffer "tedavide kilit nokta olarak başından beri kimyasala değil, deneyime odaklandık"larına dikkat çekiyordu. Sağduyunun da böyle yapmayı gerektirdiğini düşünebilirsiniz ama zamanın mekanistik tıp anlayışına

göre bu, radikal bir görüştü. Alışılageldik yaklaşım, alet edevat kullanarak bir makineyi tamir edercesine, vücudu meydana getiren *şeyleri* de ilaç ya da cerrahi aletler gibi *şeyler* kullanarak tedavi etmekti ki bu yaklaşım geçerliliğini hâlâ büyük ölçüde koruyor. İlaçlar normalde bilinçli zihni tamamen devre dışı bırakan farmakolojik bir yolla etki gösterir: İlaç bir reseptörü etkileyerek belirtilerde bir değişiklik oluşturur.[31] Psilosibinse –LSD ve diğer psikedelikler gibi– tersine, ruh hastalıklarının belirtilerini *zihin yoluyla* etkiler görünüyor. Böyle olunca standart devre genişliyor: İlacın reseptörü etkilemesiyle zihinsel bir değişim başlıyor ve bu da belirtilerde değişikliğe neden oluyor. Görünüşe göre hastaları şifaya kavuşturan, yaşadıkları psikedelik deneyimlerin kendisidir.

Johns Hopkins Üniversitesi'nden psikiyatrist ve araştırmacı Matthew Johnson'ın ifadesiyle psilosibin gibi psikedelikler "insanı tokatlayıp kendine getirir. Bu, kelimenin tam anlamıyla sistemi yeniden başlatır (...) Psikedelikler, gerçekliği düzenlemek için kullandığımız zihinsel modelleri bırakabilmemizi sağlayan yeni bir zihinsel esneklik penceresi açar." Madde bağımlılığına ya da birike birike depresyonun "katı kötümserliği"ne yol açan yerleşmiş alışkanlıkları daha kolay kırılabilir hale getirir. Psilosibin ve diğer psikedelikler insan deneyimini düzenleyen kategorileri yumuşatarak yeni bilişsel olasılıklara kapı açabilir.[32]

En güçlü zihinsel modellerimizden biri, *benlik* algımızdır. Psilosibin ve diğer psikedelikler göründüğü kadarıyla tam da bu benlik algısını bozuyor. Kimileri bunu ego çözülmesi olarak adlandırıyor. Kimileriyse kendi bedenlerinin nerede bitip etrafındakilerin nerede başladığını ayırt edemediğini söylüyor. İnsanların pek çok şey açısından bağımlı olduğu "ben" tamamen silinebilir ya da belirsizleşerek yavaş yavaş başka olanın içinde erir gider. Bunun sonucunda kişi kendinden daha büyük bir şeyle birleşip kaynaştığını hisseder ve dünyayla olan ilişkisini yeniden tasavvur eder.[33] Likenlerden tutun, miselyumun sınırları esneten davranışlarına kadar mantarlar köhnemiş kimlik ve bireysellik kavramlarımıza meydan okuyor. LSD gibi psilosibin üreten mantarlar da bunu yapar ama onlar olabilecek en mahrem yolu, zihnimizi kullanır.

Ophiocordyceps örneğinde, enfekte olmuş bir karıncanın davranışı, mantarın davranışı olarak düşünülebilir. Ölüm ısırığı ve zirve hastalığı mantarın genişletilmiş özellikleri, genişletilmiş fenotipinin parçasıdır. İnsan bilincinde ve davranışında psilosibin içeren mantarların neden olduğu değişiklikler de mantarın genişletilmiş fenotipinin parçası olarak düşünülebilir mi? *Ophiocordyceps*'in genişletilmiş davranışı, yaprakların alt yüzeyinde fosilleşmiş yaralar şeklinde dünyaya iz bırakır. Psilosibin içeren mantarların genişletilmiş davranışının törenler, ritüeller, ilahiler ve yaşadığımız değişik bilinç durumlarının diğer kültürel ve teknolojik uzantıları şeklinde dünyaya bıraktıkları iz olduğunu düşünebilir miyiz? Böcek bedenlerini giyen *Ophiocordyceps* ve *Massospora* gibi, psilosibin içeren mantarlar da zihnimizi giyebilir mi?

Terence McKenna bu görüşün önde gelen savùnucularından biriydi. Yeterince yüksek doz alırsanız mantarın, sade ve açık bir dille "zihnin serin gecesinde kendini belagatle" anlatabileceğini iddia ediyordu. Mantarların dünyayı idare edecek elleri yoktur ama düşünmek ve konuşmak için kimyasal bir ulak olan psilosibin aracılığıyla bir insanın vücudunu ödünç alıp beynini ve duyularını kullanabilirler. McKenna mantarların zihnimizi kuşanabileceğini, duyularımızı ele geçirebileceğini ve en önemlisi dışarıdaki dünya hakkında bize bilgi aktarabileceğini düşünüyordu. Yapabildikleri diğer şeylerin yanı sıra mantarların psilosibini, tahripkâr alışkanlıklara sahip insan türünü etkileyerek bu huyundan vazgeçirmek için kullanabildiklerine inanıyordu. McKenna'ya göre bu simbiyotik ortaklık, insanların ya da mantarların tek başına ulaşabileceğinden "daha zengin, hatta daha şatafatlı" olasılıklar sunuyordu.[34]

Dawkins'in hatırlattığı gibi, ne kadar ileri gitmek istediğimiz, spekülasyon yapmaya ne kadar istekli olduğumuza bağlıdır. Nasıl spekülasyon yaptığımızsa ne tür yanlılıklarımız olduğuna bağlıdır. Filozof Alfred North Whitehead, eski öğrencisi Bertrand Russell'a bir keresinde, "Dünyanın, hava günlük güneşlikken, öğle vakti nasıl görünüyorsa öyle olduğunu düşünüyorsun," demişti, "oysa ben sabah erken kalkmış uyku mahmuru birine göründüğü gibi olduğunu düşünüyorum." Whitehead'in sözleriyle ifade edecek olursak, Dawkins hava günlük güneşlikken, öğle vakti spekülasyon yapar. Genişletilmiş

fenotiple ilgili spekülasyonunun "disiplin altında" ve "kesin sınırlı" kalması için kılı kırk yarar. Fenotiplerin bedenin dışına uzanabildiğini ama *fazla* uzanamayacağını açıkça belirtir. McKenna ise tersine şafak vakti spekülasyon yapar. İleri sürdüğü koşullar daha esnek, açıklamalarının sınırları daha gevşektir. Bu iki kutup arasında engin bir fikirler denizi uzanır.[35]

Psilosibin içeren mantarlar, Dawkins'in üç "katı koşul"una nasıl göğüs gerer?

Bir mantarın psilosibin üretme yetisi elbette kalıtsaldır. Ayrıca bu yeti mantar türleri ve tek tek mantarlar arasında değişkenlik gösterir. Ne var ki yarattıkları zihinsel durumun –hayaller, mistik deneyimler, ego çözülmesi, benlik algısı yitimi– genişletilmiş fenotipin parçası olarak kabul edilmesi için bu mantarlar son kritik koşulu da karşılamalıdır. Zihinsel değişiklikleri "daha iyi" yönetebilen mantarlar genlerini aktarmada daha başarılı olmalıdır. Mantarların insanları etkileme becerileri birbirinden farklı olmalı, en dolu ve fazla arzulanan deneyimleri yaşatanlar, diğerlerine göre bundan daha çok fayda sağlamalıdır.

İlk bakışta, bu meseleyi bir karara bağlayacak olan koşul üçüncüsü gibi görünüyor. Psilosibin üreten mantarlar insan davranışını etkileyebilir ama *Ophiocordyceps*'ten farklı olarak bu mantarlar vücudumuzda yaşamaz. Dahası McKenna'nın spekülasyonunu, insanların psilosibinin hikâyesine çok sonradan dahil olduğu gerçeğiyle bağdaştırmak zor. Psilosibin *Homo* cinsi evrilmeden milyonlarca yıl önce de mantarlar tarafından üretiliyordu. En güncel tahminlere göre ilk "sihirli" mantarın kökeni yaklaşık yetmiş beş milyon yıl öncesine dayanıyor. Psilosibin üreten mantarlar, evrimsel tarihlerinin yüzde doksanından fazlasını insansız bir gezegende geçirmiş ve gayet iyi idare etmişlerdi. Mantarlar zihnimizde yarattıkları değişimlerden gerçekten de fayda sağlıyor olsalar bile bunu çok uzun bir süredir yapıyor olamazlar.[36]

O halde psilosibin, bu maddeyi üretme becerisi geliştiren mantarlar için ne *yaptı*? Mantarlar niye en başında bu kimyasalı üretme zahmetine girdiler? Mikologlar ve sihirli mantar meraklıları yıllardır bu soru üzerine kafa yoruyorlar.

Psilosibinin, insanlar ortaya çıkana kadar mantarlar için fazla bir şey yapmamış olması mümkün. Mantarlarda ve bitkilerdeki

biyokimyasal yolaklarda, durgun sularda biriken ve tesadüfi metabolik yan ürünler olarak ancak figüran rolü oynayabilen böyle bir yığın bileşik bulunur. Bu "ikincil bileşikler" bazen bir hayvanı cezbeder, şaşırtır ya da öldürür ve o noktada mantara yarar sağlamaya başladığı için evrimsel bir adaptasyon haline gelir. Ne var ki bu bileşikler bazen biyokimyasal bir tema üzerine, günün birinde bir ihtimal işe yarayabilecek çeşitlemeler oluşturmaktan fazlasını yapmaz.

2018'de yayımlanan iki çalışma psilosibinin, bu maddeyi üreten mantarlara gerçekten de bir faydası olduğunu düşündürüyor. Psilosibin üreten mantar türlerinde yapılan DNA analizi, psilosibin üretme yetisinin evrim sürecinde bir kereden fazla ortaya çıktığını gösteriyor. Psilosibin üretmek için gereken gen kümesinin, geçmişte yatay gen aktarımıyla mantar soyları arasında defalarca sıçramış olduğunun bulunması daha da şaşırtıcı. Daha önce gördüğümüz gibi, yatay gen aktarımı, genlerin ve şifreledikleri özelliklerin, cinsellik ve yavru üretimi gerektirmeksizin organizmalar arasında geçişini sağlayan bir süreçtir. Yatay gen aktarımı, antibiyotik direncinin bakteri topluluklarında hızla yayılabilmesini sağlayan ve her gün görülebilen sıradan bir olay olmasına karşılık, sporokarp oluşturan mantarlarda nadirdir. Karmaşık metabolik gen kümelerinin türler arasında sıçrarken bütünlüğünü koruması daha da nadir görülür. Psilosibin gen kümesinin oradan oraya geçerken tek parça halinde kalmış olması, bu geni ifade eden mantar hangisi olursa olsun ona önemli bir avantaj kazandırdığını düşündürür. Öyle olmasaydı özellik çabucak dejenere olurdu.[37]

Peki ama bu avantaj ne olabilir? Psilosibin gen kümesi çürüyen odunda ve hayvan gübresinde benzer yaşam süren mantar türleri arasında sıçradı. Bu habitatlar aynı zamanda mantarlarla "beslenen ya da rekabet eden" ve psilosibinin güçlü nörolojik aktivitesine karşı hassas olan pek çok böceğin yuvasıdır. Psilosibinin evrimsel değeri belki de hayvan davranışlarını etkileyebilmesinden kaynaklanıyordur. Ama bunun tam olarak nasıl gerçekleştiğini bilmiyoruz. Mantarlarla böceklerin ortak geçmişi uzun ve karmaşıktır. *Ophiocordyceps* ya da *Massospora* gibi bazı mantarlar öldürür. Bazı mantarlar, örneğin yaprak kesen karıncalar ve termitlerle birlikte yaşayanlarsa evrimin uçsuz bucaksız yollarında hayvanlarla işbirliği yapar. Öyle ya da böyle mantarlar böcek davranışını değiştiren kimyasallar kullanır. *Massospora*

daha da ileri giderek amacına ulaşmak için psilosibinden faydalanır. Psilosibinin nasıl etki gösterdiği konusunda farklı görüşler var. Bu maddenin organizmalar üzerindeki etkilerini, hiç değilse deneyimleri hakkında konuşabilen ve psikometrik anketleri yanıtlayabilen insanlarda dahi izlemek kolay değil. Psilosibinin bir böceğin zihninde ne tür etkiler oluşturabileceğini bulma şansımız nedir? Bu konuda yapılan hayvan çalışmalarının çok az olması, durumu daha da içinden çıkılmaz hale getirir.[38]

Mantarlar psilosibini kendilerine zarar veren böcekleri sersemletip amaçlarından caydırmak için kullanıyor olabilir mi? Gerçekten öyleyse bile bu yöntem çok etkili görünmüyor. Zira birçok tatarcık ve sinek türü sihirli mantarların içine yuvalanır. Salyangozlar ve sümüklüböcekler, görünürde herhangi bir kötü etkisi olmayan bu mantarları siler süpürür. Yaprak kesen karıncalarsa psilosibin içeren belli bir mantarı türünü toplayıp tek parça halinde yuvalarına taşırlar. Bu bulgular doğrultusunda, psilosibinin caydırıcı olmaktan çok, böcek davranışlarını mantarın lehine değiştiren bir tuzak olabileceğini düşünenler de var.[39]

Sorunun yanıtı muhtemelen bu iki olasılığın arasında bir yerde gizli. Bazı hayvanlar için zehirli olan psilosibin içeren mantarlar, direnç geliştirenler için lezzetli bir öğün olabilir. Örneğin bazı sinek türleri köygöçüren mantarının ürettiği zehirlere dirençli olduklarından mantara erişim açısından neredeyse ayrıcalıklıdır. Psilosibine dayanıklı böcekler, sporlarını yayarak ya da onu diğer zararlılardan koruyarak mantara yardım ediyor olabilir mi? Bir kez daha spekülasyonlarla baş başa kalıyoruz.

İLK BİRKAÇ MİLYON YIL boyunca mantarların çıkarlarına nasıl hizmet ettiğini bilemesek de bugün bulunduğumuz noktadan baktığımızda psilosibinin insan zihniyle olan etkileşiminin, bu kimyasalı üreten mantarların evrimsel talihini değiştirdiği açık. Psilosibin üreten mantarlar insanlarla kolayca ilişki kurar. Bir insanın doz aşımına uğraması için ortalama etki gösteren dozun binlerce katını alması gerektiğinden, psilosibin itici gelmek şöyle dursun, bu mantarları aramamıza, oradan oraya taşımamıza ve mantar yetiştirme yöntemleri geliştirmemize neden oldu. Bütün bunları yaparken mantarların havada uzak mesafeler

katedebilecek denli hafif, sayısız spor saçmasına yardımcı olduk. Herhangi bir yüzeyde sadece birkaç saatliğine bırakılan tek bir mantar geride kalın, siyah bir iz oluşturmaya yetecek kadar çok spor bırakır. Bir zamanlar zararlıları şaşkına çevirip mantara zarar vermekten alıkoyan bir kimyasal, yolu yeni bir hayvan türüyle kesişince birkaç kıvrak manevra sayesinde pırıltılı bir tuzağa dönüşmüştür. Sihirli mantarların yirminci yüzyılda, yirmi-otuz yıl içinde belirsizlikten uluslararası bir yıldız mertebesine yükselişi, insanlarla mantarlar arasındaki ilişkilerin uzun geçmişinde rastladığımız en çarpıcı hikâyelerden biridir.[40]

İspanyol rahiplerin "tanrıların eti"yle ilgili on beşinci yüzyıldan kalma anlatıları, 1930'larda Harvardlı botanikçi Richard Evans Schultes'un ilgisini çekmişti. O güne kadar gelebilen az sayıda kaynaktan, Orta Amerika'nın bazı kesimlerinde psilosibin içeren mantarların kültürel ve ruhani çekim merkezi haline geldiği açıkça anlaşılıyordu. İlahların ellerine kadar ulaşmanın yolunu bulan bu mantarların insanlar tarafından tüketimi, önemli rol üstlendikleri ilahi güç kavramını da beslemişti.

Bu mantarlar o günün Meksika'sında da yetişiyor olabilir miydi? Schultes Meksikalı bir botanikçiden aldığı gizli bilgi üzerine 1938'de kuzeydoğu Oaxaca'nın uzak vadilerine doğru yola çıktı. (Aynı yıl Albert Hofmann, İsviçre'deki bir ilaç laboratuvarında ergot mantarlarından LSD'yi izole etmişti.) Schultes, Mazatek halkının iyi ve sağlıklı olmak için mantar kullandığını gördü. *Curandero* denen şifacılar, hastaları iyileştirmek, kayıp eşyaları bulmak ve tavsiyelerde bulunmak için düzenli olarak mantar ayinleri yapıyorlardı. Civar köylerin meralarında mantarlar yaygındı. Schultes örnekler topladı ve bulgularını yayımladı. Bu mantarları yiyenlerin "pürneşe olduklarını, ipe sapa gelmez şeyler söylediklerini ve (...) parlak renklerde muhteşem hayaller gördüklerini" yazmıştı.[41]

Amatör bir mikolog ve J. P. Morgan bankasının genel müdür yardımcısı olan Gordon Wasson 1952'de şair ve âlim Robert Graves'den, Schultes'un raporundan bahseden bir mektup aldı. Graves'in "tanrıların eti"nin zihin değiştirici etkileriyle ilgili yazdıklarından çok etkilenen Wasson, mantarları aramak için Oaxaca'ya gitti. Wasson orada María Sabina adlı *curandera*'yla tanıştı. Sabina onu bir mantar ayinine davet etti. Wasson bu ayini "derin iz bırakan" bir tecrübe olarak

tanımlar. Yaşadığı deneyimi 1957'de *Life* dergisine anlattı. Makalenin başlığı "Sihirli Mantarı Ararken: New Yorklu Bankacı, Hayaller Gördüren Garip Sürgünleri Çiğneyen Yerlilerin Asırlık Ritüellerine Katılmak için Meksika Dağları'na Gitti" idi.[42]

Wasson'ın milyonlarca kişi tarafından okunan makalesi büyük yankı uyandırdı. O dönemde LSD'nin zihin değiştirici etkileri yaklaşık on dört yıldır biliniyor, aktif bir araştırmacı grubu bu etkileri inceleyen çalışmalar yürütüyordu. Buna rağmen, zihin değiştirici psikedelik bir maddeyle ilgili halka ulaşabilen ilk hikâye Wasson'ınki olmuştu. "Sihirli mantarlar" neredeyse bir gecede herkesin bildiği bir terim haline geldi. Dennis McKenna otobiyografisinde, o zamanlar on yaşında bir ergen olan ağabeyi Terence'la ilgili şöyle yazmıştı: "Ev işi yapan annemizin kuyruğundan ayrılmıyor, dergiyi elinde sallayarak daha fazlasını öğrenmek istiyordu. Ama annemin ekleyeceği bir şey yoktu tabii."[43]

Sonrası çorap söküğü gibi geldi. Wasson'ın keşif ekibinden biri Hofmann'a sihirli mantarlardan örnek gönderdi. Hofmann kısa sürede aktif bileşeni tanımladı, sentezledi ve adlandırdı: psilosibin. 1960'larda Harvard Üniversitesi'nden saygın akademisyen Timothy Leary bir arkadaşından duyduğu sihirli mantarları denemek için Meksika'ya gitti. "Hayaller âlemine bir yolculuk" olarak tanımladığı deneyimi onu derinden etkilemişti, döndüğünde "farklı bir adam"dı. Harvard'a döndükten sonra yürüttüğü araştırma programını bıraktı ve mantarlarla yaşadığı tecrübeden ilham alarak Harvard Psilosibin Projesi'ni hazırladı. Yaşadığı geçiş deneyimi hakkında şöyle yazmıştı: "Meksika'da bir bahçede yedi mantar yediğimden beri bütün zamanımı ve enerjimi bu garip ve derin âlemleri araştırmaya ve tarif etmeye vakfettim."[44]

Leary'nin yöntemleri tartışmalıydı. Harvard'dan ayrıldı ve psikedelikleri kullanmanın kültürel devrimi ve ruhani aydınlanmayı mümkün kılabileceği görüşünü canla başla yaymaya başladıktan kısa bir süre sonra adı çıktı. Televizyon ve radyo programlarında LSD ve faydaları hakkında vaaz veriyordu. *Playboy*'da yayımlanan bir röportajda kadınların ortalama bir asit tecrübesinde bin kez orgazm olabileceğini söyledi. Kaliforniya eyalet valiliği için Ronald Reagan'a rakip oldu ve kaybetti. 1960'ların karşıt kültür hareketi kısmen Leary'nin

kendi inancını yayma çabasının etkisiyle ivme kazandı. Psikedelik hareketin "Başrahibi" haline gelen Leary 1967'de San Francisco'da düzenlenen Human Be-In etkinliğine katılan on binlerce kişiye seslendi. Kısa bir süre sonra hareketin ters tepmesiyle yaşanan skandallar kargaşasında LSD ve psilosibin kullanımı yasadışı ilan edildi. Psikedeliklerin etkilerini inceleyen araştırmaların hemen hepsi 1960'ların sonunda ya iptal edildi ya da yeraltına çekildi.[45]

PSİLOSİBİN VE LSD kullanmanın yasaklanması psilosibin içeren mantarların evrim tarihinde yeni bir çağın başlangıcı oldu. 1950'li ve 60'lı yıllarda yapılan psikedelik araştırmaların çoğunda LSD ya da sentetik psilosibin hap şeklinde kullanılmıştı ve bu hapların büyük bölümü İsviçre'de Hofmann tarafından üretiliyordu. Fakat 1970'lerin ortasına gelindiğinde psilosibin içeren mantar türlerinin ABD'den Avustralya'ya dünyanın birçok yerinde yetiştiği bulundu. Ne var ki yabani mantar miktarı mevsim koşullarıyla ve bulunduğu yerle sınırlıdır. Terence ve Dennis McKenna 1970'lerin başında Kolombiya'dan döndükten sonra daha istikrarlı bir kaynak aramaya başladılar. Çözümleri radikaldi. 1976'da McKenna kardeşler *Psilosibin: Sihirli Mantar Yetiştiricisinin Kılavuzu* adlı kısa bir kitap yayımladılar. Bu incecik kitap sayesinde kavanoz ve düdüklü tencereden başka bir şeye ihtiyaç duymaksızın isteyen herkesin bahçesindeki bir barakada sınırsız miktarda güçlü psikedelik üretebileceğini söylüyorlardı. Süreç reçel yapmaktan birazcık daha karmaşıktı ve bir acemi bile çok geçmeden kendini, Terence'ın ifadesiyle, "boğazına kadar simyanın altınına batmış" bulabilirdi.[46]

Psilosibin içeren mantarları ilk yetiştirenler McKenna kardeşler değildi ama uzman laboratuvar donanımı olmaksızın çok miktarda mantar yetiştirmek için güvenilir bir yöntemi ilk kez onlar yayımladı. Kılavuz kısa sürede büyük başarı kazandı ve beş yılda yüz binden fazla sattı. İnsanları kendi imkânları doğrultusunda mantar bilimiyle uğraşmaya davet eden yeni bir akım başlattı. Ayrıca psilosibin içeren dört yeni mantar bulmuş, psilosibin içeren mantarlarda tür tanımlamasıyla ilgili bir kılavuz kitap yazmış genç bir mikolog olan Paul Stamets'ı etkiledi.

Stamets o sırada "gurme ve tıbbi" mantarlar yetiştirmenin yeni yolları üzerinde çalışıyordu ve 1983'te mantar yetiştirme tekniklerini

daha da basitleştiren *The Mushroom Cultivator* adlı kitabını yayımladı. 1990'larda sihirli mantar yetiştiricilerinin katıldığı çevrimiçi forumlar çoğaldıkça Hollandalı girişimciler, psilosibin içeren mantarların satışına olanak veren yasal bir açık olduğunu fark ettiler ve besin olarak mantar yetiştiren Hollandalı üreticilerin birçoğu psikedelik mantar üretmeye başladı. Bu çılgınlık 2000'lerin başında İngiltere'ye sıçradı, Londra'nın anacaddelerinde kasalar dolusu psilosibin içeren taze mantar satılıyordu. 2004'te Camden Mantar Şirketi tek başına *haftada* yüzlerce kilo taze mantar alıyordu ki bu miktar, yaklaşık yirmi beş bin kere kafayı bulmak için yeterliydi. Psilosibin içeren taze mantar satışı kısa süre sonra yasaklandı ama cin bir kez lambadan çıkmıştı. Günümüzde sadece su eklenerek mantar yetiştirmeye elverişli hazır kitler internette satılıyor. Mantar suşları arasında yapılan çaprazlamalarla, "Altın Hoca"dan "Mc Kennai"ye, etkileri açısından birbirlerinden ufak tefek farklılıklar gösteren yeni çeşitler üretiliyor.[47]

İnsanlar psilosibin içeren mantarları aramaya başladığından –ve böylece sporlarının saçılması için hevesli aracılara dönüştüğünden– beri mantarlar bilincimizi kurcalama becerilerinden fayda sağlıyor. Üstelik 1930'lardan bu yana elde ettikleri fayda katbekat arttı. Wasson'ın Meksika'ya seyahatinden önce, Orta Amerika'daki yerli halklar dışında pek az kişi psilosibin içeren mantarların varlığından haberdardı. Buna rağmen mantarların Kuzey Amerika'ya ulaşmasının ardından yirmi yıl içinde yeni bir evcilleştirme hikâyesi başladı. Ilıman iklimlerde yaşaması mümkün olmayan bir avuç tropikal mantar türü mutfak dolaplarında, yatak odalarında ve ardiyelerde hayat buluyordu.[48]

Dahası, Schultes'un ilk makalesi 1930'ların sonlarında yayımlandıktan sonra psilosibin üreten iki yüzü aşkın yeni mantar tanımlanmıştı ve bunlar arasında Ekvador yağmur ormanlarında yetişen, psilosibin üreten bir liken de vardı. Anlaşılan bu mantarlar yeterince yağış alan hemen her yerde yetişiyordu. Bir araştırmacının ifadesiyle psilosibin içeren mantarlar "mikologların çok olduğu yerde bol bulunur." Kılavuz kitaplar insanların, yirmi otuz yıl önce olsaydı dikkatlerini bile çekmeyecek psilosibin içeren mantarları bulup tanımlamalarını, toplamalarını –ve yaymalarını– mümkün kılar. Görünüşe göre bazı türler bozulmuş habitatlara özellikle ilgi duymakta ve yarattığımız kargaşanın içinde kendilerine kolayca yer edinmektedir. Stamets şaka yollu

bu mantarların birçoğunun "parklar, toplu konutlar, okullar, kiliseler, golf sahaları, sanayi siteleri, fidanlıklar, bahçeler, çevreyolları üzerindeki dinlenme tesisleri ve mahkemeler, cezaevleri ve diğer devlet kurumları" gibi kamusal alanlara ilgisi olduğunu söylüyor.[49]

SON ZAMANLARDA kaydedilen gelişmeler bizi Dawkins'in üçüncü kıstasına yaklaştırır mı? Bu mantarların insandan, düşünmek için beynini, tecrübe etmek için bilincini ödünç aldığını düşünebilir miyiz? Mantarların etkisi altındaki bir insan, *Ophiocordyceps*'in etkisi altındaki karıncalar gibi gerçekten de tesir altında mıdır?

Zihnimizdeki değişimleri mantarların genişletilmiş fenotipi olarak kabul edebilmemiz için mantarın etkilediği insanın, yediği mantarların üremesine hizmet etmesi gerekir. Ama öyleymiş gibi görünmüyor. Pek az tür insanlar tarafından yetiştirilir ve hangi suşların üretileceği kararı, büyük ölçüde en kolay yetişen ve en fazla verim alınan mantarlar lehine verilir. Bu durumda zihin değiştirici gücü "daha iyi" olan mantarların "daha kötü" olanlara tercih edilip edilmediği açık değil. Ayrıca bütün insanlar bir anda yok oluverseydi psilosibin içeren mantar türlerinin çoğunun hayatına sorunsuz devam edecek olması, sorunu daha da çetrefilli hale getiriyor. *Ophiocordyceps*'in yaşamı tamamen karıncaların davranış değişikliklerine bağlı olsa da psilosibin üreten mantarların yaşamı bütünüyle bizde yarattığı zihinsel değişikliklere bağlı değil. Milyonlarca yıl boyunca insanlar olmaksızın gelişmiş ve üremiş olan bu mantarlar muhtemelen yaşamlarına aynı şekilde devam edecektir.

Bunun gerçekten bir önemi var mı? Schultes ve Hofmann 1992'de şöyle yazmıştı: "Psilosibin ve psilosinin izolasyonundan (...) sonra Meksika mantarlarının sihrini yitirdiği düşünülebilir." Psilosibin üreten mantarların evcilleştirilmesiyle Amsterdam'daki depolarda yüzlerce kilo mantar yetiştirilebilir. Psilosibinin izolasyonuyla varsayılan mod ağı istendiğinde beyin taramaları sırasında etkisiz hale getirilebilir. Mistik deneyimler, huşu duygusu ve benlik algısı yitimi hastane ortamında tetiklenebilir. Bu ilerlemeler bizi, psilosibinin insan zihnini nasıl etkilediğini anlamaya ne kadar yaklaştırır?

Schultes ve Hofmann'a göre "pek fazla değil." Mistik deneyimler tanım itibariyle rasyonel açıklamalara dirençlidir. Psikometrik

anketlerdeki sayısal ölçeklere kolay kolay uymazlar. Kafa karıştırır, insanı derinden etkilerler. Ve yaşandıklarına dair en ufak bir şüphe yoktur. Schultes ve Hofmann'ın gözlemlerine göre psilosibin ve psilosinin kimliğini ve yapısını irdeleyen bilimsel araştırmalar "mantarların sihirli özelliklerinin, kristal yapısındaki bu iki bileşiğin özellikleri olduğunu göstermiştir." Bu bulgu, sorunun yanıtlanmasını ertelemekten öteye gitmez. "Mantarların kendileri kadar insan zihni üstündeki etkileri de her zaman olduğu gibi açıklanabilir olmaktan uzak ve sihirlidir."[50]

Psilosibin içeren mantarların etkileri tam anlamıyla genişletilmiş fenotip sayılmayabilir ama bu, Terence McKenna'nın spekülasyonunun ciddiye alınmaması gerektiği anlamına mı gelir? Belki de fazla aceleci davranmamalıyız. Filozof ve psikolog William James 1902'de şöyle diyordu: "Normal uyanık bilincimiz özel bir bilinçlilik halidir fakat ondan incecik bir zarla ayrılmış, tamamen farklı, başka başka bilinç biçimleri de var." Çok da iyi anlaşılmamış sebeplerden ötürü bazı mantarlar insanları tanıdık hikâyelerin dışına çıkarıp bambaşka bilinç halleri uyandırır ve yeni soruların eşiğine getirir. James "Bu diğer bilinç biçimlerini göz ardı eden hiçbir açıklama, evreni kendi bütünlüğü içinde ele alan nihai açıklama olamaz" sonucuna varmıştı.[51]

İster bir araştırmacı olsun ister bir hasta ya da sadece konuya ilgi duyan biri, mantarlardaki bu kimyasalların merak uyandırıcı tarafı, yaşattıkları *deneyimlerdir*. McKenna'nın mantarlardan beslenen spekülasyonu, zihinsel ve biyolojik olasılığın sınırlarını esnetebilir. Ama zaten mesele de bu: Psilosibinin insan zihni üzerindeki etkileri, olası görünenin sınırlarını esnetir. Mazatek kültüründe mantarların konuştuğu apaçıktır; mantar yiyen herkes bunu kendi deneyimleyebilir. Mazatek halkının bu bakış açısı, ritüellerinde entojen bitkileri ya da mantarları kullanan birçok geleneksel kültürünkiyle ortaktır. Aynı bakış açısı, günümüzde geleneksel olmayan koşullarda mantar kullananlarda da yaygındır; kullanıcıların birçoğu "kendi" ile "öteki" arasındaki sınırların inceldiğini ve diğer organizmalarla bir "kaynaşma" yaşadığını dile getirir.

Dünya günlük güneşlik bir havada öğle vakti göründüğü gibi midir? Yoksa gün doğarken uyandığımızda göründüğü gibi mi? Herkesin hemfikir olabileceği bazı şeyler vardır belki. Mantarlar

insanlar aracılığıyla konuşuyor ve duyularımızı kullanıyor olsa da olmasa da psilosibin içeren mantarların düşüncelerimiz ve inançlarımız üzerindeki etkisi yeterince gerçek. Bir mantar zihnimizi kuşanıp bilincimizde keyifle cirit atabilseydi neler görürdük? Mantarlar üzerine yazılmış şarkılar, mantar heykelleri, mantar resimleri, mantarların başrolü üstlendiği mitler ve hikâyeler, mantar bayramlarına ait merasimler, evde kendi kendine mantar yetiştirmenin yeni yollarını geliştiren küresel bir mikologlar topluluğu, geniş kitlelere mantarların dünyayı kurtarabileceğini vazeden Paul Stamets gibi mantar vaizlerini. Ve mantarlar adına İngilizce konuşabildiğini iddia eden Terence McKenna gibilerini.



Psilocybe semilanceata, "özgürlük şapkası"

5
Köklerden Önce

Asla kurtulamazsın benden
Bir ağaç yapacak benden

Sakın veda etme bana
Gökyüzünü anlat bana[1]

—Tom Waits/Kathleen Brennan

Yaklaşık altı yüz milyon yıl önce yeşil algler sığ tatlı sulardan karaya çıkmaya başladı. Onlar bütün karasal bitkilerin atalarıydı. Bitkilerin gezegeni ve atmosferini değiştiren evrimi, yaşam tarihindeki çok önemli dönüşümlerden biri, biyolojik olasılıklar içinde büyük bir atılımdı. Günümüzde bitkiler Dünya üzerindeki biyokütlenin yüzde seksenini ve neredeyse bütün karasal organizmaları destekleyen besin zincirlerinin temelini oluşturur.[2]

Bitkilerden önce karalar çorak ve ıssızdı. Koşullar uç noktalardaydı. Sıcaklık büyük dalgalanmalar gösteriyordu; araziler kayalık ve tozluydu. Toprak diyebileceğimiz bir şey yoktu. Besin elementleri sert kayaların ve minerallerin içinde hapsolmuştu; iklim kuruydu. Ancak karaların yaşamdan hepten mahrum olduğu söylenemezdi. Fotosentetik bakteriler, ekstremofil algler ve mantarlardan oluşmuş biyolojik tabakalar açık havada hayata tutunabiliyordu. Fakat çetin koşullardan ötürü Dünya üzerinde yaşam ağırlıklı olarak suculdu. Ilık, sığ denizler ve lagünlerde algler ve hayvanlar yaşıyordu. Birkaç metre uzunluğunda deniz akrepleri okyanus tabanında dolaşıyordu. Trilobitler

küreğe benzer burunlarıyla siltli deniz tabanını sürüyorlardı. Mercanlar resif oluşturmaya başlamıştı. Yumuşakçalar serpiliyordu.[3]

Koşulların nispeten elverişsiz olmasına rağmen karalar bu koşullara dayanabilecek fotosentetik organizmalara önemli fırsatlar sunuyordu. Karada ışık suyun süzgecinden geçmiyordu ve karbondioksite erişim daha kolaydı; bunlar ışık ve karbondioksitle beslenerek hayatını sürdüren canlılar için hiç de yabana atılacak fırsatlar değildir. Fakat karasal bitkilerin alg atalarının ne kökleri vardı ne su depolayacak ya da taşıyacak yapıları ne de sert zeminden besin elementlerini çekip alma tecrübeleri. Kupkuru karaya bu zorlu geçişi yapmayı nasıl başarabilmişlerdi?

İş köken hikâyelerini birleştirmeye geldiğinde akademisyenler arasında görüş birliği yakalamak zordur. Genellikle pek az delil vardır ve olanlar da farklı bakış açılarını destekleyecek şekilde farklı yönlere çekilebilir. Her şeye rağmen yaşam tarihinin ilk dönemleriyle ilgili için için yanan tartışmalar arasında bir noktada akademik uzlaşıya varıldığı dikkat çeker: Alglerin karasal ortamda yaşayabilmesi ancak mantarlarla yeni ilişkiler kurmalarıyla mümkün olmuştur.[4]

Bu ilk ittifaklar şimdi "mikorizal ilişkiler" olarak adlandırdığımız birlikteliğe evrilmişti. Günümüzde bütün bitki türlerinin yüzde doksanından fazlası mikorizal mantarlara bağımlıdır. Bu bağımlılık istisna değil, kuraldır; mikorizal mantarlar bitkilerin meyve, çiçek, yaprak, odun, hatta kökten bile daha temel bir parçasıdır. Bitkilerle mikorizal mantarların işbirliği, çatışma ve rekabetle tamamlanan bu samimi ortaklıktan geçmişimizi, bugünümüzü ve geleceğimizi destekleyen kolektif bir serpilme doğurur. Onlarsız var olmamız düşünülemez bile; öyle olduğu halde onları pek az düşünürüz. Fakat ilgisizliğimizin bedeli hiç bu kadar aşikâr olmamıştı. Bu aymazlık artık bizim için sürdürülebilir olmaktan çıktı.[5]

Daha önce de gördüğümüz gibi, alglerle mantarlar birbirleriyle ortaklık kurma eğilimindedir. İlişkileri farklı biçimlerde ortaya çıkabilir. Bu ilişki biçimlerinden biri, likenlerdir. Bir diğeriyse –bir başka alg grubu olan– denizyosunlarıdır; kıyıya vuran denizyosunları hem beslenmek hem de kurumaya karşı korunmak için mantarlara bağımlıdır. Harvardlı araştırmacıların serbest yaşayan mantarlarla algleri bir

araya getirdikleri deneyde günler içinde oluşan yumuşak, yeşil küreler de bu ilişkilerin bir başka örneğidir. Mantarlarla algler iyi bir ekolojik uyum yakaladıkları, yani ikisinin de tek başına söyleyemeyeceği bir metabolik "şarkı"yı birlikte söyledikleri sürece tepeden tırnağa yeni simbiyotik ilişkiler oluşturmak üzere birleşirler. Bu açıdan mantarlarla alglerin bir araya gelerek bitkilere hayat vermesi daha büyük bir hikâyenin parçası, bir evrimsel nakarattır.[6]

Likenlerin bünyesindeki ortaklar bir araya geldiklerinde, her iki bireyden de farklı olan bir yapı oluşturur ama mikorizal ilişkilerde böyle olmaz: Bitkiler bitki, mikorizal mantarlar mantar olarak kalır. Bu ortaklık, tek bir bitkinin aynı anda pek çok mantarla ve tek bir mantarın da birçok bitkiyle eşleşebildiği çok farklı ve seçici olmayan bir simbiyoz doğurur.

İlişkinin ayakta kalabilmesi için bitkiyle mantar arasında iyi bir metabolik uyum sağlanmalıdır. Aşina olduğumuz bir anlaşmadır bu. Bitkiler fotosentez yaparken atmosferden karbon alır ve karbonu canlıların büyük bölümü için elzem olan enerjiden zengin bileşikleri –şekerleri ve yağları– üretmek için kullanır. Bitki köklerinde yaşayan mikorizal mantarlar bu enerji kaynaklarına erişim ayrıcalığı kazanır ve bu sayede karınları doyar. Ne var ki fotosentez, yaşamı desteklemek için yeterli gelmez. Bitkiler ve mantarlar enerji kaynağından fazlasına ihtiyaç duyar. Dokular ve mikrogözenekler, elektrik yüklü boşluklar ve labirent benzeri çürüme ortamlarıyla dolu topraktan su ve mineraller toplanmalıdır. Mantarlar yaban hayatının eli çabuk devriyeleridir; toplama işini bitkilerin yapamayacağı şekilde hallediverirler. Bitkiler, köklerinde ağırladıkları mantarlar sayesinde bu besinsel kaynaklara çok daha rahat erişim sağlar. Böylece onların da karnı doyar. Aralarındaki ortaklık sayesinde bitkiler bir protez mantar kazanır, mantarlarsa bir protez bitki. Her ikisi de erişim alanını genişletmek için birbirini kullanır. Lynn Margulis'in "yabancıların uzun süreli samimiyeti" olarak adlandırdığı durumun bir örneğidir bu. Tek farkla ki bu örnekte ortaklar artık birbirine yabancı sayılmaz. Bir kökün içine baktığınızda bunu açıkça görürsünüz.

Mikroskop altında köklerin birer dünya olduğunu görürsünüz. O dünyalara dalıp haftalarca orada yaşadım; kimi zaman büyülendim, kimi zaman hüsrana uğradım. Suyun içine taze, ince kökler koyarsanız

tel tel ayrılan mantar hiflerini görebilirsiniz. Kökleri boya içinde kaynattıktan sonra ezip mikroskop camı üzerinde incelerseniz iç içe geçmiş yapılardan oluşan bir manzarayla karşılaşırsınız. Mantar hifleri bitki hücreleri içinde çatallanır, kaynaşır ve dallanan iplikçikler halinde patlak verir. Bitkiyle mantar birbirine kenetlenir. Bundan daha samimi bir poz hayal etmek zor.

Bugüne dek mikroskop altında gördüğüm en garip şey, çimlenen toz benzeri tohumlardı. Toz benzeri tohumlar dünyadaki en küçük bitki tohumlarıdır. Tek bir tohum, küçük bir kıl ya da kirpik ucu gibi, çıplak gözle zar zor görülebilir. Orkideler ve diğer bazı bitkiler toz benzeri tohumlar üretir. Bu tohumlar çok hafif oldukları için rüzgârla ya da yağmurla kolayca etrafa saçılır ve bir mantarla karşılaşana dek çimlenmezler. Onları iş üstünde yakalamak için uzun zaman harcadım. Binlerce tohumu küçük torbalara gömüp birkaç ay sonra bir kısmının çimlenmiş olabileceği umuduyla tohumları kazıp çıkardım. Bir petri kabına koyduğum tohumları iğneyle sağa sola iteleyerek mikroskop altında yaşam belirtileri aradım. Günler sonra aradığımı buldum. Tohumlardan bazıları, mantar hifleriyle sarmalanmış, petri kabının içine doğru uzanan flamalara benzeyen şişkin öbeklere dönüşmüştü. Gelişmekte olan köklerin içinde tel tel ayrılan hifler, düğümler ve bukleler oluşturmuştu. Bu seks değildi: Mantar ve bitki hücreleri kaynaşmamış, genetik bilgileri aynı havuzda toplanmamıştı. Ama seksiydi: İki farklı canlının hücreleri birbirini bulmuş, birbirine katılmış, elbirliğiyle yeni bir yaşam inşa ediyordu. Meydana gelecek bitkiyi mantardan ayrı düşünmek anlamsızdı.

MİKORİZAL İLİŞKİLERİN ilk olarak nasıl ortaya çıktığı bilinmiyor. Bazıları ilk karşılaşmaların, göl ve akarsuların çamurlu kıyılarına sürüklenen alglerle onların arasında kendine besin ve sığınak arayan mantarların vıcık vıcık, düzensiz ilişkileri şeklinde olduğunu ileri sürecek kadar cesur davranır. Bazılarıysa alglerin karaya mantar ortaklarıyla birlikte çıkmış olduğunu öne sürer. Leeds Üniversitesi'nden Katie Field, mantarlarla alglerin öyle ya da böyle "kısa sürede birbirine bağımlı hale geldiğini" söylüyor.

Field günümüzde yaşayan bitkilerin kadim soylarını araştırmaya yıllarını vermiş parlak bir deneyci. Radyoaktif işaretleyiciler

kullanarak, eski çağların iklimlerini taklit eden bitki büyütme kabinlerinde yetiştirdiği mantarlarla bitkiler arasında gerçekleşen alışverişi ölçüyor. Bitkilerle mantarların simbiyotik tavırları, karaya göçün erken dönemlerinde birbirlerine nasıl davranmış oldukları hakkında ipuçları verir. Fosiller de bu ilk ittifaklarla ilgili çarpıcı bir delil olabilir. En iyi örnekler yaklaşık dört yüz milyon yıl öncesine aittir ve mikorizal mantarların bitkilerle olan birlikteliğinin şüphe götürmez izlerini taşır: tıpkı bugün göründüğü gibi görünen tüysü loblar. "Bitki hücrelerinin içinde yaşayan mantarı görebilirsiniz," diyor Field hayranlıkla.[7]

İlk bitkiler, kökleri ya da başka özelleşmiş yapıları olmayan yeşil doku gölcüklerinden fazlası değildi. Zaman içinde, topraktaki besin elementlerini ve suyu toplayan mantar ortaklarını barındırabilecek kaba, etli organlar geliştirdiler. İlk kökler evrildiğinde mikorizal ilişki yaklaşık elli milyon yıldır sürüyordu. Mikorizal mantarlar, sonrasında gelişen karasal hayatın kökleridir. *Mikoriza* sözcüğü de bunu anlatır. Zira kökler (*rhiza*) mantarların (*mykes*) ardından ortaya çıkmıştır.[8]

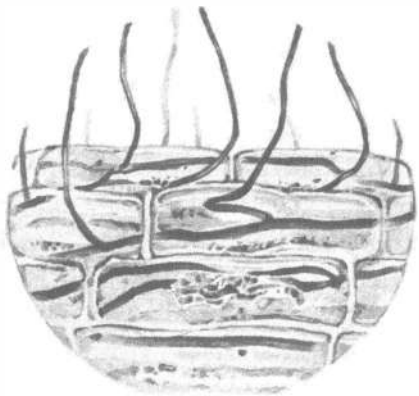
Yüz milyonlarca yıl sonra bugün, bitkiler davranış açısından daha çok mantarlara benzeyen daha ince, hızlı büyüyen, fırsatçı köklere sahip. Fakat iş toprağı araştırmaya geldiğinde bu kökler dahi mantarlarla yarışamaz. Mikorizal hiflerin kalınlığı en ince köklerin bile ellide biri kadardır; uzunlukları bir bitkinin köklerinin toplam uzunluğunun yüz katını bulabilir. Onlar köklerden önce ortaya çıkmış ve kökleri aşan yapılardır. Kimi araştırmacılar daha da ileri gider. Üniversitede ders aldığım profesörlerden biri, "Bitkilerin kökleri yoktur," derdi hayretle bakan öğrencilere. "Onların mantar-kökleri, mikorizaları vardır."[9]

Mikorizal mantarlar o kadar üretkendir ki meydana getirdikleri miselyum canlı toprak kütlesinin üçte biri ila yarısını oluşturur. Astronomik sayıdadırlar. Dünyadaki toprağın üstteki on santimetrelik kısmında kalan bütün mikorizal hiflerin toplam uzunluğu galaksimizin genişliğinin yarısı kadardır (hiflerin uzunluğu $4{,}5 \times 10^{17}$ kilometre, galaksinin genişliği $9{,}5 \times 10^{17}$ kilometre). Bu hifler düz bir tabaka olarak yayılabilseydi toplam yüzey alanı yeryüzündeki karaların iki buçuk katı kadar bir alan kaplardı. Ne var ki mantarlar sabit değildir. Mikorizal hifler o kadar hızlı –yılda on ila altmış kez– kurur ve yeniden büyür ki bir milyon yıldaki birikimli uzunlukları, bilinen evrenin

çapını geçer (hiflerin uzunluğu $4{,}8 \times 10^{10}$ ışık yılı, bilinen evrenin çapı $9{,}1 \times 10^{9}$ ışık yılı). Mikorizal mantarların yaklaşık beş yüz milyon yıldan beri var olduğunu ve toprağın üstteki on santimetrelik kısmıyla sınırlı kalmadığını düşünürsek bunlar gerçek rakamların elbette çok altında kalır.[10]

Bitkiler ve mikorizal mantarlar bu ilişki içinde bir kutuplaşma sergiler: Bitki filizleri ışık ve havayla hemhal olurken, mantarlar ve bitki kökleri toprak tarafındadır. Bitkiler ışık ve karbondioksiti şeker ve yağlar halinde paketler. Mikorizal mantarlar kayalardaki ve çürüyen malzemedeki besin elementlerini açığa çıkarır. Bunlar ikili nişe sahip mantarlardır: Yaşamları kısmen bitkinin içinde, kısmen toprakta geçer. Karbonun karasal yaşam döngülerine girdiği noktada bulunur, atmosferle yeryüzü arasındaki ilişkiyi kurarlar. Bitkilerin yaprak ve gövdelerindeki simbiyotik mantarlar gibi, mikorizal mantarlar da bugün bile bitkilerin, karasal yaşamın başından beri yarattığı kuraklık ve sıcak gibi birçok stres kaynağıyla baş etmesine yardımcı olur. "Bitki" dediğimiz canlılar aslında algleri yetiştirmek üzere evrilmiş mantarlar ve mantarları yetiştirmek üzere evrilmiş alglerdir.

Mikoriza sözcüğünü ilk olarak 1885'te Alman biyolog Albert Frank kullanmıştı; likenlere duyduğu hayranlığın sonucunda sekiz yıl önce *simbiyoz* sözcüğünü ilk kez kullanan da oydu. Sonunda Prusya Krallığı Tarım, Çevre ve Ormancılık Bakanlığı tarafından "trüf mantarı yetiştiriciliğini desteklemek" üzere işe alındı. Bu görev dikkatini toprağa çevirmesine neden oldu. Trüf mantarı, daha önce pek çok kişi



Bitki kökünün içindeki mikorizal mantar

için olduğu gibi, Frank'ı da mantarların yeraltı dünyasına çeken bir tuzak oldu.

Frank trüf mantarı yetiştirmede pek başarılı olamadıysa da yaptığı araştırmalarda ağaç kökleriyle trüf mantarlarının miselyumu arasındaki dolaşıklığı en ince ayrıntısına kadar belgeledi. Çizdiği şemalar, bir miselyum kılıfla birbirine dolanmış kök uçlarını, sayfanın üzerinde kıvrılarak ilerleyen hifleriyle gösterir. Frank bu ilişkinin samimiyeti karşısında şaşkına dönmüş, bitki kökleriyle yoldaş mantarlar arasında parazitik değil, karşılıklı faydaya dayalı bir ilişki olabileceğini ileri sürmüştü. Simbiyozu araştıran diğer birçok bilim insanı gibi, Frank da mikorizal ilişkiyi anlamlandırmak için likenleri bir analoji olarak kullandı. Ona göre bitkiler ve mantarlar "samimi ve karşılıklı bir bağımlılık" içinde birbirlerine bağlıydılar. Mikorizal miselyum bir "sütanne" gibi davranıyor, "ağacın, beslenmesi için topraktan alması gereken her şeyi alabilmesi"ni sağlıyordu.[11]

Frank'ın görüşleri, tıpkı likenlerle ilgili ikilik hipotezinde Simon Schwendener'ın başına geldiği gibi güçlü bir tepkiyle karşılandı. Frank'ı eleştirenlere göre simbiyozun karşılıklı fayda sağlaması, yani bir "mutualizm" olması duygusal bir yanılsamaydı. Görünürde ortaklardan biri fayda sağlıyorsa bunun bir bedeli olmak zorundaydı. Karşılıklı fayda sağlayan bir simbiyoz aslında bir çatışma, kılık değiştirmiş bir parazitlikti. Frank on yıl boyunca azimle bitkilerin "sütanneleri"yle olan ilişkilerini anlamaya çalıştı. Çam fideleriyle mükemmel deneyler yaptı. Bir kısmını steril toprakta, bir kısmını civardaki bir çam ormanından aldığı toprakta yetiştirdi. Orman toprağında yetişen fideler mantarlarla ilişki kurdular ve steril koşullarda yetişenlere göre daha büyük ve sağlıklı fidanlara dönüştüler.[12]

Frank'ın bulguları, bitkilere ve özellikle de ağaçlara olan düşkünlüğüyle tanınan J. R. R. Tolkien'in gözünden kaçmadı. Mikorizal mantarlar çok geçmeden *Yüzüklerin Efendisi*'ne de sızdı.[13]

> "Ve minik bahçıvan, ağaçları seven sizin için," dedi elf Galadriel, hobbit Sam Gamgee'ye, "sadece ufak bir armağanım var (...) Bu kutunun içinde benim meyve bahçemin toprağından var (...) eğer bu toprağı muhafaza edebilir ve sonunda tekrar evinizi görebilirseniz belki size bir kazanç sağlayabilir. Her yeri çıplak, çorak bulsanız

> bile bu toprağı bahçenize serperseniz Orta Dünya'da sizin bahçeniz gibi tomurcuklanan başka bahçe olmayacaktır."
> Sam evine döndüğünde harap olmuş bir Shire ile karşılaşır:
>
> Böylece Sam, özellikle güzel ve hoş ağaçların tahrip edilmiş olduğu yerlere fidanlar dikti ve her birinin kökündeki toprağa kıymetli tozundan bir zerre bıraktı (...) Bütün bir kış boyunca elinden geldiğince sabırla bekleyerek, durmadan gidip bir şeyler çıkıp çıkmadığına bakmaktan kendini alıkoymaya çalıştı. Bahar en çılgın beklentilerini bile geçti. Ağaçları fışkırıp büyümeye başladı, sanki zamanın acelesi varmış da yirmi yılda yapacağını bir yılda yapıyormuş gibi.*

TOLKIEN BUNLARI YAZARKEN üç yüz ila dört yüz milyon yıl önce, Devoniyen dönemdeki bitki gelişimini de tarif ediyor olabilirdi. Artık karaya iyice uyum sağlamış, bol ışık ve karbondioksitle enerji sağlayan bitkiler bütün dünyaya yayılmış, daha önce hiç olmadığı kadar büyük bir hızla daha büyük ve daha karmaşık yapılar oluşturmaya başlamıştı. Boyu bir metreyi bulan ağaçlar birkaç milyon içinde otuz metrelik ağaçlara evrilmişti. Bu dönemde bitkiler pıtrak gibi çoğalırken atmosferdeki karbondioksit miktarı yüzde doksan oranında düştü ve bir küresel soğuma dönemi başlattı. Bitkilerle mantar ortakları atmosferdeki bu muazzam dönüşümde rol oynamış olabilir mi? Field gibi bazı araştırmacılar bunun muhtemel olduğunu düşünüyor.[14]

"Kara bitkileri giderek daha karmaşık yapılar oluşturdukça atmosferdeki karbondioksit düzeyleri de belirgin olarak düşer," diyor Field. Dolayısıyla bitki verimliliğindeki artış mikorizal ortaklara bağlıydı. Bu olaylar dizisini öngörmek mümkün. Bitki büyümesindeki en önemli sınırlayıcılardan biri, fosforun azlığıdır. Mikorizal mantarların yaptığı en iyi şeylerden –en dikkat çekici metabolik "şarkılar"ından– biriyse topraktan fosforu çekip bitki ortaklarına aktarmaktır. Fosfor gübresi verilen bitkiler daha çok büyür. Bitkiler büyüdükçe atmosferden daha fazla karbondioksit çeker. Ne kadar çok bitki yaşarsa o kadar çok bitki ölür, toprağa ve çökellere o kadar fazla karbon gömülür. Karbon toprağa gömüldükçe atmosferdeki karbon azalır.

---

* *Yüzüklerin Efendisi*, çev. Çiğdem Erkal Yeşilbademli, Metis Yayınları, 1998.

Fosfor hikâyenin sadece bir bölümü. Mikorizal mantarlar salgıladıkları asitlerle ve yüksek basınç uygulayarak kayaları oyar. Onların yardımıyla Devoniyen dönemde bitkiler kalsiyum ve silisyum gibi mineralleri kazıp çıkarabildi. Bu mineraller açığa çıkar çıkmaz atmosferdeki karbondioksitle tepkimeye girerek onu tutar. Sonuçta meydana gelen karbonat ve silikat bileşikleri okyanuslara sürüklenir ve deniz organizmalarının kabuklarının yapımında kullanılır. Organizmalar ölünce kabukları dibe batar ve okyanus tabanında oluşan yüzlerce metre kalınlığındaki yığılma karbon için muazzam bir mezarlık meydana getirir. Bütün bunlar bir araya gelince iklim değişmeye başlar.[15]

Mikorizal mantarların eski çağlarda küresel iklimler üzerindeki etkisini ölçmenin bir yolu olup olmadığını merak ediyordum. "Hem evet hem hayır," diye yanıtladı Field. "Yakınlarda denedim." Field bunun için Leeds Üniversitesi'nde iklime ve atmosferin bileşimine dair tahminlerde bulunan bilgisayar modelleriyle çalışan biyojeokimyacı Benjamin Mills ile ortak bir çalışma yapmıştı.[16]

Birçok araştırmacı iklim modelleri oluşturur. Hava durumu tahmini yapanlar ve iklimbilimciler gelecekteki senaryoları kestirebilmek için bu dijital simülasyonlara dayanırlar. Gezegenin geçmişindeki önemli geçişleri yeniden yapılandırmaya çalışan araştırmacılar da öyledir. Modeldeki sayıları değiştirerek Dünya ikliminin tarihiyle ilgili farklı hipotezleri sınayabilirsiniz. Karbondioksiti artırın, bakalım ne olacak? Bitkilerin erişebildiği fosfor miktarını azaltın, bakalım ne değişecek? Model size gerçekte ne olduğunu söyleyemez ama hangi etkenlerin fark yarattığını söyleyebilir.

Mills, Field ile çalışmaya başlayana kadar modeline mikorizal mantarları dahil etmemişti. Bitkilerin aldığı fosfor miktarını değiştirebiliyordu. Ne var ki mikorizal mantarları dikkate almadan, bitkilerin ne kadar fosfora erişebileceği hakkında gerçekçi tahminlerde bulunmak mümkün değildi. Field bu konuda yardım edebilirdi. Yaptığı bir dizi deneyde mikorizal ilişkilerin sonuçlarının bitki büyütme kabinlerindeki iklim şartlarına göre değiştiğini bulmuştu. Bitkiler ilişkiden kimi zaman daha çok, kimi zaman daha az fayda görüyordu ve Field bu özelliği "simbiyotik verim" olarak adlandırmıştı. Bitkiler verimli bir mikorizal ortakla bir araya geldiğinde daha fazla fosfor alıp daha çok büyüyorlardı. Field, yaklaşık 450 milyon yıl önce, atmosferdeki

karbondioksit düzeyleri bugünkünün birkaç misliyken mikorizal alışverişin verimini tahmini olarak belirleyebildi.

Field'ın ölçümlerini kullanan Mills modele mikorizal mantarları ekleyince sadece simbiyotik verimi artırıp azaltarak küresel iklimi değiştirmenin mümkün olduğunu buldu. Atmosferdeki karbondioksit ve oksijen miktarı ve küresel sıcaklıklar mikorizal alışverişin verimine göre değişiyordu. Field'ın verilerine göre, mikorizal mantarlar Devoniyen dönemdeki bitki patlamasını takiben karbondioksit miktarındaki çarpıcı azalmaya önemli bir katkıda bulunmuş olmalıydı. "Vay canına, işe bak! dediğiniz anlardan biriydi," diyor Field. "Sonuçlarımız mikorizal ilişkilerin Dünya üzerindeki yaşamın evriminde önemli rol oynadığını gösteriyordu."[17]

VE HÂLÂ DA OYNUYOR. Eski Ahit'teki Yeşaya Kitabı'nda "İnsan soyu ota benzer," der. Günümüzde bu mantığı ekolojik olarak tanımlayabiliriz: Hayvan bedenlerinde ot ete dönüşür. Ama niye burada duralım ki? Ot ancak köklerinde yaşayan mantarlar sayesinde ot olabilir. Peki bu, bütün otların mantar olduğu anlamına mı gelir? Bütün otlar mantarsa ve bütün insanlar otsa bu, bütün insanlar mantar mı demek oluyor?

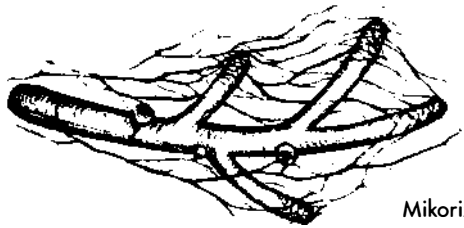
Belki tamamen değil ama kısmen öyle olduğu kesin. Mikorizal mantarlar bitki azotunun neredeyse yüzde seksenini, fosforunsa tamamını temin edebilir. Mantarlar bitkilere çinko ve bakır gibi başka önemli besin elementlerinin yanı sıra, su temin eder ve karasal yaşamın ilk günlerinden beri yaptıkları gibi, kuraklıkta hayatta kalmalarını sağlar. Buna karşılık bitkiler, hasat ettikleri karbonun yaklaşık yüzde otuzunu mikorizal ortaklarına tahsis eder. Bir bitkiyle mikorizal mantar arasında belli bir anda neler geçtiği, kimin müdahil olduğuna bağlıdır. Bitki ya da mantar olmanın pek çok yolu var; mikorizal bir ilişki kurmanın da. Bu yaşam tarzı, alglerin karaya ilk göçünden sonra farklı mantar soylarında altmışın üzerinde farklı yoldan evrilmiştir. Birden fazla kez evrilerek imkânsızı başaran –nematod avlama, liken oluşturma ya da hayvan davranışlarının manipülasyonu gibi– pek çok özellikte mantarların tesadüfen bir kazanma stratejisi buldukları duygusuna kapılmamak zor.[18]

Mantar ortakları bitkinin büyümesi ve yapısı üzerinde dikkat çekici bir etki gösterebilir. Birkaç yıl önce katıldığım, mikorizal ilişkilerle ilgili bir konferansta, farklı mikorizal mantar topluluklarını kullanarak çilek yetiştiren bir araştırmacıyla tanıştım. Basit bir deney yapmıştı. Aynı çilek türü farklı mantar türleriyle birlikte yetiştirilirse çileklerin aroması değişir mi? Araştırmacı kör lezzet testleri yapmıştı ve görünüşe göre farklı mantar toplulukları meyvenin aromasını değiştiriyordu. Bazılarının aroması daha yoğundu, bazıları daha suluydu, bazılarıysa daha tatlı.

Deneyi ikinci yıl tekrarladığında öngörülemeyen hava koşulları mikorizal mantarların çileklerin lezzeti üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmış, buna karşılık başka çarpıcı etkiler ortaya çıkmıştı. Bazı mantar türleriyle birlikte yetiştirilen çileklerin çiçekleri yabanarılarını daha fazla çekmişti. Bazı mikoriza türleriyle birlikte yetiştirilen bitkiler daha çok meyve vermişti. Ayrıca meyvelerin görünümü de çileğin ortaklık kurduğu mantarın türüne göre değişiyordu. Bazı mikoriza toplulukları diğerlerine göre meyvelerin daha çekici görünmesine neden oluyordu.[19]

Mantar ortaklarının kimliğine karşı hassas olan tek bitki çilek değil. Saksıdaki aslanağzından dev bir sekoya ağacına, bitkilerin çoğu, farklı mikorizal mantar topluluklarıyla yetiştirildiğinde farklı gelişim gösterir. Örneğin farklı mikoriza suşlarıyla yetiştirildiğinde fesleğenin aromasını oluşturan aromatik yağların profili değişir. Bazı mantarların domatesleri daha tatlımsı yaptığı; bazılarının rezene, kişniş ve nanedeki esansiyel yağ profilini değiştirdiği; bazılarının marul yapraklarındaki demir ve karotenoidlerin miktarını, enginardaki antioksidan aktivitesini ya da sarıkantaron ve ekinezyadaki tıbbi bileşiklerin miktarını artırdığı bulundu. 2013'te İtalya'dan bir araştırma ekibi, farklı mikoriza topluluklarıyla yetiştirdikleri buğdayı kullanarak ekmek yaptı. Ekmeğin lezzeti bir elektronik burun ve İtalya'nın Bra komünündeki Gastronomik Bilimler Üniversitesi'nde "iyi eğitimli" on kişiden oluşan bir panel tarafından sınandı. (Yazarlar, paneldeki herkesin "duyusal değerlendirme konusunda en az iki yıllık deneyim sahibi" olduğunu ısrarla belirtmişlerdi.) Hasat ile tadım arasında öğütme, karma, mayalama ve pişirme gibi pek çok aşama olmasına

rağmen gerek panel gerekse elektronik burun ekmekleri birbirinden ayırt edebildi. Zengin bir mikoriza mantarı topluluğuyla yetiştirilen buğdaydan yapılan ekmekler "daha lezzetli", "daha esnek ve daha çıtır çıtır"dı. Bir çiçeği koklayarak, ince bir dalı ya da yaprakları veya ağaç kabuğunu çiğneyerek, şarap içerek bitkilerin yeraltındaki mikorizal dünyasının başka hangi veçhelerini tadabiliriz acaba? Merak ediyorum.[20]



Mikorizal kök ucu

MİKOLOG MABEL RAYNER, 1945'te yayımlanan, mikorizal ilişkilerle ilgili *Trees and Toadstools* adlı kitabında, "Toprak topluluğunun bireyleri arasında güç dengesini koruyan mekanizma ne kadar da hassas," diye yazmıştı. Farklı mikorizal mantar türleri bir fesleğen yaprağının tadının farklı olmasına ya da bir çilek bitkisinin daha lezzetli görünen meyveler vermesine neden olabilir. Ama nasıl? Bazı mantar ortaklar diğerlerine göre "daha mı iyidir?" Bazı bitki ortaklar diğerlerine göre "daha mı iyidir?" Bitkilerle mantarlar ortak seçenekleri arasındaki farkı bilebilir mi? Rayner'ın yazdıklarının üzerinden yıllar geçmiş olmasına rağmen bitkilerle mikorizal mantarlar arasındaki simbiyotik dengeyi koruyan karmaşık davranışları daha yeni yeni anlamaya başlıyoruz.[21]

Sosyal etkileşimler emek ister. Bazı evrim psikologlarına göre insanların büyük beyinleri ve esnek zekâları karmaşık sosyal durumlarda yolumuzu bulabilmemiz için evrildi. En küçük bir etkileşim dahi değişen sosyal yapılanmanın içine gömülüdür. *Chambers Etimoloji Sözlüğü*'ne göre *entangle* sözcüğü başlangıçta insanlar arasındaki bu tür etkileşimleri ya da "karmaşık meseleler"le olan ilgimizi tanımlamak için kullanılıyormuş. Günümüzdeyse "karıştırmak, dolaştırmak" anlamında kullanılıyor. Bu görüşe göre biz insanların bu kadar zeki

olmamızın sebebi, zahmetli bir etkileşimler hercümercinin içinde bulunmamız.[22]

Bitkilerin ve mikorizal mantarların bildiğimiz anlamda bir beyni ve zekâsı yok ama onlar da kesinlikle dolaşık hayatlar yaşıyorlar ve karmaşık meselelerini çözebilmenin yollarını geliştirmek zorunda kalmışlar. Bitkilerin eylemleri, mantar ortaklarının duyusal dünyasında olan bitenler hakkında edindikleri bilgiyle biçimlenir; benzer şekilde mantar davranışları da bitki ortaklarının duyusal dünyasında olanlar hakkında edindikleri bilgiyle. Bir bitkinin filizleri ve yaprakları on beş ila yirmi farklı duyudan gelen bilgiyi kullanarak havayı kolaçan eder ve davranışlarını çevredeki ufak tefek değişikliklere göre ayarlar. Her biri farklı mantar türleriyle birden fazla bağlantı kurabilen binlerce, hatta milyarlarca kök ucu toprağı kolaçan eder. Bu sırada bir mikorizal mantar besin elementleri kaynaklarını saptar, bu kaynakların içinde çoğalır; ister mantar olsun ister bakteri ya da başka bir mikroorganizma, mikrop topluluklarıyla karışır; besin elementlerini soğurarak salkım saçak ağ yapısına yönlendirir. Sayısız hif ucundan gelen enformasyon, birbirinden metrelerce uzaktaki farklı bitkiler arasında her an bağlantı kurabilecek şekilde bir araya getirilmelidir.

Bitkilerle mantarların "güç dengesi"ni nasıl koruduklarına ilişkin araştırmalara en fazla katkıda bulunan araştırmacılardan biri, Amsterdam'daki Vrije Üniversitesi'nden Toby Kiers'tı. Kiers ve ekibi radyoaktif işaretleyiciler kullanarak ya da moleküllere ışık yayan etiketler iliştirerek bitki köklerinden mantar hiflerine karbon ve mantarlardan bitki köklerine fosfor geçişini izleyebiliyor. Bu akışları dikkatle ölçen Kiers, iki ortağın aralarındaki alışverişi yönetmek için kullandığı yollardan bazılarını tanımlayabildi. Bitkilerle mikorizal mantarların, içinde bulundukları zahmetli sosyal ortamda yollarını nasıl bulduklarını sordum Kiers'a. Güldü. "Bütün bu karmaşıklığın sebeplerini gerçekten de bulmak istiyoruz. Ortada dönen bir alışveriş olduğunu biliyoruz. Asıl soru, bu alışveriş stratejilerinin nasıl değiştiğini tahmin edip edemeyeceğimiz. Altından kalkması zor bir iş ama neden şansımızı denemeyelim?"

Kiers'ın bulguları şaşırtıcı çünkü ilişkinin denetiminin bütünüyle ne bitkide ne de mantarda olduğunu düşündürüyor. Aralarında uzlaşabiliyor, taviz verebiliyor, gelişmiş ticaret stratejileri uygulayabiliyorlar.

Kiers bir dizi deneyde bitki köklerinin tercihen kendilerine daha fazla fosfor veren mantar suşlarına karbon verdiğini buldu. Bitkiden daha fazla karbon alan mantarlar bunun karşılığında bitkiye daha da fazla fosfor temin ediyordu. İkisi arasındaki alışveriş bir bakıma kaynakların mevcudiyetine bağlıydı. Kiers bu "karşılıklı ödüller"in evrimsel süreçte bitki ve mantar işbirliğinin istikrarını korumaya yardım ettiği varsayımını ileri sürdü. Her iki ortak da alışverişin denetimini birlikte yürüttüğü için ne biri ne de diğeri ilişkiyi kendi çıkarına alet edebilirdi.[23]

İlişkiden genel olarak hem bitkiler hem de mantarlar faydalanma eğiliminde olduğu halde farklı bitki ve mantar türleri farklı simbiyotik davranışlar sergiler. Bazı mantarlar daha fazla işbirliğine dayalı ortaklıklar kurarken bazıları işbirliğine daha az yanaşır ve fosforu bitki ortaklarına vermektense "istifler." Ne var ki bir istifçi bile her zaman istiflemez. Davranışları esnektir; etraflarında ve kendi içlerinde olan bitene göre sürekli bir pazarlık halindedirler. Bu davranışların işleyişi hakkında fazla bilgimiz yok ama bitkilerin ve mantarların her an bir dizi seçenekle karşı karşıya olduğu açık. Ve seçenekler beraberinde seçim yapmayı getirir. İster bilinçli insan zihni tarafından olsun ister bilinçsiz bir bilgisayar algoritması ya da ikisi arasında herhangi bir şey, bu seçimlerin yapılması gerekir.[24]

Bitkiler ve mantarlar beyinleri olmadığı halde karar verebiliyorlar mıydı acaba? "*Karar* sözcüğünü hep kullanırım," diyor Kiers. "Bir dizi seçenek var ve enformasyonun bir şekilde bir araya getirilmesi, mevcut seçeneklerden birinin seçilmesi gerek. Bence yaptığımızın büyük bölümü, mikro ölçekli kararları incelemek." Bu seçimler kendini birçok yoldan açığa vurabilir. "Her hif ucunda *mutlak* kararlara mı varılır?" diye soruyor Kiers düşünceli düşünceli. "Yoksa verilen kararlar, ağın bütününde olup bitenlere bağlı olduğu için *göreli* midir?"

Bu soruların yanıtını merak eden ve Tomas Piketty'nin insan toplumlarında servet eşitsizliğiyle ilgili çalışmasını okuyan Kiers, mantar ağlarındaki eşitsizliğin rolü üzerinde düşünmeye başlamıştı. O ve ekibi, tek bir mikoriza mantarını eşit olmayan fosfor kaynaklarına maruz bıraktı. Miselyumun bir bölümü bol miktarda fosfora erişebilirken, bir başka bölümü az miktarda fosfor alabiliyordu. Kiers, mantarın aynı ağın farklı bölümlerinde vereceği alışveriş kararlarının bundan nasıl etkileneceğini merak ediyordu. Tanıdık bazı örüntüler

ortaya çıktı. Miselyum ağının az fosfor alan bölümlerinde bitki, aldığı her birim fosfor karşılığında mantara daha fazla karbon temin ederek daha yüksek bir "bedel" ödüyordu. Buna karşılık fosforun rahat bulunabildiği bölümlerde "kur farkı" mantarın aleyhineydi. Görünüşe göre fosforun "bedel"ini aşina olduğumuz arz ve talep dinamikleri belirliyordu.[25]

En şaşırtıcı olansa mantarın ağ boyunca alışveriş davranışını düzenleme biçimiydi. Kiers bir "ucuza al, pahalıya sat" stratejisi tanımlamıştı. Mantar fosforu bol bulunduğu ve bitki köküyle yaptığı alışverişte ucuza gittiği yerlerden alıp talebin daha fazla ve bedelinin daha yüksek olduğu fosfordan kıt yerlere dinamik mikrotübül "motorlar"ını kullanarak aktif olarak taşıyordu. Böylece mantar fosforunun daha büyük bir bölümünü daha avantajlı bir kur farkıyla bitkiye aktarıyor ve karşılığında daha fazla karbon alıyordu.[26]

Bu davranışlar nasıl kontrol edilir? Mantar sistemi kendi çıkarına kullanmak için ağ boyunca gelişen kur farkını saptayıp fosforun aktif taşınmasını sağlayabilir mi? Yoksa ağ içinde fosforu bol olduğu yerlerden kıt olduğu yerlere her zaman taşır ve bazen bitkiden bunun karşılığını mı alır? Bu soruların yanıtlarını hâlâ bilmiyoruz. Buna rağmen Kiers'ın çalışmaları, bitki ile mantar arasındaki alışverişin bazı çapraşık yönlerini aydınlatarak karmaşık sorunlara yönelik çözümlerin nasıl üretilebileceğini gösteriyor. Bütün bu davranışlar genel bir örüntüyü yansıtır. Belli bir bitki ya da mantarın davranış biçimi, *kiminle* ve *nerede* ortaklık kurduğuna bağlıdır. Mikorizal ilişkileri, bir ucunda parazitlerin, diğer ucunda işbirlikçi mutualistlerin bulunduğu bir sürem olarak düşünebiliriz. Bazı bitkiler mantar ortaklarından belli koşullarda faydalanırken başka koşullarda faydalanamaz. Fosforun bol bulunduğu ortamda yetiştirdiğiniz bitkiler ortaklık kuracakları mantarlar konusunda daha az seçici davranabilir. İşbirlikçi mantarları başka işbirlikçi mantarlarla aynı ortamda yetiştirirseniz daha az işbirliği yapabilirler. Aynı mantar, aynı bitki, farklı ortam, farklı sonuç.[27]

Marburg Üniversitesi'ndeki profesör arkadaşlarımdan biri bana çocukken gördüğü bir heykelden bahsetmişti. *Dikey Dünya Kilometresi* toprağa gömülü, bir kilometre uzunluğunda pirinçten yapılmış bir çubuktu. Çubuğun sadece üst ucu görünüyordu: zeminde madeni

para gibi görünen pirinçten bir daire. Arkadaşım eserin kendisinde yarattığı hayali baş dönmesini, karasal bir okyanusun üzerinde derinlere bakarak yüzüyor olma hissini anlatmıştı. Bu tecrübe onun köklere ve mikorizal mantarlara karşı bir ömür boyu hissedeceği hayranlığa ilham kaynağı olmuştu. Ayağımın altındaki mikorizal ilişkilerin karmaşıklığını –kilometrelerce uzunluktaki dolaşık yaşamı– düşündükçe ben de benzer bir hisse kapılıyorum.

Baş dönmesi asıl ağırlığını, çok küçükten çok büyüğe, hücresel düzeyde gerçekleşen mikroskobik alışveriş kararlarından bütün gezegene, atmosfere, karalar üzerinde yaşayan üç küsur trilyon ağaca ve onlarla toprak arasındaki bağlantıları ören katrilyonlarca kilometre uzunluğundaki mikorizal mantarlara uzanan bir ölçek düşündüğüm zaman hissettiriyor. Zihnimiz bu denli büyük sayılar karşısında dengesini korumakta pek başarılı değil. Bununla birlikte mikorizal ilişkilerin hikâyesi çok büyükten çok küçüğe ve sonra tekrar çok büyüğe doğru böyle pek çok baş döndürücü iniş çıkış yapar.[28]

Ölçek, mikorizal araştırmalar alanında önemli bir meseledir. Mikorizal ilişkiler gözden ırak gerçekleşir. Onları tecrübe etmek, görmek ya da onlara dokunmak zordur. Erişilmez oldukları için mikoriza davranışlarıyla ilgili bilginin çoğu laboratuvar ya da seralardaki kontrollü çalışmalarla elde edilir. Bu bulguları gerçek dünyanın karmaşık ekosistemleri ölçeğine yaymak her zaman mümkün olmaz. Çoğu zaman resmin sadece küçük bir parçasını görürüz. Sonuçta araştırmacılar mikorizal mantarların yapabildikleri hakkında, gerçekten yaptıklarıyla ilgili bildiklerinden fazlasını bilirler.[29]

Kontrollü şartlarda dahi mikorizal mantarların anbean nasıl davrandığı konusunda fikir sahibi olmak zor. Kiers'ın çalışmalarının tersine, kimi durumlarda bitkiyle mantar arasındaki alışverişler rasyonel ticaret stratejileri kurallarına uymaz. Bir şey mi atlıyoruz? Bundan kimse emin olamıyor. Bitkilerle mantarlar arasındaki kimyasal alışverişin nasıl gerçekleştiğine ve hücresel düzeyde nasıl kontrol edildiğine dair pek az fikrimiz var. "Maddenin ağ içinde nasıl hareket ettiğini inceliyoruz," diyor Kiers. "Videolarını çekmeye çalışıyoruz. Orada çılgınca şeyler oluyor. Ama bu çalışmalar *zor* ve insanların neden farklı organizmalarla çalışmak istediğini anlayabiliyorum." Bu heyecanı ve hüsranı birçok mikolog hissediyor.[30]

Bu bağlantılar üzerine düşünmenin, bu baş dönmesini geçirmenin başka yolları var mı? Bazı meslektaşlarım mikoriza hevesleriyle ilgili daha sezgisel çıkış yolları bulur. Bir kısmı tutkulu mantar avcılarıdır. Trüf mantarından porçiniye, şanterelden matsutakeye, mantar toplayarak mikorizal ilişkilere daha doğal yollarla iştirak ederler. Bazılarıysa dalışa hazırlanan bir deniz biyoloğu gibi mikorizal mantarları mikroskopla saatlerce inceler. Kimileri, mikroskop altında balık yumurtası gibi parlayan renkli küreciklere benzeyen mikoriza sporlarını topraktan ayırmak için saatlerini verir. Panama'daki meslektaşlarımdan biri, deneyimli bir mantar sporu avcısıydı. Bazı akşamlar sporlar, kraker parçaları ve ekşi kremayla, mikroskop altında hazırladığımız mikoriza havyarlı atıştırmalıkları cımbızla ağzımıza atardık. Fazla bir şey öğrenmezdik ama amaç o değildi zaten. Ölçekte küçükten büyüğe doğru yalpalarken dengeyi korumamıza yardımcı olan bir egzersizdi bu sadece. Deney öznelerimizle aracısız temas kurduğumuz o ender anlar, mikorizal mantarların mekanik şematik varlıklar değil (ne de olsa bir makineyi ya da kavramı yiyemezsiniz), yaşamlarını anlamak için hâlâ debelendiğimiz canlı organizmalar olduğunu bize hatırlatan şapşallıklardı.

En kolay yol hâlâ bitkilerden geçiyor. Yerin altındaki mikorizal cümbüş insanın günlük hayatına en sık bitkiler yoluyla girer. Mantarlarla kökler arasındaki sayısız mikroskobik etkileşim kendini bitkilerin biçimlerinde, büyümesinde, tat ve kokularında belli eder. Albert Frank gibi Sam Gamgee de genç ağaçların mikorizal ilişkilerinin sonucunu kendi gözleriyle görebiliyordu: Fidanlar "zamanın acelesi varmışçasına fışkırıp büyümeye başlamışlardı." Bir bitki yediğimizde bir mikorizal ilişkinin uzantısının tadına bakarız. İster saksıda olsun ister çiçek tarhında, bahçede ya da parkta, bitki yetiştirirken mikorizal ilişkileri de besleriz. Ölçeği büyütürsek bitkilerle mantarların verdiği ticari kararlar bütün kıtalardaki orman topluluklarını biçimlendirebilir.

Son Buzul Çağı yaklaşık on bir bin yıl önce sona erdi. Laurentide Buz Tabakası geri çekilirken Kuzey Amerika'da milyonlarca kilometrekarelik alan açığa çıktı. Birkaç bin yıl içinde ormanlar kuzeye doğru genişledi. Polen kayıtlarına bakarak farklı ağaç türlerinin göç zamanlarını belirlemek mümkün. Daha hızlı hareket eden kayın, kızılağaç,

çam, göknar, akçaağaç gibi bazı türler yılda birkaç yüz metre ilerliyordu. Daha yavaş hareket eden çınar, meşe, huş ve Kuzey Amerika cevizi (hikori) ise yılda yaklaşık on metre ilerliyordu.[31]

Bu farklı türlerin değişen iklime verdiği yanıtı belirleyen neydi? Mantarlarla olan ilişkileri, bitkilerin atalarının çorak arazide göç etmelerine imkân sağladı. Mikorizal ilişkiler, milyonlarca yıl sonra da bitkilerin gezegen üzerindeki hareketlerinde rol oynamaya devam etmiş olabilir mi? Bu mümkün. Ne bitkiler ne de mantarlar birbirinden kalıtsal bir miras alır. Her ikisi de ortaklık eğilimini miras alır ama yürüttükleri ilişkiler, kadim simbiyozların birçoğunun standartlarına göre açık ilişkidir. Bitkiler, karasal yaşamın ilk zamanlarında olduğu gibi, etrafta kim varsa ona göre ilişki kurar. Aynısı mantarlar için de geçerlidir. Kendine uygun bir mantar bulamayan bir bitki tohumunun hayatta kalması muhtemel olmadığından bu durum kısıtlayıcı olabilir ama ilişkilerini yeniden biçimlendirme ya da tamamen yeni ilişkiler geliştirme becerileri, ortakların değişen koşullara yanıt vermesini sağlayabilir. Britanya Kolumbiyası Üniversitesi'nden araştırmacıların 2018'de yayımlanan bir çalışmasında, ağaçların göç hızının gerçekten de mikorizal eğilimlerine bağlı olabileceği bulundu. Diğerlerine göre daha az seçici olan bazı ağaç türleri pek çok farklı mantar türüyle ilişki kurabilir. Laurentide Buz Tabakası geri çekilirken daha hızlı ilerleyenler, daha az seçici olanlar, yani yeni bir yere geldiklerinde uyumlu bir mantarla karşılaşma şansı daha yüksek olanlardı.[32]

Bitkilerin yapraklarında ve sürgünlerinde yaşayan ve "endofit" olarak adlandırılan mantarların da bitkilerin yeni bir yerde hayata tutunabilmesi üzerinde benzer şekilde çarpıcı etkileri olabilir. Tuzlu kıyı topraklarından bir tutam ot alıp mantar endofitleri olmadan yetiştirmeye çalışırsanız, doğal tuzlu ortamında yaşayamayacaktır. Aynı durum sıcak jeotermal topraklarda yetişen otlar için de geçerlidir. Araştırmacılar farklı ot türlerinde yaşayan endofitleri değiştokuş ederek kıyı otlarını sıcak jeotermal bölge mantarlarıyla ve jeotermal otları da kıyı bölgesi mantarlarıyla yetiştirdiklerinde, otların bu habitatlarda hayatta kalma becerisi de değişmişti. Kıyı otları artık tuzlu kıyı topraklarında değil, sıcak jeotermal topraklarda yetişebiliyordu. Sıcak jeotermal bölge otlarıysa artık bu bölgede değil, tuzlu kıyı topraklarında büyüyebiliyordu.[33]

Mantarlar hangi bitkinin nerede yetişeceğini belirleyebilir; hatta bitki topluluklarını birbirinden yalıtarak yeni türlerin evrilmesini dahi yönlendirebilirler. Dokuz kilometre uzunluğunda, yaklaşık bir kilometre genişliğindeki Lord Howe Adası, Avustralya ile Yeni Zelanda arasındadır. Bu adada evrimsel olarak birbirinden ayrılmış iki palmiye türü yaşar. Bunlardan biri (*Howea belmoreana*) asitli volkanik topraklarda, kardeş tür (*Howea forsteriana*) ise alkali kireçli topraklarda yaşar. *Howea forsteriana*'nın radikal habitat değişimi botanikçilerin uzun zamandan beri kafasını kurcalıyordu. Londra Imperial College'dan araştırmacıların 2017'de yayımlanan çalışması bundan büyük ölçüde mikorizal mantarların sorumlu olduğunu gösterdi. Araştırmacılar iki palmiye türünün farklı mantar birlikleriyle ortaklık kurduğunu buldular. *Howea forsteriana*, alkali kireçli topraklarda yaşayabilmesini sağlayan mantarlarla ilişki kurabilir. Ne var ki bu durum, atalarından kalma volkanik topraklardaki mikorizal mantarlarla ilişki kurmasını güçleştirir. O nedenle bu palmiye sadece kireçli topraklarda bulunan mantarlardan fayda sağlayabilirken, diğeri (*Howea belmoreana*) sadece volkanik topraklardaki mantarlardan yararlanabilir. Aynı coğrafi adacığı paylaştıkları halde farklı mikorizal "adalar"da yaşayan bir tür, zaman içinde iki farklı türe dönüşür.[34]

Bitkilerin ve mikorizal mantarların ilişkilerini yeniden biçimlendirebilmelerinin derin etkileri vardır. Bildiğimiz bir hikâye bu: İnsanlık tarihi boyunca diğer organizmalarla kurulan ortaklıklar hem insanların hem de insan olmayan canlıların ötesine geçti. İnsanın mısırla olan ilişkisinden yeni uygarlık biçimleri doğdu. Atlarla olan ilişkiler yeni taşımacılık biçimlerine olanak tanıdı. Bira mayası ile kurulan ilişkiler yeni alkol üretim ve dağıtım biçimlerinin gelişmesine yol açtı. Her durumda insanlar ile insan olmayan ortakları olasılıklarını yeniden tanımladılar.

Bitkiler ve mikorizal mantarlar gibi, atlar ve insanlar da birbirinden ayrı organizmalar olarak kalır ama her ikisi de organizmaların kadim ortaklık kurma eğilimini yansıtır. Antropologlar Natasha Myers ve Carla Hustak, evrim (*evolüsyon*) sözcüğünün etimolojik kökeninin "yuvarlayarak açma" anlamına geldiğini ve bu anlamın, organizmaların birbirlerinin yaşamına iştirak etmeye hazır olma durumunu kapsamadığını savunuyor. Myers ve Hustak, katlamak ve katılmak

anlamındaki *involve* sözcüğünden gelen, "içe kıvrılma, sarma" anlamındaki *involüsyon* kelimesinin bu eğilimi daha iyi tarif ettiğini ileri sürüyor. Bu bakış açısına göre involüsyon "birlikte ve yan yana yaşamanın sürekli yeni yollarını bulan organizmaların" birbirlerini itip çekmelerini daha iyi tanımlıyor. Bitkilerin kendi köklerini geliştirirken elli milyon yıl boyunca bir kök sistemi ödünç alabilmelerini mümkün kılan şey, başka organizmaların hayatına iştirak etme eğilimleriydi. Günümüzde kendi kök sistemleri olduğu halde bitkilerin hemen hepsi toprakaltı yaşamlarını idare edebilmek için hâlâ mikorizal mantarlara bağımlı. Mantarlar involüsyon eğilimleri sayesinde atmosferik ilişkilerini idare edebilmek için bir fotosentetik algi ödünç alabildiler. Hâlâ da öyle yapıyorlar. Mikorizal mantarlar bitki tohumlarının yapısına katılmaz. Bitkiler ve mantarlar, aralarındaki ilişkiyi sürekli olarak tekrar tekrar biçimlendirmek zorundadır. İnvolüsyon devamlı ve ölçüsüzdür. Bütün katılımcılar birbiriyle ortaklık kurarak önceki sınırlarının dışına ve ötesine çıkarlar.[35]

İster kirletilmiş ya da ormansızlaştırılmış yerlerde olsun ister kentsel yeşil çatılar gibi yeni oluşturulmuş ortamlarda, çevresel felaketlerin getirdiği değişimle karşı karşıya kalan yaşamın devamlılığı büyük ölçüde bitkilerin ve mantarların yeni şartlara uyum sağlayabilmesine bağlıdır. Atmosferdeki karbondioksit artışları, iklim değişikliği ve çevre kirliliği bitki köklerinin mantar ortaklarıyla aralarındaki mikroskobik alışveriş kararlarını etkiler. Bu kararların etkileri uzun zamandan beri olduğu gibi, ölçek büyüdükçe ekosistemlerin bütününe ve kara kütlelerine sirayet eder. 2018'de yapılmış büyük bir çalışma, Avrupa'daki ağaçların sağlığında ortaya çıkan "endişe verici bozulma"nın, azot kirliliği nedeniyle mikorizal ilişkilerinin sekteye uğramasından kaynaklandığını düşündürüyor. İnsanların kötüye giden iklim krizine uyum sağlama becerisini büyük ölçüde antroposenin doğurduğu mikorizal ilişkiler belirleyecek. Olasılıkların ve tuzakların en çok göze çarptığı alansa tarım.[36]

"İNSANLIĞIN SAĞLIĞI VE REFAHI mikorizal ortaklığın ne kadar verimli olduğuna bağlıdır." Modern organik tarım hareketinin kurucularından ve mikorizal mantarların tutkulu savunucularından Albert Howard böyle yazmıştı. Howard 1940'larda kimyasal gübrelerin

yaygın olarak kullanılmasının, "bereketli toprak ile beslediği ağacın evliliğine (...) aracılık eden" mikorizal ilişkileri bozacağını savunuyordu. Bu ilişkilerin parçalanmasının uzun vadeli etkileri olacaktı. "Canlı mantar iplikleri"ni kesmek, toprağın sağlığını baltalayacaktı. Bunun getireceği olumsuzluklardan hem ürünler payına düşeni alacaktı hem de bu ürünleri tüketen hayvanlar ve insanlar. "İnsanlık kendi faaliyetlerini, en temel varlığını –toprağın bereketini– koruyacak şekilde düzenleyebilir mi?" diye soruyordu Howard. "Uygarlığımızın geleceği bu sorunun yanıtına bağlı."[37]

Howard'ın üslubu dramatik olsa da seksen yıl sonra yaraya tuz basıyor. Modern endüstriyel tarım bazı açılardan etkili oldu: Üretim yirminci yüzyılın ikinci yarısında ikiye katlandı. Fakat rekolteye odaklanan tek taraflı bakış açısı karşılığında ağır bir bedel ödendi. Tarım geniş çaplı bir doğa tahribatına neden olur ve küresel sera gazı emisyonlarının dörtte birinden sorumludur. Muazzam miktarlarda pestisit kullanılmasına rağmen her yıl ürünlerin yüzde yirmi ila kırkı tarım zararlıları ve hastalıklar nedeniyle zayi olur. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında kimyasal gübre kullanımı yedi yüz kat arttığı halde küresel ölçekte tarım ürünlerinin miktarında değişme olmadı. Bütün dünyada toprağın üst tabakasından erozyonla dakikada otuz futbol sahası kadar toprak kaybediyoruz. Buna rağmen gıdanın üçte biri çöpe gidiyor ve tarım ürünlerine olan talebin 2050'ye kadar iki katına çıkması bekleniyor. Krizi ivedilikle çözme zorunluluğumuz hakkında ne söylense abartılı olmayacaktır.[38]

Mikorizal mantarlar çözümün bir parçası olabilir mi? Belki de aptalca bir soru bu. Mikorizal ilişkilerin tarihi bitkilerinki kadar eski ve bu ilişkiler yüz milyonlarca yıldan beri Dünya'nın geleceğini şekillendiriyor. Biz onları düşünsek de düşünmesek de karnımızı doyurmamıza ezelden beri katkıda bulunuyorlar. Geleneksel tarım uygulamaları dünyanın birçok yerinde binlerce yıldan beri toprağın sağlığını koruyarak bitkilerin mantarlarla olan ilişkilerini dolaylı yoldan destekledi. Fakat yirminci yüzyıl boyunca ihmalkârlığımız başımıza dert oldu. 1940'ta Howard'ın en büyük endişesi, endüstriyel tarım teknikleri geliştirilirken "toprak yaşamı"nın dikkate alınmamasıydı. Haklı olduğu anlaşıldı. Toprağı az çok cansız bir yer olarak gören tarım uygulamaları, bizi besleyen yaşamın devamlılığını sağlayan yeraltı topluluklarını

tahrip etti. Bu durum "hastalık yapan mikroorganizma" ve "mikrop" sözcüklerini aynı anlamda kullanan yirminci yüzyıl tıbbıyla da koşutluk gösterir. Vücudumuzda yaşayan bazı mikroplar gibi, toprakta yaşayan bazı organizmalar da hastalığa yol açabilir elbette. Ama çoğu tam tersini yapar. Bağırsaklarınızda yaşayan mikropların ekolojisini bozarsanız sağlığınızı kaybedersiniz; giderek artan sayıda hastalığın "mikroplar"dan kurtulma çabalarımızdan kaynaklandığını biliyoruz. Toprakta yaşayan mikropların, yani gezegenin bağırsaklarının ekolojisini bozarsanız bitkilerin sağlığı da olumsuz etkilenir.[39]

Zürih'te bir araştırma merkezi olan Agroscope'tan araştırmacıların yaptığı, 2019'da yayımlanan bir çalışmada, organik ve konvansiyonel "yoğun" (intansif) tarım uygulamalarının, ürünlerin köklerindeki mantar toplulukları üzerinde gösterdiği etki karşılaştırılmıştı. Mantar DNA'sının dizi analizini yapan araştırmacılar, hangi mantar türlerinin birbiriyle ilişkili olduğunu saptadılar. Organik ve konvansiyonel tarım yapılan topraklar arasında "dikkat çekici farklılıklar" olduğunu buldular. Organik tarım yapılan topraklarda hem mikorizal mantarlar daha boldu hem de mantar toplulukları çok daha karmaşıktı. Yirmi yedi "kilit taşı tür" saptandı; buna karşılık konvansiyonel tarım yapılan topraklarda hiç kilit taşı tür bulunmamıştı. Birçok çalışmada benzer bulgular elde edildi. Toprağın sürüldüğü, kimyasal gübre ve mantar öldürücü ilaçların kullanıldığı yoğun tarım uygulamaları mikorizal mantarların hem sayısını azaltır hem de topluluklarının yapısını değiştirir. Organik tarım ya da benzeri daha sürdürülebilir uygulamalar, topraktaki mikorizal toplulukların daha çeşitli, mantar miselyumunun daha bol olmasını sağlama eğilimindedir.[40]

Fark eder mi? Tarımın hikâyesinde ekoloji çoğunlukla kurban edilmiştir. Tarım arazisi açmak için ormanlar kesilir. Tarlaları genişletmek için çalılar sökülür. Topraktaki mikrop toplulukları için de aynısı geçerli değil mi? Toprağa kimyasal gübre atarak tarım ürünlerini besleyebiliyorsak mikorizal mantarların işini biz yapmış olmaz mıyız? Mademki bizim için artık lüzumsuzlar, mikorizal mantarları niye dert edelim?

Mikorizal mantarlar bitkileri beslemekten fazlasını yapar. Agroscope'taki araştırmacılar onları kilit taşı organizmalar olarak tanımlasa da bazıları "ekosistem mühendisleri" terimini kullanmayı tercih

ediyor. Mikorizal mantarlar, toprağı bir arada tutan canlı bir dikiş sistemidir. Mantarları çıkarırsanız toprak akar gider. Mikorizal mantarlar toprağın emebileceği su hacmini artırır ve yağmurun topraktan çekip aldığı besin elementlerinin miktarını yarı yarıya azaltır. Toprakta, bitkilerdeki ve atmosferdeki toplam karbonun iki katı kadar karbon bulunur ve bunun önemli bir bölümü mikorizal mantarların ürettiği kaba organik bileşiklere bağlıdır. Mikorizal kanallardan toprağa akan karbon karmaşık besin ağlarını destekler. Bir çay kaşığı sağlıklı toprakta yüzlerce, hatta binlerce metrelik mantar miselyumunun yanı sıra, yeryüzünde bugüne dek yaşamış bütün insanlardan daha fazla sayıda bakteri, protist, böcek ve eklembacaklı yaşar.[41]

Fesleğen, çilek, domates ve buğdayla yapılan deneyler, mikorizal mantarların hasadın niteliğini artırabileceğini gösteriyor. Mikorizal mantarlar ayrıca tarım ürünlerinin yabani otlarla rekabet etme becerisini ve bağışıklık sistemini destekleyerek hastalıklara karşı direncini artırır. Tarım ürünlerinin kuraklığa ve sıcağa olan hassasiyetini azaltır, onları tuzluluğa ve ağır metallere karşı daha dirençli hale getirir. Hatta bitkilerin savunma amacıyla kullandığı kimyasalların üretimini uyararak, zararlı böceklerle mücadele etmelerini kolaylaştırırlar. Bu liste böyle uzar gider. Bilimsel literatür mikorizal ilişkilerin bitkilere sağladığı faydalara dair sayısız örnek sunar. Ne var ki bu bilgiyi hayata geçirmek her zaman kolay olmaz. Her şeyden önce mikorizal ilişkiler verimi her zaman artırmaz. Hatta bazı durumlarda verimi düşürebilir.[42]

Katie Field tarımsal sorunlara mikorizal çözümler geliştirmek için ödenek alan pek çok araştırmacıdan biri. "İlişkinin bütünü sandığımızdan çok daha fazla şekillendirilebilir nitelikte ve düşündüğümüzden çok daha fazla çevrenin etkisi altında," diyor. "Mantarlar çoğu zaman ürünlerin besin elementlerini topraktan almasına yardımcı *olmaz*. Sonuçlar son derece değişken. Tamamen mantarın ve bitkinin tipine ve içinde yaşadığı ortama bağlı." Bazı çalışmalarda benzer şekilde önceden kestirilemeyen sonuçlar bildiriliyor. Modern tarım ürünlerinin çoğu, yüksek işlevli mikorizal ilişkiler kurabilme becerisi pek dikkate alınmaksızın geliştirildi. Fazla gübre verildiğinde hızlı büyüyen buğday soyları ürettik ve şimdi elimizde mantarlarla işbirliği yapma yetisini neredeyse kaybetmiş "şımarık" bitkiler var. Field, "Mantarların

bu tahılları kolonize etmesi küçük çaplı bir mucize," diyor üstüne basa basa.[43]

Mikorizal ilişkilerin ince detayları, en aşikâr müdahalenin –bitkileri mikorizal mantarlar ve diğer mikroplarla takviye etmenin– iki yönde etkisi olabileceği anlamına gelir. Sam Gamgee'nin de gördüğü gibi, bitkileri toprak mikroplarının bulunduğu ortama koymak bazen tarım ürünlerinin ve ağaçların yetişmesini destekleyerek tahrip olmuş topraklarda yaşamı onarabilir. Ancak bu yaklaşımın başarısı ekolojik uyuma bağlıdır. Uygun olmayan mikorizal türler bitkilere faydadan çok zarar verebilir. Daha da kötüsü, yeni ortamlara taşınan fırsatçı mantar türleri, yerel mantar suşlarının yerini alarak bilinmedik ekolojik sonuçlar doğurabilir. Hızla büyüyen ve ticari mikorizal ürünleri genellikle "standart beden" yaklaşımıyla geçici çözümler olarak pazarlayan endüstri bu gerçeği her zaman dikkate almaz. İnsanlara yönelik probiyotik ürünler pazarındaki şişmeye benzer şekilde mikrop suşlarının birçoğu özellikle uygun oldukları için değil, tesislerde kolay üretilebildikleri için tercih edilir. Akıllıca hareket edilse dahi bir ortama mikrop suşları ekerek yapılabileceklerin sınırları var. Diğer bütün organizmalar gibi mikorizal mantarlara da serpilebilecekleri koşulları sağlamak gerekir. Topraktaki mikrop toplulukları bir arada yaşar ve işleyişin sürekli sekteye uğraması karşısında bu birliktelik uzun süre dayanmaz. Mikroplarla ilgili girişimlerin etkili olabilmesi için tarım uygulamalarında, hasar gören bağırsak florasının sağlığını düzeltmek amacıyla beslenmemizde ve yaşam tarzımızda yaptığımız değişikliklere benzer, daha köklü değişikler yapmamız gerek.[44]

Diğer araştırmacılar soruna farklı bir açıdan yaklaşıyor. İnsanlar düşüncesizlikleri sonucu, mantarlarla işlevsel olmayan simbiyozlar oluşturan çeşitler (varyeteler) ürettiyse süreci tersine çevirip ileri düzeyde işlevsel simbiyotik ortaklıklar kurabilen ürünler de yetiştirebiliriz. Field bu yaklaşımı benimseyenlerden; işbirliğine daha yatkın olan, "mantarlarla inanılmaz ilişkiler kurabilen yeni bir süper ürün kuşağı" geliştirebileceğini umuyor. Kiers da bu olasılıklarla ilgilenmekle birlikte, meseleye mantar tarafından bakıyor. İşbirliğine daha yatkın bitkiler üretmektense daha özgeci davranan mantarlar, daha az istifleyen, hatta kendi gereksinimleri karşısında bitkilerinkine öncelik veren suşlar yetiştirmeye çalışıyor.[45]

Howard 1940'ta mikorizal ilişkilere dair "bilimsel bilgilerimizin eksiksiz" olmadığını itiraf etmişti. Bilimsel bilgilerimiz eksiksiz olmaktan hâlâ çok uzak ama çevresel krizler derinleştiğinden beri tarım ve ormancılığı dönüştürmek, çorak bölgelerin restorasyonunu sağlamak için mikorizal mantarlarla çalışma umudumuz arttı. Mikorizal ilişkiler, karasal yaşamın ilk zamanlarında ıssız ve kargaşa içindeki dünyanın güçlükleriyle başa çıkabilmek için evrildi. Bitkilerin mi mantarları, yoksa mantarların mı bitkileri yetiştirmeyi öğrendiğini söylemek mümkün olmasa da ikisi birlikte bir tarım biçimi geliştirdi. Öyle ya da böyle, bitkilerle mantarların birbirini daha iyi yetiştirmesine imkân vermek için tutumumuzu değiştirmek zorundayız.[46]

Kategorilerimizin bazılarını sorgulamadan daha ileriye gitmemiz olası gözükmüyor. Bitkileri kesin sınırları olan özerk bireyler şeklinde gören bakış açısı tahribata sebep oluyor. "Elinde değneğiyle kör bir adam düşünün," diye yazar kuramcı Gregory Bateson. "Kör adamın kendisi nerede başlar? Değneğin ucunda mı? Yoksa sapında mı? Ya da ortasında bir yerde mi?" Filozof Maurice Merleau-Ponty yaklaşık otuz yıl önce benzer bir düşünce deneyi yapmış, değneğin artık bir nesne olmaktan çıktığı sonucuna varmıştı. Değnek kişinin duyularının bir uzantısı, duyu aygıtının bir parçası, vücudun protez organı haline gelir. Kişinin kendisinin nerede başlayıp nerede bittiği ilk bakışta göründüğü kadar basit bir soru değildir. Mikorizal ilişkiler de bize benzer bir soruyla meydan okur. Bir bitkiyi, köklerinden toprağa doğru –salkım saçak– uzanan mikorizal ağlarından bağımsız düşünebilir miyiz? Bitkinin köklerinden başlayıp karmakarışık yayılan miselyumu takip edersek nerede durmamız icap eder? Kökleri ve mantar hiflerini kaplayan kaygan film tabakası boyunca gezinen bakterileri hesaba katmalı mıyız? Peki ya bu bitkinin mantar ağlarıyla birleşen komşu mantar ağlarını? Ve belki de en kafa karıştırıcı olan soruya gelirsek: Aynı mantar ağını paylaşan diğer *bitkileri* de hesaba katmalı mıyız?[47]

6

Orman Çapında Ağlar

> Gözlemci bu organizmaların birbirleriyle doğrusal değil, ağ benzeri karmaşık bir dokuma oluşturacak şekilde bağlantılı olduğunu yavaş yavaş anlar.[1]
>
> —Alexander von Humboldt

Kuzeybatı Pasifik ormanları yemyeşildir. O yüzden göknarlardan dökülmüş iğne yaprakların arasından çıkan inci beyazı bitki kümelerini görünce şaşırıyorum. Bu hayalet bitkilerin yaprakları yok. Dik duran lületaşı pipolara benziyorlar. Yaprak olması gereken yerlerde sapın etrafını küçük pullar sarıyor. Orman zemininde, başka hiçbir bitkinin yetişemeyeceği kadar gölgeli kuytu köşelerde çıkan bu bitki, bazı mantarlar gibi kalabalık kümeler oluşturur. Aslında çiçek oldukları bu kadar bariz olmasaydı onları mantar zannedebilirdiniz. Bitki değilmiş gibi görünen bu bitkilerin adı *Monotropa uniflora*.

Monotropa –"hayalet pipolar"– uzun zaman önce fotonsentez yapma becerisini ve beraberinde yapraklarıyla yeşil rengini de yitirmiş. Peki ama nasıl? Fotosentez bitkilerin en kadim alışkanlıklarından ve çoğunlukla da bitki olmanın vazgeçilmez özelliklerinden biridir. Buna rağmen *Monotropa* ondan vazgeçmiş. Yemek yemeyen, onun yerine kürkünde güneş ışığını kullanarak enerji üreten fotosentetik bakteriler taşıyan bir maymun türü keşfedildiğini düşünün. Burada radikal bir ayrılma söz konusu.

Çözüm mantarlarla ilgili. Yeşil bitkilerin büyük çoğunluğu gibi, *Monotropa*'nın da hayatta kalması mikorizal mantar ortaklarına bağlıdır. Ne var ki bu bitkinin simbiyotik tavrı farklıdır. "Normal" yeşil bitkiler, mantar ortaklarının topraktan alıp kendilerine verdiği

besleyici mineraller karşılığında onlara şeker ve lipid gibi enerji bakımından zengin karbon bileşikleri sunar. *Monotropa* bu değiştokuştan yan çizmenin yolunu bulmuştur. Mikorizal mantarlardan *hem* karbon *hem* de besin elementlerini alır ve göründüğü kadarıyla karşılığında herhangi bir şey vermez.

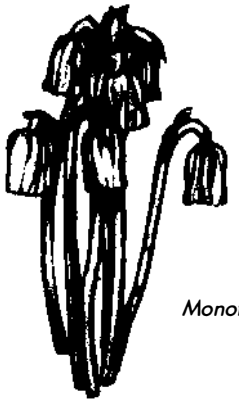
O halde *Monotropa*'nın karbonu nereden gelir? Mikorizal mantarlar karbonun hepsini yeşil bitkilerden alır. Bu da *Monotropa*'nın yaşamasını sağlayan karbonu –bitkinin yapısını oluşturan temel maddeyi– ortak bir mikorizal ağ yoluyla başka bitkilerden aldığı anlamına gelir. Karbon ortak mantar bağlantılarıyla yeşil bir bitkiden akmasaydı *Monotropa* yaşayamazdı.

Monotropa uzun zamandır biyologların kafasını karıştırıyordu. Bitkiler arasında mantar bağlantıları yoluyla madde geçişi olabileceğini on dokuzuncu yüzyılın sonlarında ilk öne süren kişi, bu garip bitkilerin nasıl yaşayabildiği sorusuyla cebelleşen bir Rus botanikçiydi. İleri sürdüğü fikir rağbet görmedi. Gizli kalmış bir makaledeki geçici bir varsayım olmaktan öteye gidemedi ve pek iz bırakmadan unutuldu. *Monotropa* bilmecesi kaldırıldığı rafta yetmiş beş yıl daha tozlanmaya devam etti. Derken 1960'ta ağaçlara radyoaktif şeker enjekte eden ve radyoaktivitenin yakındaki *Monotropa* bitkilerinde biriktiğini gösteren İsveçli botanikçi Erik Björkman tarafından tekrar ele alındı. Björkman bir mantar yolağıyla maddelerin bitkiler arasında geçiş yapabileceğini ilk kez göstermişti.[2]

Monotropa botanikçileri yepyeni bir biyolojik olasılığı gün ışığına çıkarmaya çağırıyordu. 1980'lerden sonra *Monotropa*'nın bir anormallik olmadığı açıklığa kavuştu. Bitkilerin çoğu seçici davranmayıp birçok mikorizal ortakla ilişki kurabilir. Mikorizal mantarlar da bitkilerle olan ilişkilerinde seçici değildir. Ayrı mantar ağları birbiriyle kaynaşabilir. Sonuç? Ortak mikorizal ağların meydana getirdiği birlikte çalışan, uçsuz bucaksız karmaşık sistemler.

"Attığımız her adımın altında ağın bağlantılı olması akıl almaz bir şey," diyor Toby Kiers heyecanla. "Devasa boyutlarda bir şey. Herkesin işi gücü bırakıp onu incelemediğine inanamıyorum." Ben de aynı şeyi hissediyorum. Bir yığın organizma birbiriyle etkileşim halinde. Kimin kimle etkileştiğinin bir haritası yapılsa ortaya bir ağ çıkar. Ne

var ki mantar ağları bitkiler arasında fiziksel bağlantılar oluşturur. Yirmi tanıdığınız olması ile aynı dolaşım sistemini paylaşan yirmi tanıdığınız olması arasındaki farka benzer bu durum. Bu alanda çalışan araştırmacıların "ortak mikorizal ağlar" olarak adlandırdığı bu yapılar ekolojinin en temel ilkesinin –organizmalar arasındaki ilişkilerin– somutlaşmış halidir. Humboldt "ağ benzeri karmaşık bir dokuma" sözünü, doğal dünyada "yaşayan bütün"ü, organizmaların ayrılmaz biçimde içine gömülü oldukları karmaşık ilişkileri tarif etmek için bir metafor olarak kullanmıştı. Mikorizal ağlar, bu ağı ve dokumayı gerçek kılar.[3]



Monotropa uniflora

Monotropa sorusunu daha sonra ele alanlardan biri, mikoriza biyolojisi tarihindeki en seçkin simalardan ve bu alandaki temel başvuru kitabının yazarlarından biri olan İngiliz araştırmacı David Read'di. Mikorizal ilişkilerle ilgili çalışmalarından ötürü şövalyelik unvanı alan Read, Kraliyet Cemiyeti üyesiydi. ABD'deki meslektaşlarınca "Sir Dude" (Sör Ahbap) lakabıyla bilinen Read, albenisi ve zehir gibi zekâsıyla tanınır ve araştırmacılar tarafından genellikle "nevi şahsına münhasır" olduğu söylenir.

Read ve meslektaşları 1984'te karbonun normal yeşil bitkiler arasında mantar bağlantıları yoluyla geçiş yapabildiğini ilk defa gösterdiler. Araştırmacılar böyle bir aktarımın mümkün olabileceği varsayımını 1960'larda *Monotropa*'yla ilgili çalışmalar yapmaya başladıklarından beri ileri sürüyorlardı. Fakat daha önce hiç kimse şekerlerin bitki köklerinden dışarı sızıp toprağa geçebileceğini ve başka

bitkilerin kökleri tarafından alınabileceğini gösterememişti. Bir başka deyişle hiç kimse karbonun doğrudan bir mantar kanalıyla bitkiler arasında hareket ettiğini gösterememişti.

Read bitkiden bitkiye karbon aktarımını görebilmesini sağlayan bir yöntem geliştirdi. "Verici" ve "alıcı" bitkileri yan yana ve mikorizal mantarlarla birlikte ya da onlar olmaksızın yetiştirdi. Altı hafta sonra verici bitkilere radyoaktif karbondioksit verdi. Daha sonra bitkileri hasat edip köklerinin röntgen filmini çekti. Mikorizal mantarların olmadığı grupta radyoaktivite sadece verici bitkilerin köklerinde görülüyordu. Mantar ağlarının oluştuğu gruptaysa radyoaktivite verici bitkinin köklerinde, mantar hiflerinde ve alıcı bitkinin köklerinde görülebiliyordu. Read'in deneyi kritik bir ilerlemeydi. Bitkiler arasında karbon aktarımının *Monotropa* gibi bitkilere özgü bir durum olmadığını gösteriyordu. Ne var ki hâlâ yanıtlanamamış, daha zor sorular vardı. Read deneylerini laboratuvar ortamında yapmıştı ve bitkiler arasında karbon aktarımının dışarıda, doğal ortamda da gerçekleştiğini düşündüren bir bulgu yoktu.[4]

On üç yıl sonra 1997'de Kanadalı doktora öğrencisi Suzanne Simard doğal ortamda bitkiler arasında karbon geçişi olduğunu düşündüren ilk çalışmayı yayımladı. Simard ormanda yetişen ağaç fidelerini çiftler halinde radyoaktif karbondioksite maruz bırakmıştı. İki yıl sonra karbonun ortak bir mikorizal ağı paylaşan huş ağaçlarından göknarlara geçtiğini ama aralarında böyle bir ağ bulunmayan huş ve sedir ağaçları arasında geçiş olmadığını bulmuştu. Göknar ağaçlarının bu yolla elde ettiği –huş ağaçlarının aldığı işaretlenmiş karbonun ortalama yüzde altısını oluşturan– karbon miktarı, Simard'ın hesaplarına göre anlamlı düzeyde bir aktarıma işaret ediyordu: Bunun zaman içinde ağaçların yaşamında bir farklılık yaratması beklenirdi. Dahası göknar fideleri gölgede –fotosentezin kısıtlanmasıyla karbon kaynağından mahrum– bırakıldıkları zaman verici huşlardan, gölgede bırakılmadıklarında olduğundan daha fazla karbon alıyordu. Göründüğü kadarıyla bitkiler arasında bolluktan yokluğa doğru "yokuş aşağı" bir karbon akışı vardı.[5]

Simard'ın bulguları bütün dikkatleri üzerine çekti. Araştırması *Nature* dergisinde yayımlanmak üzere kabul edildi ve derginin editörü, Read'den bir yorum yazmasını rica etti. "Birbirine Bağlayan

Bağlar" başlıklı yorumunda Read, Simard'ın çalışmasının "bizi orman ekosistemlerini taze bir bakış açısıyla incelemeye teşvik ettiği"ni söylüyordu. *Nature*'ın editörüyle yaptığı görüşmeler sırasında kullandığı yeni bir terim derginin kapağına büyük harflerle basılmıştı: "The Wood Wide Web", yani Orman Çapında Ağ.[6]

Read, Simard ve diğerlerinin 1980'ler ve 90'larda yaptıkları çalışmalardan önce bitkiler birbirlerinden az çok ayrı varlıklar olarak düşünülürdü. Bazı ağaç türlerinde, bir ağacın köklerinin bir başka ağacınkilerle kaynaşması sonucu kök greftlerinin meydana geldiği uzun zamandır biliniyordu. Ne var ki kök greftlerinin marjinal bir durum olduğu kabul ediliyor, çoğu bitki topluluğunun kaynaklar için rekabet eden bireylerden oluştuğu düşünülüyordu. Simard'ın ve Read'in bulgularıysa bitkileri böyle keskin sınırlarla ayrılabilen birimler olarak kabul etmenin belki de uygun olmadığını öne sürüyordu. Read'in *Nature*'daki yorumuna göre, kaynakların bitkiler arasında geçiş yapabiliyor olma ihtimali, "bitkiler arasındaki rekabete daha az, kaynakların topluluk içindeki dağılımına daha fazla vurgu yapmamız gerektiği"ni düşündürmektedir.[7]

Simard bulgularını modern ağ biliminin gelişim sürecinin önemli bir ânında yayımladı. İnterneti oluşturan kablo ve yönlendiriciler ağı 1970'lerden beri genişliyordu. İnternet donanımının mümkün kıldığı, ağ sayfalarını ve aralarındaki bağlantıları esas alan bir enformasyon sistemi olan World Wide Web (www, Dünya Çapında Ağ) 1989'da icat edilmiş ve iki yıl sonra halkın erişimine açılmıştı. İnternet, ABD Ulusal Bilim Vakfı 1995'te idaresini bıraktıktan sonra denetimsiz ve merkezsizleştirilmiş biçimde genişlemeye başladı. Ağ bilimcisi Albert-László Barabási'nin söylediğine göre "1990'ların ortalarında ağlar kamusal bilincin alanına girmeye başladı."[8]

1998'de Barabási ve meslektaşları Dünya Çapında Ağ'ın haritasını çıkarmak amacıyla bir proje başlattılar. O zamana kadar bilim insanları, insan hayatında sık görülmelerine rağmen karmaşık ağların yapısını ve özelliklerini analiz edecek araçlara sahip değildi. Matematiğin ağ modellemeleri yapan dalı –çizge kuramı– gerçek dünyadaki çoğu ağın davranışlarını tanımlayamıyordu ve pek çok soru hâlâ yanıtsızdı. Salgınlar ve bilgisayar virüsleri nasıl bu denli hızlı yayılabiliyordu?

Bazı ağlar büyük ölçüde sekteye uğrasalar bile işlevlerini nasıl koruyabiliyorlardı? Barabási'nin Dünya Çapında Ağ ile ilgili çalışması sonucunda yeni matematiksel araçlar ortaya çıktı. Görünüşe göre insanların cinsel ilişkilerinden organizmalardaki biyokimyasal etkileşimlere, çeşitli ağların davranışlarını birkaç temel ilke yönetiyordu. Barabási Dünya Çapında Ağ'ın "bir hücre ya da bir ekolojik sistemle, bir İsviçre saatiyle olduğundan daha fazla ortak noktası bulunduğu"nu söylüyordu. Günümüzde ağ biliminden kaçmak imkânsız. Nörobilimden biyokimyaya, ekonomik sistemlerden salgın hastalıklara, ağ arama motorlarından yapay zekânın esasını oluşturan makinelerin öğrenme algoritmalarına, astronomiye ve gaz filamentleriyle galaksi kümelerinin meydana getirdiği kozmik bir ağ olan evrenin yapısına kadar hangi alanı seçerseniz seçin açıklamaya çalıştığınız fenomeni muhtemelen bir ağ modeli kullanarak anlamlandırabilirsiniz.[9]

Read'in anlattığı üzere "Ortak mikorizal ağ görüşü", Simard'ın makalesinden alınan ilham ve orman çapında ağ kavramının akılda kalıcılığının etkisiyle "hızla yayıldı" ve sonunda James Cameron'ın yönetmenliğini üstlendiği *Avatar* filmine sızıp bitkileri yeraltında birbirine bağlayan parlak, canlı bir ağ şeklinde kendini gösterdi. Read ile Simard'ın çalışmaları heyecan verici bir dizi yeni soru ortaya atmıştı. Bitkiler arasında karbondan başka hangi maddeler geçiş yapabiliyordu? Bu fenomen doğada hangi sıklıkta görülüyordu? Bu ağların etkisi ormanları ya da ekosistemleri kapsayacak kadar geniş olabilir miydi? Ve nasıl bir fark yaratıyorlardı?

Ortak mikorizal ağların doğada yaygın olduğunu kimse yadsımıyor. Bitkilerle mantarların birbirleriyle gelişigüzel birlikteliği ve miselyum ağlarının kaynaşmaya hazır olmasından ötürü ortak ağların oluşması kaçınılmaz. Ne var ki herkes bu ağların önemli bir işlevi olduğuna ikna olmuş değil.

Bir taraftan, Simard'ın makalesinin 1997'de *Nature*'da yayımlanmasından bu yana bitkiler arasında madde aktarımını ölçen pek çok çalışma yayımlandı. Bunlardan bazıları karbonun yanı sıra, anlamlı miktarlarda azot, fosfor ve suyun da mantar ağları aracılığıyla bitkiler arasında aktarılabildiğini gösterdi. 2016'da yayımlanan bir çalışmada, ormanda ağaçlar arasındaki mantar bağlantılarıyla hektar başına 280

kg karbon taşınabildiği saptandı. Ormanda hektar başına atmosferden çekilen yıllık toplam karbonun yüzde dördünü oluşturan ve ortalama bir evin bir haftalık enerji ihtiyacını karşılamaya yetecek önemli bir miktar bu. Bu bulgular ortak mikorizal ağların önemli bir ekolojik rolü olduğunu düşündürüyor.[10]

Öte yandan bazı çalışmalarda bitkiler arasında madde aktarımı gözlemlenmemiştir. Bu bulgu tek başına, mikorizal ağların herhangi bir rol oynamadığı anlamına gelmez. Önceden gelişmiş büyük bir mantar ağına bağlanabilen bir fidenin kendi mikorizal ağını yetiştirmesi için gereken karbonu sıfırdan üretmesi gerekmez. Ne olursa olsun bu bulgular bir ekosistemden diğerine ya da bir mantardan diğerine genelleme yapmanın kolay olmadığını düşündürüyor. Göründüğü kadarıyla birçok örnekte ortak mikorizal ağlar, bitki ortakları için tek "özel" bir mikorizal ortağın yapacağından fazlasını yapmıyor.[11]

Ortak mikorizal ağ davranışlarının değişken olması beklenir. Pek çok farklı mikorizal ilişki tipi vardır ve mantar grupları birbirinden oldukça farklı davranabilir. Dahası tek bir bitki ve mantarın simbiyotik davranışı koşullara göre büyük değişkenlik gösterebilir. Buna rağmen deneysel bulguların çeşitliliği araştırmacılar arasında görüş ayrılığına neden olmuştur. Bazı araştırmacılara göre mevcut deliller ortak mikorizal ağların, başka türlü mümkün olamayacak etkileşim biçimlerine olanak tanıdığını ve ekosistemlerin davranışları üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu gösteriyor. Delilleri farklı yorumlayan bazı araştırmacılarsa ortak mikorizal ağların benzersiz ekolojik olasılıklar yaratmadığı ve bitkiler açısından, köklerinin bulunduğu ortak alandan ya da paylaştıkları havadan daha önemli olmadığı sonucuna varıyor.[12]

Monotropa bu tartışmada yolumuzu bulmamıza yardımcı olabilir; hatta görünüşe göre mevzuyu bir sonuca bağlamaktadır. *Monotropa* ortak mikorizal ağlara bütünüyle bağımlıdır. Read bu konuyu açtığımda, "Bitkiler arasında mantar yolağıyla madde aktarımının herhangi bir önemi olmadığı görüşü açıkça saçma," yorumuyla kesin tavrını koydu. *Monotropa* bitkileri, ortak mikorizal ağların benzersiz bir yaşam biçimini destekleyebildiği gerçeğinin canlı tanıkları olan tam zamanlı alıcılardır.

Monotropa bitkileri "mikoheterotrof"tur. "Miko" beslenme açısından mantarlara bağımlı olduklarını, "heterotrof" ise güneş ışığını

kullanarak kendi enerjilerini üretemediklerinden enerjiyi başka yerden almaları gerektiğini ifade eder ("hetero" sözcüğü "diğer", "trof" ise "besleyen" anlamına gelir). Bu kadar karizmatik bitkiler için sevimsiz bir isim. Panama'da mavi çiçekli bir mikoheterotrof olan *Voyria* üzerinde çalışırken onlara kısaca "mikohet" demeye başlamıştım ama bunun pek de önemli bir ilerleme olmadığını itiraf etmeliyim.

Bu şekilde yaşayan bitkiler *Monotropa* ve *Voyria* ile sınırlı değil. Bitki türlerinin yaklaşık yüzde onu böyle yaşar. Likenler ve mikorizal ilişkiler gibi mikoheterotrofluk da bir evrimsel nakarattır ve en az kırk altı ayrı bitki soyunda birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. *Monotropa* ve *Voyria* gibi mikohetler hiç fotosentez yapmaz. Diğerleriyse Katie Field'ın "şimdi al, sonra öde" olarak adlandırdığı yaklaşımla küçükken mikohet gibi davranır ama büyüdüklerinde verici haline gelerek fotosentez yapmaya başlar. Read, yirmi beş bin tür içeren ve "Dünya üzerindeki en büyük ve muhtemelen en başarılı bitki ailesi" olan orkidelerin *hepsinin* ister şimdi alıp sonra ödesinler ister şimdi alıp sonra da almaya devam etsinler, gelişimlerinin bir aşamasında mikohet olarak yaşadıklarının altını çiziyor. Mikohetlerin kendi çıkarları doğrultusunda ağda korsanlık yapmayı tekrar tekrar öğrenmiş olmaları, bunu başarmanın o kadar da zor olmadığını düşündürür. Nitekim Read ve başka bazı araştırmacılara göre mikohetler kendi başına bir kategori değil. Bu görüşe göre mikohetler, simbiyotik sürekliliğin bir ucunda yer alan, sonradan ödeme yetisini yitirmiş kalıcı alıcılardır. Şimdi alıp sonra ödeyen orkidelerse Simard'ın göknar fideleri gibi, yelpazenin ortasında bir yere düşer.[13]

Mikohetler çarpıcıdır. Dikkat çekici ve aykırıdırlar; ortamın bitki örtüsünde kendilerini hemen belli ederler. Yeşil ya da yapraklı olmaları için herhangi bir neden bulunmadığından, evrim onları yeni estetik yönlere özgürce taşıyabilir. Bir *Voyria* türü tepeden tırnağa sarıdır. Amerikalı doğabilimci John Muir'in 1912'de "alev alev yanan ateşten bir sütun"a benzettiği kar bitkisinin (*Sarcodes sanguinea*) rengi, canlı kırmızıdır. Muir, "Turistler ona Kaliforniya'daki diğer bütün bitkilerden daha fazla hayranlık duyar (...) Kan kırmızı rengiyle insanı kendine çeker," diye yazmıştı. (Muir, Doğa'yı birbirine bağlayan "binlerce görünmez ip" üzerinde kafa yormuştu ama bunun kar bitkisi için

kelimenin gerçek anlamıyla doğru olduğunu bilmiyordu.) *Voyria*'nın toz benzeri tohumlarının çimlenerek özlü demetlere dönüştüğünü mikroskop altında gördüğümde öylesine şaşırmıştım ki. Paris'teki Ulusal Doğa Tarihi Müzesi'nden Profesör Marc-André Selosse, simbiyoza karşı hayat boyu besleyeceği hayranlığın tohumlarını, on beş yaşındayken karşılaştığı inci beyazı bir mikohet orkidenin attığını anlatmıştı. Orkide, bitki ve mantar yaşamlarının ne denli ayrılmaz olduğunu hatırlatıyordu. "Bu bitkinin anısı, meslek hayatım boyunca şimdiye kadar hiç peşimi bırakmadı," sözleriyle dile getirmişti sevgisini.[14]

Mikohetleri, yeraltındaki mantarların yaşamı hakkında bize gösterdiklerinden ötürü ilginç buluyorum. *Voyria* cangıldaki bitkilerin kargaşası içinde ortak mantar ağlarının işlevsel olduğunun bir işaretiydi; mikohetler ancak orman çapında ağda korsanlık yaparak yaşayabilir. Bitkiler arasında anlamlı miktarda karbon geçişi olup olmadığını *Voyria* sayesinde karmaşık deneylere girişmeksizin ölçebilmiştim. Fikir, Oregon'da matsutake mantarlarının peşine düşen arkadaşlarımla konuşurken kafamda belirdi. Bir mikorizal mantarın meyvesi olan matsutake bazen daha orman zemininde yüzeye çıkmadan toplanır. Onu nerede bulacağınızı gösteren bir ipucuyla karşılaşırsınız. Matsutake, Monotropa'nın kuzeni olan ve kırmızı-beyaz çizgili sapından ötürü "çubuk şeker" (*Allotropa virgata*) adıyla bilinen bir mikohet ile ilişki kurar. Çubuk şekerler sadece matsutake mantarıyla ilişkilenir ve onların varlığı aynı yerde matsutake mantarının da yaşadığının, mantarın kendisini görmek kadar kesin bir göstergesidir. Birçok mikohet gibi çubuk şekerler de mikorizanın yeraltı dünyasına uzanan periskoplara benzer.

Cazibeleri göz önüne alındığında, mikohetlerin yıllar içinde bir şeye işaret ettiği anlaşılmış olabilir. Çubuk şekerler matsutake avcılarına yeraltındaki matsutake ağlarının yerini belli eden gerçek göstergelerse *Monotropa* da biyologlar için kavramsal bir göstergeydi. Likenler genel anlamda simbiyoz, *Monotropa* ise ortak mikorizal ağlar için geçit organizmalardı. *Monotropa*'nın kendine has görüntüsü, bitkiler arasında ortak mantar bağlantıları yoluyla yepyeni bir yaşam biçimini destekleyebilecek kadar fazla madde geçişi olabileceğini düşündürüyordu.

BÜTÜN FİZİKSEL SİSTEMLERDE enerji fazla olduğu yerden az olduğu yere doğru "yokuş aşağı" akar. Isı, sıcak olan güneşten uzaya yayılır. Bir trüf mantarının kokusu, derişimin yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere hareket eder. İkisinin de aktif biçimde taşıması gerekmez. Bir enerji eğimi olduğu sürece, enerji kaynaktan (tepeden) yutağa (dibe) doğru hareket eder. Önemli olan, iki uç arasındaki eğimin ne kadar dik olduğudur.

Birçok durumda kaynaklar mikorizal ağlar yoluyla büyük bitkilerden küçük olanlara aktarılır. Büyük bitkilerin genellikle kaynakları ve ışığa erişimi daha fazla, kök sistemleri daha gelişkindir. Gölgede yetişen ve kök sistemleri cılız olan, daha küçük bitkiler açısından büyük bitkiler kaynak, küçük bitkilerse yutak konumundadır. Şimdi alıp sonra ödeyen orkideler yaşama yutak olarak başlayıp yaşlandıkça kaynağa dönüşür. *Monotropa* ve *Voyria* gibi mikohetlerse sonsuza kadar yutak olarak kalır.[15]

Boyut her şey değildir. Kaynak-yutak dinamikleri, birbiriyle bağlantılı bitkilerin etkinliklerine göre değişebilir. Simard göknar fidelerini gölgede yetiştirerek fotosentez yapma becerilerini azaltıp onları daha güçlü karbon yutaklarına dönüştürdüğünde, bu fideler verici konumundaki huş ağaçlarından daha çok karbon almıştı. Bir başka örnekte araştırmacılar fosforun ölen bitkilerin köklerinden, onlarla aynı mantar ağını paylaşan yakındaki sağlıklı bitkilere geçtiğini gözlemlediler. Ölen bitkiler besin elementleri bakımından kaynak, canlı bitkilerse yutaktı.[16]

Kanada ormanlarındaki huş ağaçları ve Douglas göknarlarıyla ilgili bir çalışmada, karbon aktarımının yönü, tek bir büyüme mevsiminde *ikikere* değişmişti. İlkbaharda, her dem yeşil bir ağaç olan göknar fotosentez yapar ve henüz yapraksız olan huşun tomurları yeni yeni patlarken, huş ağacı yutak olarak davranıyor, karbon göknardan huşa akıyordu. Yazın huş tamamen yapraklandığında göknar gölgede kalıyor, karbon akışının yönü huştan göknara dönüyordu. Sonbaharda huşlar yaprak dökünce ağaçlar yine rol değiştiriyor, karbon göknardan huşa doğru akıyordu. Kaynaklar bolluk bölgesinden yokluk bölgesine doğru yer değiştiriyordu.[17]

Bu davranışlar bilmece gibidir. En basit haliyle problem şu: Bitkiler kaynaklarını niye potansiyel rakipleri olan komşu bitkiye aktaracak

bir mantara verir? İlk bakışta bu davranış özgecilik gibi görünür. Evrim kuramı özgecilikle pek bağdaşmaz çünkü alıcı özgeci davranıştan fayda sağlarken verici bunun için bedel öder. Verici bir bitki bedelini ödediği halde bir rakibine destek oluyorsa genlerini bir sonraki kuşağa aktarma olasılığı azalır. Özgecinin genleri bir sonraki kuşağa aktarılamazsa özgecilik davranışı çok geçmeden elenerek ortadan kalkar.[18]

Bu açmazdan çıkmanın birkaç yolu var. Bunlardan biri, verici bitkilere kesilen faturanın aslında bedel olmadığı görüşüdür. Birçok bitki bol ışığa erişebilir. Böyle bitkilerde karbon sınırlı bir kaynak değildir. Bir bitkinin karbon fazlası "kamu yararına" mikorizal ağa geçtiğinde özgecilik ne vericiye ne de alıcıya bir bedel yükler. Bir diğer yol *hem* gönderen *hem de* alıcı bitkilerin fayda görmesi ama bunun farklı zamanlarda gerçekleşmesi olasılığıdır. Bir orkide "şimdi alıp sonra ödüyorsa" kimse bedel ödemez. Huş ilkbaharda göknardan karbon alarak faydalanabilir ama yaz gelince diğer ağaçların gölgesinde kalan göknar da huştan alacağı karbondan fayda sağlar.[19]

Göz önüne alınması gereken başka hususlar da var. Evrimsel açıdan düşünüldüğünde bir bitki, bedel ödemesi gerekse bile genlerini sonraki kuşağa aktarmasında yakın bir akrabasına destek oluyorsa kendisine fayda sağlayabilir. Buna "akraba seçilimi" denir. Douglas göknarı fidelerinde, kardeş çiftler ve akraba olmayan çiftler arasında karbon geçişini karşılaştıran çalışmalarda bu olasılık araştırılmıştı. Bekleneceği üzere, karbon daha büyük olan verici bitkiden daha küçük olan alıcı bitkiye taşınmıştı. Fakat bazı durumlarda kardeşler arasındaki karbon geçişi, yabancılar arasında olandan daha fazlaydı. Yabancılara kıyasla kardeşler arasında ortak mantar bağlantılarının daha fazla olması, onlara karbon geçişinde kullanılabilecek daha çok yolak sağlıyordu.[20]

BİR BİLMECEYİ EN HIZLI çözmenin yolu, bakış açısını değiştirmektir. Ortak mikorizal ağlarla ilgili bütün bu hikâyelerde kahramanların bitkiler olduğu dikkatinizi çekmiş olmalı. Mantarlaraysa bitkiler arasında bağlantı kurmaları ve kanal vazifesi görmeleri ölçüsünde yer verilir. Bitkilerin birbirlerine madde pompalayabilmek için kullandıkları bir boru sisteminden fazlasını ifade etmezler.

Buna bitkimerkezcilik denir.

Bitkimerkezli bakış açısı durumu çarpıtabilir. İnsanların hayvanlara bitkilerden daha fazla dikkat etmeleri, bitkilere karşı kör olmalarına yol açar. Bitkilere mantarlardan daha fazla dikkat etmeleriyse bizi mantarlara karşı körleştirir. "Bence bu ağların üzerinde olması gerekenden fazla duruyorlar," diyor Selosse. "Bazıları ağaçların yaşamında sosyal bakımın ya da emekliliğin olduğunu, genç ağaçların kreşlerde yaşadığını ve grup halinde yaşayan ağaçlar için hayatın kolay ve zahmetsiz olduğunu söylüyor. Mantarları boru hattı gibi gösteren bu bakış açılarından pek hoşlanmıyorum. Durum böyle değil. Mantar kendi çıkarları olan canlı bir organizma ve sistemin aktif bir parçası. Belki de bitkileri araştırmak mantarları araştırmaktan daha kolay olduğu için pek çok insan ağı son derece bitkimerkezli bir bakış açısıyla görüyor."

Aynı fikirdeyim. Hiç kuşkusuz bitkilerin yaşamımızla daha bariz bir ilgisi olduğu için bitkimerkezciliğin tuzağına düşüyoruz. Bitkilere dokunabilir, onları koklayabiliriz. Oysa mikorizal mantarları ele geçirmek zordur. Orman çapında ağın dili bu konuda bize yardımcı olmaz. Bu dil bitkilerin internet sayfalarına ya da ağdaki düğümlere eşdeğer olduğunu, mantarlarınsa düğümleri birbirine bağlayan hiperbağlantılar olduğunu ima eder. Donanım dilinde bunun karşılığı internettir; bitkiler yönlendiriciler, mantarlarsa kablolardır.

Aslında mantarlar pasif kablolar olmaktan çok uzaktır. Daha önce de gördüğümüz gibi, miselyum ağları karmaşık uzamsal problemleri çözebilmenin yanı sıra, çeşitli maddeleri oradan oraya taşıyabilmek için ince ayarlı bir beceri geliştirmişlerdir. Madde mantar ağlarında her ne kadar yokuş aşağı, kaynaktan yutağa doğru taşınma eğilimi gösterse de taşınma nadiren sadece pasif difüzyon yoluyla gerçekleşir. Pasif difüzyon fazlasıyla yavaştır. Mantar hifleri içinde akan hücresel sıvı nehirleri maddenin hızlı taşınmasına olanak sağlar ve bu akış kaynak-yutak dinamiklerince tayin edilmesine rağmen, mantarlar büyüyerek, kalınlaşarak ve ağın bazı bölümlerini budayarak, hatta bambaşka bir ağla kaynaşarak bu akışı yönetebilir. Mantarların kendi ağları içindeki akışı düzenleme becerileri olmasaydı şapkalı mantarların titizlikle hazırlanmış bir koreografiye göre büyümesi dahil mantar yaşamının büyük bölümü imkânsız hale gelirdi.

Mantarlar kendi ağları içinde madde taşınmasını başka yollardan da yönetebilir. Kiers'ın çalışmaları, mantarların ister işbirliğine daha

yatkın bitki ortaklarını "ödüllendirmek" ister dokularındaki mineralleri "istiflemek" ya da kaynakları etraflarında hareket ettirmek yoluyla olsun alışveriş örüntülerini bir dereceye kadar kontrol ederek "kur oranını" en uygun düzeye getirdiğini düşündürüyor. Kierce'ın kaynak eşitsizliğiyle ilgili çalışmasında fosfor, bol bulunduğu yerlerden az olduğu yerlere doğru hareket etmiş ama bunu pasif difüzyonla olamayacak kadar hızlı gerçekleştirmiş, muhtemelen mantar mikrotübül "motorlar" yardımıyla taşınmıştı. Bu aktif taşıma sistemleri, mantarların maddeleri kendi ağları içinde, kaynak ile yutak arasındaki derişim farkından bağımsız olarak herhangi bir yönde –hatta aynı anda iki yönde birden– getirip götürebilmesini sağlar.[21]

Orman çapında ağ teriminin sorunlu bir metafor olmasının başka nedenleri de var. Orman çapında tek bir ağ çeşidi olduğu fikri yanıltıcıdır. Mantarlar bitkileri birbirine bağlasalar da bağlamasalar da karmaşık ağlar meydana getirirler. Ortak mikorizal ağlar, bitkilerin mantar ağlarıyla sarmaş dolaş olduğu özel bir durumdur sadece. Ekosistemler, organizmalar arasında ilişki kuran, mikorizal olmayan mantar miselyumu ağlarıyla kaplıdır. Örneğin Lynne Boddy'nin araştırdığı çürükçül mantarlar ekosistemlerde uzak mesafelere yayılır ve kilometrelerce öteye uzanarak rekor kıran bal mantarı ağlarının yaptığı gibi, çürüyen yapraklarla düşen dalları, parçalanarak ayrışan iri çotuklarla çürüyen kökleri birbirine bağlarlar. Bu mantarlar orman çapında farklı türde ağlar oluşturur; bitkilerin yaşamını desteklemek yerine onları tüketen ağlardır bunlar.

Orman çapında ağda her bağlantı, kendi hayatı olan bir mantardır. Bu küçük detay büyük fark yaratır. Mantarları aktif katılımcılar olarak gördüğümüzde her şey değişir. Mantarı hikâyeye katmak, bizi mantarın tarafından bakmaya teşvik eder. Mantarın tarafından bakabilmekse ortak mikorizal ağların kimin çıkarlarına hizmet ettiği sorusunu yanıtlamamıza yardımcı olur. Bundan kim faydalanır?

İlişkide olduğu çeşitli bitkileri canlı tutabilen bir mikorizal mantar avantajlıdır; bitki ortakların çeşitliliği, birinin ölümü karşısında mantarın sigortasıdır. Bir mantar birkaç orkideye bağımlıysa ve bunlardan biri, büyüyene dek mantara karbon temin edemiyorsa mantar genç orkideyi destekleyerek, "sonra ödemesi" koşuluyla "şimdi almasına" izin vererek bundan yararlanır. Mantar odaklı bir bakış açısı

benimsemek özgecilik sorununu önler. Ayrıca mantarları, kendi gereksinimlerine göre bitkiler arasındaki etkileşimlere aracılık eden dolaşıklık simsarları olarak ön saflara ve merkeze konumlandırır.

BAKIŞ AÇIMIZ ister mantarmerkezli olsun ister bitkimerkezli, mikorizal bir ağı paylaşmak birçok durumda bitkilere açıkça fayda sağlar. Genel anlamda diğerleriyle ortak bir ağı paylaşan bitkilerin büyümesi, bu ortak ağın dışında kalan bitkilere göre daha hızlı, hayatta kalma ihtimaliyse daha fazladır. Bu bulgular, orman çapında ağları, bitkileri kaynaklar için rekabetin katı hiyerarşilerinden kurtarabilecek bakım, paylaşma ve karşılıklı yardımlaşma yerleri olarak gören bakış açılarını besledi. Bu yorumlar, 1990'ların coşkulu ortamında internetin yirminci yüzyılın katı iktidar yapılarından bir kaçış ve dijital bir ütopyaya giriş yolu olabileceğini ilan eden aşırı iyimser fantezilerden çok da farklı değildi.[22]

İnsan toplumları gibi ekosistemler de nadiren bu kadar tek boyutludur. Read'e ve diğer bazı araştırmacılara göre toprakla ilgili ütopik hayaller, insani değerlerin hiç çekinilmeden insan olmayan bir sisteme yansıtılmasından kaynaklanıyor. Kiers gibi araştırmacılarsa ortak bir hedefe ulaşmak için birlikte çalışmanın her zaman rekabet *ve* işbirliğinin bir alaşımı olduğunun görmezden gelindiğini iddia ediyorlar. İnternette olduğu gibi miko-ütopyanın da temel sorunu, ortak mikorizal ağların her zaman faydalı olmaması. Orman çapında ağlar bitki, mantar ve bakteri etkileşimlerinin karmaşık amplifikatörleridir.

Ortak mikorizal ağlara katılan bitkilerin bundan fayda sağladığını bulan araştırmaların çoğu, belli bir mikorizal mantar türüyle ("ektomikorizal" mantarlar) ilişki kuran ağaçların yaşadığı ılıman iklimlerde yapılmıştı. Bazı durumlarda, kendi özel mantar ağının olması ya da diğer bitkilerle ortak bir mantar ağını paylaşması bitki için görünüşe göre fazla fark yaratmaz; buna karşılık mantar, daha fazla sayıda bitki ortağa erişebilmesini sağlayan ortak bir ağ yaratmaktan fayda görür. Bazı durumlarda ortak bir ağa ait olmak bitkilerin doğrudan aleyhine sonuç verir. Mantarlar topraktan aldıkları minerallerin kontrolünü elinde tutar ve bu besin elementlerini hem karbon kaynağı daha bol hem de topraktaki mineraller bakımından daha güçlü bir yutak olan daha büyük bitki ortaklarıyla takas etmeyi tercih edebilir.

Bu asimetriler, aynı ağı paylaşan bitkiler arasındaki rekabette, büyük bitkilerin daha küçük olanlara göre sahip oldukları avantajı daha da güçlendirebilir. Böyle durumlarda küçük bitkiler, ancak ağla olan bağlantıları kesildiği ya da aynı ağı paylaşan ve orantısız ölçüde fazla besin elementi çeken büyük bitkiler azaldığı zaman ağdan faydalanmaya başlar.[23]

Ortak mikorizal ağlar daha muğlak sonuçlar da doğurabilir. Bazı bitkiler, yakınlarında yetişen bitkileri güdük bırakan ya da öldüren kimyasallar üretir. Normal koşullarda bu kimyasalların toprağa geçişi yavaştır ve her zaman toksik derişimlere ulaşmaz. Mikorizal ağlar bu sınırlamaların aşılmasını sağlayabilir ve bazı durumlarda zehirli caydırıcılar yayan bitkiler için bir "mantar hız şeridi" ya da "otoyolu" oluşturur. Bir deneyde kestane ağaçlarının dökülen yapraklarından salıverilen toksik bir bileşik, mikorizal ağlar yoluyla ilerleyip domateslerin kökleri etrafında birikerek büyümelerini engellemişti.[24]

Bir başka deyişle orman çapında ağlarda enerji bakımından zengin bileşikler, besin elementleri ya da su gibi kaynaklardan çok daha fazlası taşınır. Zehirlerin yanı sıra, bitki büyümesini ve gelişmesini düzenleyen hormonlar da ortak mikorizal ağlardan geçebilir. Birçok mantar türünde DNA içeren çekirdeklerin ve virüsler ya da RNA gibi diğer genetik unsurların miselyum yoluyla seyahat edebilmesi, genetik maddenin bitkiler arasında bir mantar kanalıyla taşınabileceğini düşündürür. Fakat bu olasılıklara yönelik yok denecek kadar az araştırma yapılmıştır.[25]

ORMAN ÇAPINDA ağların en şaşırtıcı özelliklerinden biri, bitkiler dışındaki organizmaları sarıp sarmalama biçimleridir. Mantar ağları bakterilerin topraktaki bir engelin etrafından dolaşabilmesini sağlayan otoyollar oluşturur. Avcı bakteriler bazen avlarını kovalamak ve yakalamak için miselyum ağlarını kullanır. Bazı bakteriler mantar hiflerinin arasında kendilerine bir yaşam kurar ve mantarların büyümesini artırır, metabolizmalarını uyarır, önemli vitaminler sentezler, hatta mantarların bitki ortaklarıyla olan ilişkilerini etkilerler. Mikorizal bir kuzugöbeği mantarı türü olan *Morchella crassipes* kendi ağı içinde yaşayan bakterileri tabiri caizse yetiştirir. Mantar bakteri topluluklarını "eker", yetiştirir, hasat eder ve sonra da onları tüketir. Ağ içinde,

mantarın bazı bölümlerinin besin üretiminden, bazı bölümlerininse tüketiminden sorumlu olduğu bir işbölümü hâkimdir.[26]

Daha aşırıya kaçan olasılıklar da var. Bitkiler her türlü kimyasalı yayar. Örneğin bakla bitkisi yaprak bitlerinin (afidler) saldırısına uğrayınca yaralı bölgeden dışarı sızan uçucu bileşikler, bu böceklerle beslenen parazit yabanarılarını çeker. Bitkinin durumu hakkında bilgi taşıdığı için "infokimyasallar" olarak adlandırılan bu maddeler, bitkilerin gerek iç gerekse diğer organizmalarla haberleşmesinde kullandığı yollardan biridir.

İnfokimyasallar bitkiler arasında ortak mantar ağları yoluyla yeraltından aktarılabilir mi? Bu soru üzerinde düşünen Lucy Gilbert ve David Johnson, İskoçya'da Aberdeen Üniversitesi'nde birlikte çalışmaya başlamışlardı. Ustaca bir deney tasarladılar. Bakla bitkilerinin bir kısmının ortak mikorizal ağla bağlantı kurmasına izin verirken, bir bölümünde ince naylon bir örgüyle bağlantıyı kestiler. Bu örgü su ve kimyasalların geçişine izin veriyor ama farklı bitkilerle bağlantısı olan mantarlar arasında doğrudan teması engelliyordu. Bitkiler büyüdükten sonra yaprak bitlerinin ağa dahil olan bitkilere saldırmasına izin verdiler. Bitkilerin üzerine örtülen plastik torbalar infokimyasalların hava yoluyla iletilmesini önlüyordu.

Gilbert ve Johnson'ın elde ettiği bulgular, varsayımlarını açıkça doğruluyordu. Yaprak bitlerinin saldırısına uğrayan bitkiyle ortak bir mantar ağı üzerinden bağlantısı olan bitkiler, kendileri doğrudan saldırıya uğramadıkları halde savunma amaçlı uçucu bileşiklerin üretimini artırmışlardı. Bitkilerin ürettiği uçucu bileşiklerin, parazit yabanarılarını çekebilecek kadar fazla olması, bitkiler arasında mantar kanalıyla aktarılan bilginin gerçek hayatta da bir fark yaratabileceğini düşündürüyordu. Gilbert bunun "yepyeni" bir bulgu olduğunu söylüyordu. Ortak mikorizal ağların daha önce bilinmeyen bir yönünü ortaya çıkarmışlardı. Verici bir bitki alıcı bitkiyi etkilemekle kalmıyor, bu etki uçucu kimyasallar şeklinde alıcının ötesine geçebiliyordu. Ortak mikorizal ağ yalnızca iki bitki arasındaki ilişkiyi değil, iki bitki, onlara zarar veren yaprak bitleri ve yabanarısı müttefikleri arasındaki ilişkiyi de etkiliyordu.[27]

2013'ten bu yana Gilbert ile Johnson'ın bulgularının normalden sapma olmadığı açıklığa kavuştu. Benzer bir durum tırtıl saldırısına

uğrayan domates bitkilerinde ve tomurcuk kurdu saldırısına uğrayan Douglas göknarı ve çam fideleri arasında da gözlemlendi. Bu çalışmalar heyecan verici yeni olasılıklara kapı aralıyor. Konuştuğum araştırmacıların çoğu, mantar ağları yoluyla bitkiler arasındaki iletişimin mikorizal davranışların en çekici yönlerinden biri olduğu konusunda hemfikir. Ne var ki iyi tasarlanmış deneyler, verdikleri yanıtlardan daha fazla soru doğurur. Johnson "Bitkiler aslında neye yanıt veriyor ve mantarlar aslında ne *yapıyor*?" soruları üzerinde düşünüyordu.[28]

Bir varsayıma göre, infokimyasallar bitkiler arasında ortak mantar ağları yoluyla iletilir. Bitkilerin yerin üstünde bu kimyasalları kullanarak haberleştiğini bildiğimizden, en muhtemel olasılık bu. Merak uyandırıcı bir diğer olasılık ise mantar hifleri boyunca elektriksel impulsların iletimidir. Stefan Olsson ve nörobilimci meslektaşları, bir mikorizal mantar ve diğer bazı mantarların miselyumlarının uyarıya hassas aksiyon potansiyellerini iletebildiğini buldular. Bitkiler elektriksel sinyal mekanizmasını, kendi bölümleri arasındaki haberleşme için de kullanır. Elektriksel sinyallerin bitkiden mantara ve sonra tekrar bitkiye geçip geçmediği henüz araştırılmadı ama bu o kadar da uzak bir ihtimal değil. Ne var ki Gilbert ayağını sağlam basıyor. "Bilmiyoruz. Bu sinyallerin varlığı bile bizim için yeni bir bulgu. Yeni bir araştırma alanının daha ilk adımını atıyoruz." Gilbert için öncelikli olan şey, sinyalin doğasını tanımlamak. "Bitkilerin neye yanıt verdiğini bilmeden sinyalin nasıl kontrol edildiğine ya da nasıl gönderildiğine ilişkin soruları cevaplayamayız."

Aydınlatılması gereken çok fazla şey var. Bir seradaki saksılarda yetiştirilen küçük bakla bitkilerini bağlayan mantar ağlarıyla enformasyon taşınabiliyorsa doğal ekosistemlerde neler olup bitiyor? Havada, bitkilerin etrafında dönüp duran kimyasal işaretler ve sinyaller hengâmesine kıyasla mantar yolaklarının rolü ne kadar büyük? Enformasyon yeraltında mantar ağları yoluyla ne kadar uzağa taşınabilir? Johnson ve Gilbert, enformasyonun bir bitkiden diğerine ve sonra bir başkasına bir tür röle sistemiyle aktarılıp aktarılmadığını anlayabilmek için bitkileri "papatya zincirleri" şeklinde bağlayarak deneyler yapıyorlar. Bulgular ekoloji açısından önemli sonuçlar doğurabilir ama Johsnon temkinli davranıyor. "Laboratuvar bulgularını birdenbire birbiriyle konuşan ve haberleşen ağaçlarla dolu ormanlar ölçeğine

taşımak işi biraz abartmak olur," diyor. "Bir saksıda elde edilen bulguları bütün bir ekosisteme uyarlamakta fazla aceleci davranılıyor."

BİTKİLERLE MANTARLAR ARASINDA neler geçtiği sorusu orman çapında ağları inceleyen araştırmacılar için çetrefil bir konudur. Bu konudaki bilgi eksikliği bizi bazı kavramsal açmazlara sürükler. Sözgelimi bitkiler arasında enformasyonun nasıl aktarıldığını bilmeden, verici bitkilerin aktif olarak bir uyarı mesajı mı "gönderdiği" yoksa alıcı bitkilerin komşularının stresine mi kulak kabarttığı sorusunu yanıtlamak imkânsız. Kulak kabartma senaryosunda göndericinin davranışının kasıtlı olduğunu söylemek mümkün değil. Kiers, "Bir böceğin saldırısına uğrayan ağaç elbette kendi dilinde çığlık atar: Saldırıya karşı hazır olmak için bir çeşit kimyasal salgılar," diye açıklıyor. Bu kimyasallar ağ yoluyla bir bitkiden diğerine kolayca geçebilir. Hiçbir şey aktif olarak *gönderilmez*. Alıcı bitki sadece durumun farkına varır. Johnson bunu bir benzetmeyle açıklıyor. Birinin çığlık attığını duyduğumuzda bu, o kişinin bizi uyarmak *amacıyla* çığlık attığı anlamına gelmez. Çığlığı duyunca davranışımızı değiştirebiliriz elbette ama bu, çığlık atanın niyetine dair bir ipucu vermez. "Belli bir durum karşısında verilen tepkiye kulak kabartmışsınızdır sadece."

Bu, kılı kırk yaran bir yaklaşımmış gibi gelebilir ama etkileşimi hangi taraftan okuduğumuz çok şeyi değiştirir. Bir uyaran, bir bitkiden diğerine öyle ya da böyle ulaşır ve alıcının saldırıya hazırlanmasını sağlar. Ancak bitkiler mesaj gönderiyorsa bunun bir sinyal olduğunu, komşular kulak kabartıyorsa bir işaret olduğunu düşünürüz. Ortak mikorizal ağların davranışını en iyi nasıl yorumlayacağımız hassas bir konudur. Bazı araştırmacılar orman çapında ağlar için çizilen tablo konusunda endişeliler. "Bitkilerin komşularına yanıt verebildiklerini bulmuş olmamız özgeci bir ağın işbaşında olduğunu göstermez," diyor Johnson. Bitkilerin birbirleriyle konuştuğu ve eli kulağında bir saldırıya karşı birbirlerini uyardıkları fikri insanbiçimci bir sanrıdır. "Böyle düşünmek çok cazip gelse de," diye itiraf ediyor Johnson, sonuçta "fasa fisodan ibaret."

Çığlık metaforu da pek işe yaramayabilir. İnsan bir derdi olduğunda, çok şaşırdığında, heyecanlanınca ya da acı çekiyorsa çığlık atar. Bazen de içine düştüğümüz müşkül duruma dair başkalarını uyarmak için çığlık atarız. Sıkıntılı bir insana derdinin ne olduğunu doğrudan

sorabiliriz ama sebeple sonucu birbirinden ayırmak her zaman kolay olmaz. Hele bitkilerde bu daha da zordur. Bitkiler bir yaprak biti saldırısıyla karşılaştıklarında birbirlerini mi uyarırlar, yoksa komşunun attığı kimyasal çığlıkları mı duyarlar sorusu belki de yanlış sorudur. Kiers, "Sorgulanması gereken şey anlattığımız hikâye. Gerçekten yapmak istediğim, dili bir kenara bırakıp *olguyu* anlamaya çalışmak." Bir kez daha, bu davranışın en başında niye evrildiğini sormak daha çok işimize yarayabilir: Bundan kim fayda görür?

Alıcı bakla bitkisi elbette ikazdan faydalanır. Bitki, yaprak bitleri geldiğinde savunma mekanizmalarını harekete geçirmiş olacaktır. Peki ama komşularını uyarmak, gönderici bakla bitkisine nasıl bir fayda sağlar? Yine özgecilik sorununa tosluyoruz. Ve yine labirentten çıkmanın en hızlı yolu, bakış açısını değiştirmekten geçiyor. Birlikte yaşadığı bitkiler arasında uyarı mesajı taşımanın bir *mantara* nasıl bir faydası olur?

Bir mantarın birkaç bitkiyle bağlantısı varsa ve bunlardan biri yaprak bitlerinin saldırısına uğramışsa sadece o bitki değil, mantar da zor duruma düşer. Bir bitki kümesi bütün olarak alarm verirse yabanarılarını çekmek için tek bir bitkinin üretebileceğinden daha fazla kimyasal üretir. Kimyasal ikaz ışığını güçlendirebilen bir mantar tabii ki bu becerisinin faydasını görür; bitkiler de bundan yararlanır elbette ama bir bedel ödemezler. Benzer şekilde hasta bir bitkiden sağlıklı bitkiye stres sinyalleri ulaştığında, sağlıklı bitkinin hayatta kalmasından yararlanan mantar olur. "Bir ormandaki ağaçların kaynaklarını başka ağaçlara veriyor göründüğünü farz edin," diyor Gilbert. "O anda mantarın A ağacının birazcık hasta olduğunu, B ağacınınsa hasta olmadığını fark etmesi ve kaynakların bir kısmını A ağacına kaydırması bana daha olası görünüyor. Mantarmerkezli bir bakış açısı benimsediğinizde her şey anlam kazanıyor."

ORTAK MİKORİZAL AĞLARLA ilgili çoğu çalışma kendini bitki *çiftleriyle* sınırlar. Read, bir bitkinin köklerinden diğerine geçen radyoaktiviteyi görüntülemişti. Simard verici bitkiden alıcılara geçen radyoaktif işaretleyicilerin izini sürmüştü. Bu deneyleri ancak az sayıda bitki üzerinde yapabilirsiniz. Fakat orman çapında ağlar onlarca, yüzlerce metre, hatta muhtemelen daha da ötelere uzanır. Sonra ne olur? Dışarıya

bakın. Ağaçlar, çalılar, otlar, sarmaşıklar, çiçekler. Kim kimle ve nasıl bağlantılı? Orman çapında ağın haritası neye benzer?

Ortak mantar ağlarının mimarisini bilmeden neler olup bittiğini anlamamız zor. Kaynakların ve infokimyasalların ağ içinde çoktan aza doğru yokuş aşağı hareket etmeye meyilli olduğunu biliyoruz. Fakat hikâyenin bütünü kaynaklar ve yutaklardan ibaret olamaz. Kalbiniz, yüksek ve düşük basınç alanları yaratarak kanın "yokuş aşağı" akmasını sağlayan bir pompadır. Kaynak-yutak dinamikleri kanın vücutta niye dolaştığını açıklayabilir ama organlarınıza niye şu ya da bu şekilde ulaştığını açıklayamaz. Bu durum kan damarlarıyla ilgilidir; damarların kalınlığına, nasıl dallandığına ve vücudunuzda izlediği yola bağlıdır. Mikorizal ağlar için de aynısı geçerli. İçinden geçebileceği bir ağ sistemi olmadığı sürece madde, kaynaktan yutağa akamaz.

Simard'ın eski öğrencilerinden Kevin Beiler, 2000'lerin sonlarında ortak mikorizal ağın uzamsal yapısının haritasını çıkarmaya yönelik benzersiz iki çalışmanın başyazarıdır. Beiler nispeten basit bir ekosistem seçmişti: Britanya Kolumbiyası'nda farklı yaşlardaki Douglas göknarlarından oluşan bir orman. Beiler insanlarda babalık testi için kullanılan bir tekniği uyguladı. Otuza otuz metrelik bir alandaki mantarların ve ağaçların teker teker genetik parmak izini çıkararak kimin kimle ilişkili olduğunu belirledi. Olağanüstü detaylı bir çalışmaydı bu. Birçok araştırmada hangi bitki türünün hangi mantar türüyle etkileştiği incelenmişti ama pek azı bunun ötesine geçip hangi bireylerin birbiriyle bağlantılı olduğu sorusunu sormuştu.[29]

Beiler'ın haritaları dikkat çekiciydi. Mantar ağları onlarca metre yayılıyordu ama ağaçlar arasındaki bağlantılar eşit değildi. Genç ağaçların az, yaşlı ağaçların çok sayıda bağlantısı vardı. En fazla bağlantısı olan ağaç, kırk yedi ağaçla ilişkiliydi ve daha büyük bir alan seçilmiş olsaydı bu sayı iki yüz elliye çıkacaktı. Harita üzerinde parmağınızla ağaçtan ağaca zıplayarak –ki bu bitkimerkezli bir yaklaşımdır elbette– ormanda dolaşırsanız bazı ağaçlara daha fazla uğrarsınız. Bağlantıları iyi olan az sayıda yaşlı ağaç üzerinden ağı bir uçtan diğer uca kat edebilirsiniz. Bu "bağlantı merkezleri" yoluyla en fazla üç adımda istediğiniz ağaca ulaşmanız mümkün olur.

1999'da Barabási ve meslektaşları da Dünya Çapında Ağ'ın ilk haritasını yayımladıklarında benzer bir örüntü bulmuşlardı. Ağ sayfaları

başka ağ sayfalarına bağlanır ama bütün sayfaların bağlantı sayısı aynı değildir. Sayfaların büyük çoğunluğunun sadece birkaç bağlantısı vardır. Pek az sayfaysa son derece iyi bağlantılıdır. Bağlantı sayıları en fazla ve en az olan sayfalar arasındaki fark muazzamdır: Ağ'daki bağlantıların yaklaşık yüzde sekseni, sayfaların yüzde on beşine işaret eder. Küresel havayollarından beyindeki nöron ağlarına diğer birçok ağda aynı durum geçerlidir. Bunların her birinde bağlantı merkezleri birkaç adımda ağı bir uçtan diğer uca kat etmeyi mümkün kılar. Hastalıklar, haberler ve modalar ağın bu "ölçeksiz" özellikleri sayesinde topluluk içinde hızla yayılır. Genç bir bitkinin, ormandaki ağaçların gölgesinde hayatta kalabilmesini ya da infokimyasalların ormanda bir meşcereden etrafa dalga dalga yayılmasını sağlayan şey ortak mikorizal ağın bu ölçeksiz özellikleri olabilir. "Genç bir fide karmaşık, iç içe geçmiş ve kararlı bir ağa çabucak bağlanır," diyor Beiler. "Bunun hem fidenin hayatta kalma şansını hem de ormanın dayanıklılığını artırmasını bekleriz." Ama bir yere kadar. Orman çapında ağı güdümlü saldırılara karşı savunmasız bırakan da aynı ölçeksiz özelliklerdir. Google, Amazon ve Facebook'u bir gecede ortadan kaldırırsanız ya da dünyanın en işlek üç havalimanını kapatırsanız büyük bir kargaşaya neden olursunuz. En değerli keresteyi elde etmek için ticari ağaç kesme operasyonlarının birçoğunda yapıldığı gibi, bağlantı merkezi konumunda olan büyük ağaçları ortadan kaldırırsanız ciddi bir tahribat yaratırsınız.[30]

Burada temel kanunlar işbaşında değildir. Ölçeksiz özellikler, büyüyen herhangi bir ağda ortaya çıkma eğilimi gösterir. "Dünyada ortaya çıkan ağların çoğu, bir çeşit büyüme sürecinin sonucudur," diyor Barabási. Yeni bir düğümün, az bağlantısı olan bir düğüme kıyasla çok bağlantısı olan bir düğümle bağlantı kurması daha kolaydır. O nedenle fazla bağlantısı olan eski düğümlerin bağlantıları daha da artar. Beiler'ın da dediği gibi, "Bu mikorizal ağları *bulaşıcı* süreçler gibi görebilirsiniz. Kurucu ağaçlarınız vardır ve ağlar bu ağaçlardan büyür. Diğer ağaçlarla daha fazla bağlantısı olan ağaçlar daha hızlı ve daha çok bağlantı biriktirir."

Bu, orman çapında ağların mimarisinin dünyanın diğer bölgelerinde de benzer olduğu anlamına mı gelir? Mümkün ama emin olmak için henüz yeterli sayıda ağın haritasını çıkarmadık. Saksıdaki bir bitkiden elde edilen sonuçları bütün bir ekosisteme genellemek birtakım

sorunlar doğurur; otuza otuz metrelik bir alandan elde edilen sonuçları genellemek de daha kolay değildir. Bitki olmanın pek çok yolu olduğu gibi, mantar olmanın da pek çok yolu var. Bazı bitkiler binlerce mantar türüyle ilişki kurabilir; bazılarının ilişki kurabildiği mantarların sayısıysa onu geçmez ve bunlar kendi türdeşleriyle klikleşerek ağ oluşturur. Bazı mantar tiplerinin miselyumları başka miselyum ağlarına kolayca aşılanarak büyük, bileşik ağlar oluşturur; bazı mantarlarsa kendilerini tecrit etmeye yatkındır. Panama'dayken *Voyria*'nın tek bir mantar türüne bağımlı olduğunu ama bu özelleşmenin onu kısıtlamadığını bulmuştum. *Voyria*'nın ortağı, ormanda en bol bulunan mikorizal mantardı ve ormanda sık görülen ağaç türlerinin hepsiyle ilişkisi olduğu için bu mantar, *Voyria*'nın olabilecek en fazla sayıda bitkiyle bağlantı kurmasını sağlıyordu. Aynı ormanda yetişen ama farklı bir strateji geliştiren diğer mikohetlerse değişik mantar türleriyle ilişki kuruyordu.[31]

Beiler'ın ormandaki araştırması için –kısmen basitlik adına– seçtiği küçük alanda bile bulmacanın birçok parçası eksik kalıyor. Hazırladığı haritalar, nasıl bir düzen içinde yaşadıklarını gösterse de ağaçların ve mantarların aslında ne *yaptıklarını* bilmiyoruz. "Topu topu bir ağaç ve iki mantar türünü inceledim; yani bütün topluluğun çok küçük bir kısmını," diyor Beiler. "Yaptığım, uçsuz bucaksız, açık bir sisteme göz ucuyla bakmak, küçük bir pencere açmaktı sadece. Tarif ettiğim her şey, ormandaki gerçek bağlantısallığın altında kalan kaba bir tahmin."

Voyria KARMAŞIK kök sistemleri oluşturma becerisini yitirmiştir. Onlara ihtiyacı yoktur; ortak mantar ağı onun kökleridir. Eskiden köklerin bulunduğu yerde küme halinde özlü parmaklar gelişmiştir. Onları kesip açarsanız *Voyria*'nın hücrelerini dolduran kıvrım kıvrım hifler görürsünüz. Hatta bu kökler bazen gömülü olmayıp toprağın yüzeyinde yumruğa benzeyen küçük yapılar halinde bulunur. Onları kolayca koparabilirsiniz. Mantarla olan bağlantıları ânında kesilir. Bir bitkinin yaşamla olan bağlarını bu denli rahat kesebilmek tuhaf bir duygu. Ağa tutunması *Voyria* için ölüm kalım meselesi olduğu halde fiziksel bağlantıları çok narindir. Bitki için gereken onca maddenin böylesine kırılgan bir geçidi nasıl aşabildiğini hep merak etmişimdir.

Mikorizal ağlarla ilgili araştırmaların çoğunda olduğu gibi *Voyria* bitkilerini toplamak, yani ağla bitki arasındaki bağlantıları kesmek, incelemenin bir parçasıydı. Bu iş günlerce sürdü. Ve kestiğim şeyin aslında incelediğim bağlantılar olduğu ironisi üzerine günlerce düşündüm. Biyologlar anlamaya çalıştıkları organizmaları genellikle yok eder elbette. Bu fikre ne kadar alışılabilirse o kadar alışkındım. Fakat bir ağı incelemek için o ağın bağlantılarını kesmeyi son derece saçma buluyordum. Fizikçi Ilya Prigogine ve Isabelle Stengers, karmaşık sistemleri bileşenlerine parçalayarak genellikle tatminkâr açıklamalar elde edilemeyeceğine dikkat çeker; parçaları tekrar nasıl bir araya getireceğimizi genellikle bilmeyiz. Orman çapında ağlar bu açıdan özellikle zorlayıcıdır. Miselyum ağlarının doğal topraklarda çok sayıda bitkiyle yürüttüğü etkileşimleri nasıl idare ettiklerini bilmek şöyle dursun, kendi davranışlarını nasıl eşgüdümlü hale getirdiklerinden ve iç temaslarını nasıl sürdürdüklerinden dahi emin değiliz. Ne var ki bir miselyum ağının bir *şey* olmaktan çok, süregiden bir durum olduğunu biliyoruz. Miselyum ağlarının birbiriyle kaynaşabildiğini, kendini budayabildiğini, etrafındaki akışın yönünü değiştirebildiğini, kimyasallar salıverip bunlara yanıt verebildiğini biliyoruz. Mikorizal mantarların bitkilerle bağlantılar kurduğunu ve bu bağlantıları önce düğümleyip sonra çözerek, sonra tekrar düğümleyerek yeniden oluşturabildiğini biliyoruz. Kısacası orman çapında ağların kesintisiz bir yapım yıkım döngüsüyle devam eden dinamik sistemler olduğunu biliyoruz.[32]

Bu şekilde davranan yapılara "karmaşık adaptif sistemler" denir. Böyle bir sistem, bileşenleriyle ilgili bildiklerimize dayanarak davranışlarını kestirmemiz zor olduğundan karmaşık, koşullara göre kendini yeni biçimlerle ya da davranışlarla organize edebildiği için adaptif olarak tanımlanır. Siz de diğer bütün organizmalar gibi karmaşık adaptif bir sistemsiniz. Dünya Çapında Ağ da öyle. Beyinler, termit kolonileri, arı kovanları, şehirler, finans merkezleri ve daha birçok şey de. Karmaşık adaptif sistemlerde küçük değişiklikler, sistemde ancak bir bütün olarak gözlemlenebilen büyük etkiler doğurabilir. Nadiren doğrudan bir sebep-sonuç ilişkisi kurulabilir. Dikkat çekmeyen uyaranlar bile şaşırtıcı yanıtlara yol açabilir. Ekonomik krizler, doğrusal olmayan bu dinamik sürece iyi bir örnektir. Hapşırıklar ve orgazm da öyle.[33]

O halde ortak mikorizal ağları nasıl düşünmek gerek? Bir süperorganizma olarak mı? Bir metropol mü? Canlı bir internet mi? Ağaçlar için bir kreş mi? Toprak sosyalizmi mi? Ormanın menkul kıymetler borsasında mantarların itiş kakış yaşadığı geç kapitalizmin serbest pazarı mı? Ya da bitkileri kendi çıkarları için ırgat olarak çalıştıran mikorizal derebeylerinin yarattığı bir mantar feodalizmi mi? Bunların hepsi sorunlu benzetmeler. Orman çapında ağların ortaya attığı sorular bu sınırlı karakterlerin izin verdiğinden çok daha ötelere uzanır. Ancak bazı hayali araçlara ihtiyacımız var. Ortak mikorizal ağların karmaşık ekosistemlerde gerçekten nasıl davrandığını –neler yapabildiğinden çok, aslında neler yaptığını– anlamak için belki de onları, daha iyi incelenmiş diğer karmaşık adaptif sistemleri anlamak için kullandığımıza benzer terimlerle düşünmeye başlamalıyız.

Simard, ormanlardaki ortak mikorizal ağlarla hayvan beyinlerindeki nöral ağlar arasında koşutluklar çiziyor. Mantar ağlarıyla bağlı ekosistemlerde ortaya çıkan karmaşık davranışları daha iyi anlamamız için gereken gereçleri nörobilimin sağlayabileceğini savunuyor. Mikolojiye kıyasla nörobilim, kendini organize eden dinamik ağlarda karmaşık adaptif davranışların nasıl geliştiği sorusuyla daha uzun süreden beri uğraşıyor. Simard mikorizal ağların birer beyin *olduğunu* iddia etmiyor. İki sistem arasında sayısız farklılık var: Her şeyden önce beyinler farklı türlere değil, tek bir organizmaya ait hücrelerden meydana gelir. Ayrıca beyin anatomik olarak sınırlıdır ve mantar ağları gibi bir araziyi kaplayamaz. Yine de beyin ile mantar ağı arasında kurulan benzerlik akıl çelicidir. Nörobilim mikolojiden onlarca yıl ve yüz milyarlarca dolar ileride olmasına rağmen, orman çapında ağlar ya da beyin üzerinde çalışan araştırmacıların karşılaştıkları güçlükler birbirinden farklı değil. "Nörobilimciler, nöral ağların haritasını çıkarmak için beyni ince ince dilimliyor," diyor Barabási şaka yollu. "Bütün köklerin ve mantarların nerede olduklarını ve kimin kimle bağlantı kurduğunu tam olarak anlayabilmeniz için siz ekologların da bir ormanı ince ince dilimlemesi gerek."[34]

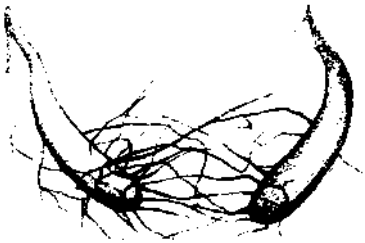
Simard'ın gözlemlerine göre beyinle bu ağlar arasında –yüzeysel olsa bile– bize bir şeyler anlatan bazı örtüşme noktaları var gibi görünüyor. Beyinde enformasyonun A'dan B'ye birkaç adımda geçmesini

sağlayan, iyi bağlantılı birkaç modülün bulunduğu etkinlik ağları ölçeksizlik özelliği gösterir. Mantar ağları gibi, beyinler de yeni koşullara cevaben kendilerini yeniden biçimlendirir, bir başka deyişle "bağlantılarını adaptif olarak yeniden oluştururlar." Az kullanılan nöron yolakları da az kullanılan miselyum parçaları gibi budanır. Mantarlarla ağaç kökleri arasında olduğu gibi, nöronlar arasında da yeni bağlantılar –sinapslar– oluşur ve güçlenir. Nörotransmitter adı verilen kimyasallar sinapslardan geçerek enformasyonun sinirden sinire iletilmesini sağlar; benzer şekilde, kimyasal maddeler mikorizal "sinapsları" aşarak mantardan bitkiye ya da bitkiden mantara geçer ve bazı durumlarda aralarında enformasyonun iletilmesini sağlar. Nitekim bitkilerdeki temel sinyal molekülleri, hayvanlardaysa beyin ve omurilikte en yaygın bulunan nörotransmitterler olan glutamat ve glisin aminoasitlerinin bu kavşaklarda bitkilerle mantarlar arasında geçiş yapabildiğini biliyoruz.[35]

Fakat son kertede orman çapında ağların davranışları muğlaktır; beyin analojileri de internet ya da siyaset analojileri kadar sınırlayıcıdır. Bu ağlar ne kadar eşgüdümlü çalışır ve işaretler –yoksa sinyaller mi demeli?– mantar kanalları yoluyla bitkiler arasında ne kadar fazla iletilirse orman çapında ağlar birbiriyle o kadar örtüşür ve dışarıya doğru saçaklanarak kapsayıcı şekilde yayılır. Mantar miselyumu içinde bir yerden bir yere giden bakteriler de ağa dahildir. Yaprak bitlerinin ve bakla tarafından üretilen uçucu bileşiklerin ziyafete davet ettiği parazit yabanarıları da. Hatta tabloya biraz daha geri çekilip bakarsak insanlar da. Bitkilerle etkileşim içinde olduğumuzdan beri bilerek ya da bilmeyerek mikorizal ağlarla da etkileşim içindeyiz.[36]

Kendimizi bu metaforlardan kurtarıp alışılmış düşünce kalıplarının dışına çıkmayı, en klişe totemlerimizden birine yaslanmadan orman çapında ağlar hakkında konuşmayı öğrenebilir miyiz? Ortak mikorizal ağların bildiğimiz yanıtlar değil, sorduğumuz sorular olmasına izin verebilir miyiz? Orman çapında ağlarla ilgili tartışmalarda, liken simbiyozunda durmadan yeni ortaklar keşfeden araştırmacı Toby Spribille'in şu sözleri geliyor aklıma: "Sadece sisteme bakmaya ve likeni liken olarak görmeye çalışıyorum." Orman çapında ağlar liken değiller ama onları içinde gezinebileceğimiz muazzam likenler olarak

düşündüğümüzde kullandığımız çeşitli metaforlara bir yenisini ekliyoruz. Her şeye rağmen Spribille'in sabrından bir şeyler öğrenebilir miyiz, merak ediyorum. Bir adım geri çekilip sistemin bütününe bakarak evlerimizi, dünyalarımızı meydana getiren bu çoksesli korodaki bitkilerin, mantarların ve bakterilerin kendilerinden başka hiçbir şeye *benzemediklerini* kabul edebilir miyiz? Böyle düşünmek zihnimizi nasıl etkiler?



7
Radikal Mikoloji

> Dünyayı iyi kullanmak, onu ve ondaki zamanımızı boşa harcamamak için içinde nasıl var olacağımızı yeniden öğrenmeliyiz.[1]
>
> —Ursula K. Le Guin

Boğazıma kadar çürüyen ağaç yoncasına batmış, çırılçıplak yatıyordum. Yongalar sıcaktı; buharı sedir ağacı ve eski kitaplar gibi küf kokuyordu. Bu nemli ağırlığın altında gözlerim kapalı, arkama yaslanmış, buram buram terliyordum.

Kaliforniya'da, Japonya dışındaki ender fermantasyon banyolarından birindeydim. Islatılan yonga yığını iki haftalık çürüme sürecinin ardından büyük, ahşap bir banyo küvetine doldurulup ben gelmeden önce bir hafta daha olgunlaşmaya bırakılmıştı. Sadece organik madde ayrışmasının yüksek enerjisiyle ısınan banyo fırın gibi sıcaktı.

Sıcaktan sersemlemiş halde odunu parçalayan mantarları düşünüyordum. Çürüyen yonga çorbasının içinde pişmiyorken her şeyin çürüdüğünü olduğu gibi kabul etmek ne kadar da kolay. Hepimiz çürüme ve ayrışmanın geride bıraktığı alanda yaşıyor, nefes alıp veriyoruz. İçim yanmıştı, bir pipetle biraz soğuk su yudumladım, alnımdan ter süzülen gözlerimi kırpıştırdım. Şu andan itibaren organik ayrışmayı durdurabilseydik gezegende üst üste yığılıp biriken cesetler kilometrelerce derinliğe ulaşırdı. Bu bize göre bir kriz olabilir, oysa aynı manzara mantarlar açısından muhteşem bir fırsatlar yığınıdır.

Uyuklamaya başlamıştım. Aklımdan geçen senaryo, mantarların çarpıcı bir küresel dönüşüm sonucunda serpilip çoğalmasının ilk örneği olmazdı elbette. Mantarlar ekolojik kargaşalardan sağ çıkan

gazilerdir. Felaket dönemlerindeki değişimlerde hayata tutunmaları –ve genellikle yıldızlarının parlaması– belirleyici özelliklerinden biridir. Mantarlar yaratıcı, esnek ve işbirlikçidir. Yerkürenin büyük bölümü beşeri faaliyetlerin tehdidi altındayken, uyum sağlamamıza yardımcı olmaları için mantarlarla ortaklık kurabilir miyiz?

Bütün bunlar boğazına kadar talaşa batmış birinin hezeyanları gibi gelebilir ama böyle düşünen radikal mikologların sayısı her geçen gün artıyor. Kriz zamanlarında pek çok simbiyoz oluşmuştur. Likendeki ortaklardan biri olan alg, mantarla ilişki kurmadan çıplak kaya üzerinde yaşayamaz. Tahrip olmuş bir gezegendeki yaşama uyum sağlamamızın tek yolunun, mantarlarla yeni ilişkiler geliştirmemiz olması çok mu uzak bir ihtimal?

290 İLA 360 MİLYON YIL ÖNCE, Karbonifer dönemde, tropikal bölgelerdeki bataklık ormanlarında, mikorizal mantar ortaklarının desteğiyle ilk odunsu bitkiler yayılıyordu. Bu ormanlar büyüdü, öldü ve yaşarken atmosferden çok büyük miktarlarda karbondioksit çekti. Bu bitkisel malzemenin büyük bölümü milyonlarca yıl boyunca ayrıştırılmadı. Çürümemiş ölü orman tabakaları üst üste biriktikçe öyle muazzam bir karbon deposu oluşturdu ki atmosferdeki karbondioksit düzeylerinde büyük bir azalma meydana geldi ve gezegen küresel bir soğuma dönemine girdi. Bitkiler bu iklim krizinin sebebi oldukları kadar mağduruydular. Karbonifer yağmur ormanları çöküşü olarak bilinen yok oluş sırasında çok geniş tropikal ormanlık alanlar ortadan kalktı. Odun, nasıl olmuştu da iklim değişikliğini başlatan bir kirletici haline gelmişti?[2]

Odun, bitkiler açısından görkemli bir yapısal yenilikti, hâlâ da öyle. Bitkiler serpildikçe ışık için daha zorlu bir mücadeleye girmeye başladılar ve ışığa ulaşmak için uzadılar. Uzadıkça da yapısal desteğe daha fazla ihtiyaç duyar hale geldiler. Bitkilerin bu sorun karşısında ürettiği çözüm odun oldu. Günümüzde, her yıl on beş milyardan fazlası kesilen üç trilyon civarında ağacın odunu, Dünya üzerinde yaşayan bütün canlı organizmaların toplam kütlesinin yaklaşık yüzde altmışını ve üç yüz küsur gigaton karbon kaynağı oluşturur.[3]

Odun melez bir malzemedir. Odunsu olsun olmasın bütün bitki hücrelerinin yapısında yer alan selüloz, yeryüzünde en bol bulunan

polimerdir. En bol bulunan ikinci polimerse lignindir (odunözü). Odunu odun yapan şey, lignindir. Selülozdan daha sağlam ve daha karmaşıktır. Selüloz düzenli glikoz zincirlerinden oluşur, ligninse moleküler halkaların gelişigüzel oluşturduğu bir matrikstir.[4]

Bugüne dek pek az organizma lignini ayrıştırmanın yolunu bulabildi. En verimli grup, ayrıştırma sırasında odunun rengini soldurduğu için bu isimle anılan beyaz çürüklük mantarlarıdır. Canlı organizmaların kimyasal tepkimeleri gerçekleştirmek için kullandığı biyolojik katalizörler olan enzimlerin çoğu, belli biçimlerdeki moleküllere kilitlenir. Kimyasal yapısı fazlasıyla düzensiz olan lignin karşısında bu yaklaşım ümitsizdir. Beyaz çürüklük mantarları, molekülün şeklinden bağımsız çalışan, özgül olmayan enzimler kullanarak bu sorunu aşar. "Peroksidazlar" grubunda yer alan bu enzimler "serbest radikaller" denen son derece reaktif moleküllerin sağanak gibi boşalmasına neden olur. Serbest radikaller, "enzimatik yanma" süreciyle ligninin yapısındaki sıkı bağları kırar.

Mantarlar muhteşem ayrıştırıcılardır. Fakat biyokimyasal etkinlikleri arasında en etkileyici olan, beyaz çürüklük mantarlarının odundaki lignini parçalayabilmesidir. Beyaz çürüklük mantarlarının ürettiği peroksidazlar serbest radikalleri açığa çıkararak, teknik anlamda "radikal kimyası" olarak bilinen süreci gerçekleştirir. "Radikal" sözcüğü bu terimde tam yerini bulur çünkü bu enzimler karbonun doğal döngülerdeki güzergâhını sonsuza kadar değiştirmiştir. Günümüzde mantarların yaptığı –büyük bölümü odunsu bitkilere yönelik– ayrıştırma, en büyük karbon emisyon kaynaklarından biridir; bu yolla her yıl atmosfere yaklaşık seksen beş gigaton karbon verilir. 2018'de fosil yakıtların kullanımına bağlı karbon emisyonu miktarı on gigaton civarındaydı.[5]

On milyonlarca yıllık ormanlar Karbonifer dönemde nasıl çürümeden kalabildi? Bu konuda farklı görüşler var. Kimileri iklimle ilgili etkenlere işaret ediyor: Tropikal ormanlar durgun, sulak yerlerdi. Ölen ağaçlar, beyaz çürüklük mantarlarının ulaşamadığı oksijensiz bataklıklara gömülüyordu. Kimileriyse ligninin ilk kez Karbonifer dönemin başlarında ortaya çıktığını ve o dönemde beyaz çürüklük mantarlarının henüz lignini parçalayamadığını, bozunma aygıtlarını güncelleyebilmeleri için birkaç milyon yıl daha geçmiş olması gerektiğini ileri sürüyor.[6]

O halde biyolojik bozunumla parçalanmayan geniş ormanlık alanlara ne oldu? Kilometrelerce derinliğe ulaşan, akıl almaz düzeyde bir madde birikimi söz konusuydu.

Cevap: Kömür. Mantarların bir şekilde erişemediği bu çürümemiş bitkisel madde katmanları sanayileşmenin temel enerji kaynağı oldu. (Birçok mantar çeşidi fırsat bulursa kömürü kolayca ayrıştırır; ayrıca "kerosen mantarı" olarak bilinen bir tür, uçakların yakıt depolarında yaşar.) Kömür, mantar yaşamının negatifi gibidir: Mantarların yokluğunun, sindirmedikleri şeylerin kaydıdır. O dönemden sonra bu denli büyük miktarda organik madde mantarların dikkatinden pek nadiren kaçabildi.[7]

Beyaz çürüklük mantarlarının radikal kimyasıyla yavaş yavaş pişerek yirmi dakika yattım. Cildim ısının etkisiyle çözünüyordu adeta; bedenimin nerede başlayıp nerede bittiğini kestiremiyordum. Hem mutluluk verici hem de tahammülü zor, karmaşık bir hemhal oluştu bu. Kömürün yüksek ısı vermesine şaşmamalı; ne de olsa yanmamış odundan meydana gelmiş bir madde. Kömür yaktığımız zaman mantarların enzimatik yolla yakamadığı maddeyi fiziksel yolla yakarız. Mantarların kimyasal olarak parçalayamadığını termal yolla parçalarız.

Odun mantarın dikkatinden pek kaçmaz ama biz mantarları sıklıkla gözden kaçırırız. 2009'da mikolog David Hawksworth mikolojinin "ihmal edilmiş bir megabilim" olduğunu söylemişti. Hayvan ve bitki biyolojisi bölümlerinin üniversitelerde nesillerdir kendi kürsüleri olmasına rağmen uzun zaman bitki bilimlerine dahil edilen mantar çalışmaları –bugün bile– nadiren ayrı bir alan olarak ele alınır.[8]

İhmal, göreli bir terim. Çin'de mantarlar binlerce yıldır temel bir gıda kaynağı ve ilaç olarak kullanılıyordu. Günümüzde küresel mantar üretiminin yüzde yetmişi –kırk milyon tona yakın– Çin kaynaklıdır. Orta ve Doğu Avrupa'da da mantarlar uzun zamandır kültürel roller üstleniyor. Mantar zehirlenmesine bağlı ölümler toplumların mantar tutkusunun bir ölçüsüyse ABD'de her yıl bu sebeple bir iki kişi hayatını kaybederken, Rusya ve Ukrayna'da 2000 yılında iki yüz kişi ölmüştü.[9]

Gelgelelim Hawksworth'ün gözlemleri dünyanın büyük bölümü için doğru. 2018'de yayımlanan Dünya Mantarlarının Durumu

başlıklı ilk rapor, Uluslararası Doğa Koruma Birliği'nin (IUCN) hazırladığı Tehdit Altındaki Türlerin Kırmızı Listesi'nde, yirmi beş bini aşkın bitki ve altmış sekiz bin hayvana karşılık sadece elli altı mantar türünün korunma gerekliliği açısından değerlendirildiğini gösteriyor. Hawksworth'ün mantarları görmezden gelme sorununa önerdiği çözümlerden biri öne çıkıyor: "'Amatör' mikologları destekleyecek olanaklar" artırılmalı. Tırnak içine aldığı amatör sözcüğü fazla söze hacet bırakmıyor. Kendini adamış ve yetenekli amatör uygulamacılardan oluşmuş ağlarla bilimin birçok alanında karşılaşsak da mikoloji bu ağların özellikle ön planda olduğu bir alandır. Mantar araştırmalarında tek çıkış yolu çoğunlukla bu ağlar olmuştur.[10]

Tabandan gelen bir bilimsel hareket beklenmedik görünse de zengin bir gelenekten beslenir. Canlı organizmalarla ilgili "profesyonel" akademik çalışmalar on dokuzuncu yüzyıl kadar yakın bir zamanda ivme kazandı. Bilim tarihindeki birçok önemli gelişme hevesli amatörler sayesinde üniversite dışında kaydedildi. Uzun bir uzmanlaşma ve profesyonelleşme döneminin ardından bugün artık bilim yapmanın yeni yollarında patlama yaşanıyor. 1990'lardan bu yana giderek popülerlik kazanan "hackerspace" ve "makerspace" olarak adlandırılan yaratım atölyelerinin yanı sıra, "yurttaş bilim insanı projeleri" kendini belli bir alana vakfetmiş, uzman olmayan kişilerin araştırma projelerinde yer almalarına fırsat tanıyor. Bu uygulamacıları nasıl adlandırırız? Onları "halk"olarak mı kabul edelim? Yurttaş bilim insanları mı diyelim? Vasıfsız uzmanlar mı? Yoksa sadece amatörler mi?[11]

Bir anarşist, hip-hop sanatçısı ve kendi kendini yetiştirmiş bir mikolog olan Peter McCoy, karşı karşıya geldiğimiz birçok teknolojik ve ekolojik soruna mantarlar üzerinden çözümler geliştirmeye çalışan Radikal Mikoloji örgütünün de kurucusu. Bir mantar manifestosu, kılavuz kitap ve mantar yetiştiricileri için rehber karışımı olan *Radical Mycology* kitabında açıkladığı gibi, McCoy'un hedefi, "mantar yetiştirme ve mikoloji uygulamaları" konusunda deneyimli kişilerle "mikolojide bir halk hareketi" yaratmak.[12]

Radikal Mikoloji, 1970'lerde Terence McKenna ve Paul Stamets'ın başlattığı psikedelik mantar yetiştiriciliğinden doğarak gelişen daha büyük bir mikoloji hareketinin parçası. Hareket "hacker atölyeleri", kitle kaynaklı bilim projeleri ve çevrimiçi forumlarla büyüyerek

modern şekline kavuştu. Ağırlık merkezi hâlâ Kuzey Amerika'nın batı kıyısı olsa da tabandan gelen örgütlenmeler diğer ülkelere ve kıtalara hızla yayılıyor. *Radikal* sözcüğü Latince "kök" anlamına gelen *radix*'ten türetilmiştir. Radikal mikolojinin ilgi alanı da kendi miselyum tabanından "köklenir."

McCoy toplumdaki bu mantar meraklıları için çevrimiçi bir mikoloji okulu olan Mycologos'u kurmuş. Mantarlarla ilgili bilgiye erişmek ve o bilgiyi anlamak genellikle zordur. McCoy'un işi, bu bilgiyi kolay hazmedilir biçimde dağıtarak insan-mantar ilişkilerini yeniden şekillendirmek: "Dünyayı dolaşarak becerilerini paylaşan ve mantarlarla çalışmanın yeni yollarını bulan Sınır Tanımayan Radikal Mikolog ekipleri hayal ediyorum. Bir Radikal Mikolog on kişiyi, on kişi yüz kişiyi ve onlar da bin kişiyi eğitiyor ve böylece miselyum yayılıyor."[13]

2018 SONBAHARINDA, iki yılda bir düzenlenen Radikal Mikoloji Buluşması'na katılmak için Oregon kırsalında bir çiftliğe gittim. Mantar delileri, mantar yetiştiricileri, sanatçılar, konuya yeni ilgi duymaya başlamış meraklılar, sosyal ve ekolojik alanlarda faaliyet gösteren aktivistlerden oluşan beş yüzü aşkın insan çiftlikte bir araya gelmişti. Başında beyzbol şapkası, eskimiş spor ayakkabıları ve kalın mercekli gözlüğüyle McCoy açılış konuşmasında ana temayı özetledi: "Mikolojinin Özgürleşmesi."

Hangi ölçekte olursa olsun mantar yetiştirmek için mantarların güçlü iştahlarını doyuracak malzemeyi iyi tanımak gerekir. Sporokarp oluşturan pek çok mantar, insanların ürettiği pislikle beslenir. Atıklar üzerinde endüstriyel tarım ürünü yetiştirmek bir tür simya gibidir. Mantarlar borcun eksi değerini, artı değer olan ürüne dönüştürür. Bundan atığı üreten de, yetiştirici de mantarlar da kârlı çıkar. Pek çok sanayi kolunun verimsizliği, mantar üreticileri için nimettir. Tarım özellikle müsrif bir alandır: Yağ üretimine yönelik palmiye ve hindistancevizi plantasyonlarında üretilen toplam biyokütlenin yüzde doksan beşi atılır. Şeker plantasyonlarında bu oran yüzde seksen beştir. Şehir hayatı da bundan farklı değil. Mexico City'de kullanılmış alt bezleri katı atık ağırlığının yüzde beş ila on beşini oluşturur. Araştırmacılar, yenebilir istiridye mantarları şeklinde meyve veren bir beyaz çürüklük mantarı olan hepçil *Pleurotus* miselyumunun, kullanılmış alt

bezleri üzerinde mutlu mesut yaşayabildiğini buldular. Plastik koruması çıkarılmış alt bezlerinden, üzerinde *Pleurotus* yetiştirilenler iki ayda başlangıçtaki kütlelerinin yaklaşık yüzde seksen beşini, üzerinde mantar yetiştirilmeyen kontrol grubundaki bezler ise kütlelerinin sadece yüzde beşini kaybetmişti. Dahası, üretilen mantarlar sağlıklı ve hastalıktan ariydi. Benzer projeler Hindistan'da da yürütülüyor. Tarımsal atıklar üstünde *Pleurotus* yetiştirmek, maddenin enzimatik yanmayla parçalanması sağlayacağı ve böylece daha az biyokütle termal yanmayla parçalanacağı için hava kirliliğini de azaltır.[14]



Tarımsal atık üzerinde gelişen istiridye mantarları, *Pleurotus ostreatus*

İnsanların yarattığı pisliğin mantarlara bir fırsat gibi görünebilmesi çok da şaşırtıcı değil. Mantarlar, her biri gezegendeki türlerin yüzde yetmiş beş ila doksan beşini ortadan kaldıran beş büyük yok oluş atlattı. Hatta bazı mantarlar bu felaket dönemlerinde serpildi. Dinozorları yok eden ve bütün dünyada ormanların kitlesel ölümüne yol açan Kretase-Tersiyer yok oluşunun ardından ayrıştırılacak odunsu maddenin bollaşması üzerine mantarlar da çoğaldı. Radyoaktif parçacıklardan yayılan enerjiyi kullanabilen ve Çernobil'in enkazında büyüyen radyotropik mantarlar, geçmişi daha da eskilere dayanan bir mantar-insan nükleer girişimciliğinin son oyuncularıdır sadece. Hiroşima'ya atom bombası atıldıktan sonra o harabenin üzerinde ilk beliren canlı, bir matsutake mantarı olmuştu.[15]

İştah duydukları maddeler çok çeşitli olduğu halde mantarlar zorunlu kalmadıkları sürece bazı maddeleri parçalamaz. McCoy bir atölye çalışmasında *Pleurotus* miselyumunu, çöpe en fazla atılan şey olan

sigara izmaritlerini –her yıl 750 bin tonun üzerinde izmarit atılır– sindirecek şekilde nasıl eğittiğini anlatmıştı. Kullanılmamış sigara filtreleri yeterince zaman verilirse parçalanır ama içilmiş sigara izmaritleri süreci bozan toksik kalıntılarla doludur. McCoy *Pleurotus*'u alternatif kaynaklardan yavaş yavaş mahrum bırakarak izmarit diyetine mecbur bırakmıştı. Mantar zamanla sigara izmaritlerini tek besin kaynağı olarak kullanmayı öğrenmişti. Zaman aralıklı çekilmiş videoda, katrandan sararmış izmaritlerle dolu bir kavanozda miselyumun nasıl hızla yukarı tırmandığı görülür. En sonunda kavanozun ağzına kadar gelip kenardan kocaman bir istiridye mantarı şeklinde sarkar.[16]

Aslında "öğrenmek" kadar "hatırlamak" da önemli. Bir mantar gereksinim duymadığı bir enzimi üretmez. Enzimler, hatta metabolik yolaklar mantar genomlarında kuşaklar boyu sessiz kalabilir. *Pleurotus* miselyumunun içilmiş sigara izmaritlerini sindirebilmesi için kullanılmaya kullanılmaya paslanmış olan bir metabolik hamle üzerinde pratik yapması gerekebilir. Ya da normalde başka bir işlem için kullandığı bir enzimi yeni bir amaçla kullanmaya başlayabilir. Lignin peroksidazlar gibi birçok mantar enzimi özgül değildir. Yani tek bir enzim birden fazla amaçla kullanılarak mantarın benzer yapıdaki farklı bileşikleri metabolize etmesini sağlayabilir. Şu işe bakın ki sigara izmaritlerinde bulunanlar dahil birçok toksik kirletici, ligninin parçalanmasıyla açığa çıkan yan ürünlere benzer. Bu bakımdan *Pleurotus* miselyumunu sigara izmaritlerine maruz bırakmak, mantar için alelade bir zorluktur.[17]

Radikal mikolojinin altında büyük ölçüde beyaz çürüklük mantarlarının radikal kimyası yatar. Ne var ki belli bir mantar suşunun neyi metabolize edeceğini kestirmek her zaman kolay olmaz. McCoy, yabani otları öldürmek için kullanılan bir tarım ilacı olan glifosat damlatılan petri kaplarında *Pleurotus* miselyumu yetiştirme çabalarından bahsetmişti. *Pleurotus* suşlarının bir kısmı damlalardan uzak durmuş, bir kısmı doğrudan damlalara doğru büyümüştü. Bazı suşlarsa damlanın kenarına gelene kadar büyüyüp sonra durmuştu. "Büyüyenlerin parçalama işini çözmeleri bir hafta kadar sürdü," diyor McCoy. Mantarları belli kimyasal bağların kilidini açabilen bir deste enzimatik anahtarla dolaşan gardiyanlara benzetiyor. Bazı suşlarda yola devam etmelerini sağlayan enzimler halihazırda bulunurken bazıları, o

enzimler genomlarında bir yerde gömülü olduğu halde yeni maddeden kaçınmayı tercih eder. Bir kısmıysa bir hafta boyunca desteden farklı anahtarları dener durur ve sonunda talih yüzlerine güler.

Mikolojide "kendin yap" hareketine mensup birçok kişiye olduğu gibi, McCoy'a da mantar hevesini ilk kez Stamets aşılamış. Stamets psilosibin içeren mantarlarla ilgili 1970'lerdeki ilk etkili çalışmalarının ardından, mantar vaiziyle zengin işinsanı karışımı bir kişilik haline gelmişti. "Mantarların Dünyayı Kurtarmasının Altı Yolu" başlıklı TED konuşması milyonlarca kere izlendi. Stamets antiviral boğaz spreylerinden köpekler için hazırlanmış mantarlı ödül mamalarına, aklınıza gelebilecek ne varsa üreten milyon dolarlık bir şirketin, Fungi Perfecti'nin sahibi. Mantarların tanınması ve yetiştirilmesiyle ilgili *Psilocybin Mushrooms of the World* (Dünyadaki Psilosibin İçeren Mantarlar) ve diğer kitapları, amatör ya da profesyonel sayısız mikolog için hâlâ önemli bir referans.

Stamets ergenlik çağında ağır bir kekemelikten mustaripmiş. Bir gün normalin çok üstünde bir dozda sihirli mantar alıp ulu bir ağaca tırmanmış ve şimşekler çakarken bir fırtınanın ortasında ağaç tepesinde mahsur kalmış. Ağaçtan indiğinde artık kekeme değilmiş. Bu tecrübe onda büyük bir dönüşüm yaratmıştı. Evergreen Eyalet Koleji'nde mikoloji okudu ve o günden sonra hayatını mantarlarla ilgili meselelere adadı. Stamets'ın Radikal Mikoloji ile bir bağlantısı yok. Ne var ki McCoy gibi onun da amacı mantarlarla ilgili mesajı olabildiğince geniş bir kitleye iletmek. İnternet sitesinde, Stamets'tan ilham alan ve tarımsal atık üstünde istiridye mantarı yetiştirmenin yollarını geliştiren Suriyeli bir mantar üreticisinin mektubu var. Üretici, Esad rejiminin kuşatması ve bombardımanı altında geçirdikleri altı yıl boyunca binden fazla kişiye evlerinin bodrumunda temel bir gıda kaynağı olarak mantar yetiştirmeyi öğretmiş.

Aslında Stamets'ın, üniversitelerin biyoloji bölümleri dışında mantarlarla ilgili konulara hiç kimsenin yapamadığı kadar popülerlik kazandırdığını söylemek abartılı olmaz. Ne var ki akademik dünyayla arasındaki ilişki o kadar dosdoğru değil. Sansasyon yaratan iddialarından spekülatif kuramlarına, Stamets birçok açıdan akademisyen bilim insanlarının yapmaması gereken ne varsa yapıyor. Yine de onun bu başına buyruk yaklaşımı yadsınamayacak kadar etkili oluyor. Bu

gerilim bazen gülünç olma sınırına varabiliyor. Stamets'ın anlattığına göre, bir keresinde üniversiteden tanıdığı bir profesör şikâyet etmiş: "Başımıza büyük dert açtın Paul. Biz mayaları incelemek istiyoruz, bu öğrencilerse dünyayı kurtarmak. Ne yapacağız şimdi?"[18]

MANTARLARIN DÜNYAYI kurtarmaya yardım edebilmelerinin yollarından biri de kirlenmiş ekosistemleri eski haline getirmek. Mikoremediasyon adıyla bilinen bu alanda mantarlar çevresel temizlik operasyonlarında bizimle işbirliği yapar. Binlerce yıldır mantarlara bir şeyler parçalatıyoruz. Bağırsaklarımızdaki mikrop topluluklarının çeşitliliği bize evrimsel geçmişimizde bir şeyleri kendi başımıza sindiremediğimiz anlarda mikropları görev başına çağırdığımızı hatırlatıyor. Bunun mümkün olmadığı durumlardaysa fıçılar, kavanozlar, kompost yığınları ve sanayi tipi fermantasyon kazanları kullanarak süreci dış kaynaklara devrettik. Alkolden soya sosuna, aşılardan penisiline ve bütün gazlı içeceklerde kullanılan sitrik aside, insan yaşamındaki birçok harici sindirim biçimi mayalar üzerinden döner. Farklı organizmaların, tek başına söyleyemedikleri bir metabolik "şarkı"yı birlikte söylediği böylesi bir ortaklık, en eski evrimsel ilkelerden biridir. Büyük ümit vaat eden mikoremediasyon ise bunun özel bir örneğidir sadece. Mantarların, toksik sigara izmaritleri ve glifosatın yanı sıra, çeşitli kimyasal kirleticilere karşı da inanılmaz bir iştahı vardır. Stamets *Mycelium Running* adlı kitabında, güçlü bir nörotoksini parçalamanın yollarını bulmak için ABD Savunma Bakanlığı ile ortaklık kuran, Washington eyaletindeki bir araştırma enstitüsüyle yaptığı işbirliğini anlatır. Dimetil metilfosfonat (DMMP) adlı kimyasal, Saddam Hüseyin'in 1980'lerin sonlarında İran-Irak Savaşı sırasında kullandığı VX gazının ölümcül bileşenlerinden biriydi. Stamets, bu bileşiğin giderek artan derişimlerine maruz bıraktığı yirmi sekiz farklı mantar türünü meslektaşlarına göndermişti. Altı ay sonra bu yirmi sekiz türden ikisi birincil besin kaynağı olarak DMMP'yi tüketmeyi "öğrenmişti." Bunlardan biri *Trametes* ya da diğer adıyla hindi kuyruğu mantarı, bir diğeriyse Stamets'ın birkaç yıl önce keşfettiği ve saplarındaki mavimsi harelerden ötürü *Psilocybe azurescens* olarak adlandırdığı, bilinen en güçlü psilosibin üreten mantardı (Stamets daha sonra doğan oğlu

Azureus'a mantarın adını vermişti). Bu mantarların her ikisi de beyaz çürüklük mantarıydı.[19]

Mikoloji literatürü böyle yüzlerce örnek içerir. Mantarlar ister insan kaynaklı olsun ister başka nedenlerle toprakta ve suyollarında birikerek yaşamı tehlikeye atan pek çok kimyasal kirleticiyi dönüştürür. Klorofenoller gibi pestisitleri, sentetik boyaları, TNT ve RDX gibi patlayıcıları, ham petrolü, bazı plastikleri ve atıksu tesislerinin sudan ayrıştıramadığı beşeri ve veteriner hekimlikte kullanılan antibiyotiklerden sentetik hormonlara pek çok ilacı parçalayabilirler.[20]

Mantarlar çevre kirliliğinin giderilmesinde kullanılabilecek en nitelikli organizmalardandır. Bir milyar yıldan uzun süredir devam eden evrimi, miselyumu tek bir amaca yönelik olarak mükemmelleştirdi: tüketmek. Mantar, iştahın vücut bulmuş halidir. Karbonifer dönemde yaşanan bitki patlamasından yüz milyonlarca yıl önce diğer organizmalardan geriye kalan artıkları ayrıştırmanın yollarını bulan mantarlar, oluşturdukları miselyum otoyollarıyla bakterilerin, çürüyen organizmanın erişilemeyen yerlerine ulaşabilmesini sağlayabilir. Fakat ayrıştırma hikâyenin sadece bir bölümüdür. Mantar dokularında biriken ağır metaller güvenle uzaklaştırılıp bertaraf edilebilir. Hatta sık dokunmuş miselyum örgüsü kirli suyu süzmek için kullanılabilir. Mikofiltrasyon *E. coli* gibi enfeksiyon etkenlerini ortamdan uzaklaştırır ve ağır metalleri sünger gibi emer. Finlandiya'da bir şirket elektronik atıklardaki altını geri kazanmak için bu yaklaşımı uyguluyor.[21]

Ancak vaat ettiği her şeye rağmen mikoremediasyon basit bir çözüm değil. Belli bir mantar suşunun petri kabında o ya da bu şekilde davranması, kirlenmiş bir ekosistemin mahşeri ortamına konduğunda da aynı şekilde davranacağını göstermez. Mantarların oksijen ve ek besin kaynakları gibi göz önüne alınması gereken ihtiyaçları vardır. Dahası, ayrışma mantarların ve bakterilerin rol oynadığı, her birinin öncekinin bıraktığı yerden devralıp devam ettirdiği evreler halinde gerçekleşir. Laboratuvarda eğitilmiş bir mantar suşunun yeni bir ortamda çabucak etki göstermesini ve bölgeyi tek başına sağlığına kavuşturmasını beklemek safdillik olur. Mikoremediasyonda kullanılan mantarlarda mayalı içki üreticileri benzer güçlüklerle karşılaşırlar: Koşullar uygun değilse maya fıçıdaki üzüm suyunu alkole dönüştürmek

için uğraşır durur. Mikoremediasyondaysa şarap fıçısının yerini, bizim de içinde bulunduğumuz kirlenmiş ekosistem alır.[22]

McCoy, tabandan gelen deneyciliğe dayalı radikal bir yaklaşımı destekliyordu. Benimse bu konuda şüphelerim vardı. Mikoremediasyon alanının büyük bir kurumsal desteğe ihtiyacı olduğunu düşünüyordum. Ev ortamında geliştirilen kendi halinde çözümler iyiydi hoştu ama büyük ölçekli çalışmalar yapılması gerekiyordu elbette. Ağırlığı olan projeler, büyük fonlar ve kurumsal ilgi olmadan nasıl ilerleme kaydedilebilirdi? Mikoremediasyonu hobi edinmiş bir grup insanı, kendilerini bu işe ne denli adamış olurlarsa olsunlar önemli bir ilerleme kaydedecek kadar donanımlı ve güvenilir bulmuyordum.

McCoy'un, kurumsal araştırmaları görmezden geldiği için değil, bu tür araştırmalar son derece nadir olduğu için bu yaklaşımı desteklediğini çok geçmeden anladım. Araştırmaların bu denli az olmasında pek çok etken rol oynar. Ekosistemler karmaşıktır; her yere ve her koşula uygun tek bir çözüm yoktur. Ölçeklenebilir standart mikoremediasyon protokolleri geliştirmek için bu sektörde pek rastlanmayan büyük yatırım gerekir. Genel olarak remediasyon, şirketlerin yasal olarak yerine getirmekle mükellef olduğu bir sorumluluktur. Pek az şirket deneysel ya da alternatif gibi görünen çözümlerle ilgilenir. Üstelik kirlenmiş tonlarca toprağı alıp başka bir yere götüren ve yakan geleneksel remediasyon sanayisi şimdilerde en aktif döneminde. Bu yöntemin maliyetine ve yol açtığı ekolojik tahribata rağmen, yerine yenisinin konması için acele edilmiyor.

Radikal mikologların sorunu çözmek için başlarının çaresine bakmak dışında fazla seçeneği yok. Kısmen Stamets'ın vaazlarından alınan ilhamla 2000'lerin başından beri mantarlara dayalı çözümler üretmek için bir dizi proje başlatıldı. Köklü kuruluşlardan biri olan CoRenewal, Ekvador'un Amazon bölgesinde yirmi altı yıl boyunca ham petrol çıkaran Chevron'un operasyonundan geriye kalan zehirli yan ürünleri, mantarları kullanarak zehirsiz hale getirmeye yönelik araştırmalar yürütmektedir. Çevre kirliliği olan bölgelerde ortaklarla çalışan araştırmacılar kirlenmiş topraklardaki mikrop topluluklarını ve yerel "petrofilik" mantar suşlarını araştırıyorlar. Yerel mikologların yerel sorunları çözmek için yerel mantar suşlarıyla ortaklık kurmayı öğrenmesi klasik radikal mikoloji örneğidir. Başka örnekler

de verilebilir. Kaliforniya'da halk tabanlı bir örgüt, 2017'deki orman yangınlarında tahrip olan evlerden çıkan toksik madde akışına çare olacağı ümidiyle *Pleurotus* miselyumu ve samanla dolu kilometrelerce uzunlukta borular döşemişti. 2018'de petrol sızıntısını temizlemek için Danimarka limanına *Pleurotus* miselyumuyla dolu yüzer bariyerler yerleştirilmişti. Bu projelerin çoğu daha yeni başladı, bir kısmıysa devam ediyor. Ama hiçbiri henüz olgunlaşmadı.[23]

Mikoremediasyon kanatlanacak mı? Cevap vermek için henüz erken. Fakat kendi eserimiz olan toksik batağın kenarında durmuş, kendi kendimizi yiyip bitirirken, radikal mikolojinin ürettiği, belli mantarların odunu ayrıştırma yetisine dayalı çözümler ümit vaat ediyor. Odundaki enerjiye erişmek için tercih ettiğimiz yöntem onu yakmaktı. Bu da radikal bir çözüm. Ve başımızı derde sokmamıza yol açan da işte bu enerji, yani Karbonifer dönemde aniden artan odunsu bitkilerin fosilleşmiş kalıntıları oldu. Aynı artışa evrimsel bir yanıt olarak gelişen beyaz çürüklük mantarlarının radikal kimyası bizi bu dertten kurtarabilir mi?

McCoy için Radikal Mikoloji, belli yerlerde belli sorunları çözmekten çok daha fazlası anlamına geliyor. Tabandan gelen uygulamacıların oluşturduğu geniş bir ağ mantar bilgisini de bir bütün olarak ileri taşıyabilir. Bunun yollarından biri, güçlü mantar suşlarının bulunması ve izole edilmesidir. Kirlenmiş bir ortamdan izole edilen mantarlar belli bir kirleticiyi sindirmeyi zaten öğrenmiş olabilir ve ortamın yerlisi oldukları için koşulları düzeltirken çoğalabilirler. Bu yaklaşımı uygulayan Pakistan'dan bir araştırma grubu, İslamabad'da şehir çöplüğündeki toprağı tararken poliüretan plastiği parçalayabilen yeni bir mantar suşu bulmuştu.[24]

Mantar suşlarının bulunmasında kitle kaynaklarından faydalanmak makul gelmeyebilir ama bu yaklaşım bazı önemli keşiflerin yapılmasını sağladı. *Penicillium* mantarının yüksek verimli bir suşunun bulunması, penisilinin endüstriyel üretimini mümkün kılmıştı. Bir laboratuvarda asistan olarak çalışan Mary Hunt, laboratuvarın sivillere küf göndermeleri için çağrıda bulunması üzerine 1941'de bu "altın rengi küf"ü Illinois'deki bir pazarda, çürüyen bir kavunda bulmuştu. Daha öncesinde penisiline erişim, imalatı pahalı olduğu için çok kısıtlıydı.[25]

Mantar suşlarını bulmak işin sadece bir boyutu; suşları izole etmek ve etkinliklerini sınamak daha da zor. Hunt küfü bulmuş olsa bile küfün laboratuvarda incelenmesi gerekiyordu. McCoy'un yaklaşımıyla ilgili esas şüphem buydu. Radikal mikologlar ellerinin altında tam teçhizatlı tesisler olmadan yeni suşları nasıl izole edip çoğaltabileceklerdi? Havalandırmalı steril tezgâhlar, ultra saf kimyasallar, ekipman odalarında vızır vızır çalışan pahalı makineler... Bütün bunlar gerçek bir ilerleme kaydetmek için gerekli değil miydi?

Daha fazlasını öğrenmek için McCoy'un hafta sonları Brooklyn'de düzenlediği mantar yetiştirme kurslarından birine katıldım. Eklektik bir sınıftı: sanatçılar, eğitimciler, kent planlamacıları, bilgisayar programcıları, bir öğretim üyesi, girişimciler ve şefler. McCoy, modern bir mantar yetiştiricisinin temel araç gereci olan kap kacak, tahılla dolu plastik torbalar, şırıngalar ve bisturilerle dolu kutuların üst üste yığılı olduğu bir masanın gerisinde duruyordu. Sobanın üstündeki büyük çaydanlıkta jölemsi ağaç kulağı mantarı kaynıyordu; çay molasında kupalarımıza kepçeyle koyup içtik. Radikal Mikoloji'nin uzayan ucuna, daha doğrusu uzayan uçlarından birine tanık oluyordum.

Bütün hafta sonu devam eden kurs boyunca amatör mantar yetiştiriciliğinin hızlı bir yayılma evresinde olduğu anlaşıldı. Aktif bir deneysellikle çalışan, iyi bağlantılar kurmuş mantar meraklıları, mantarlarla ilgili bilgi üretimine halihazırda ivme kazandırmıştı. DNA dizi analizi gibi tekniklere çoğu erişmese de son zamanlarda kaydedilen ilerlemeler amatörlerin on yıl öncesine kadar imkânsız olan işlemleri gerçekleştirebilmesini mümkün kılıyor. Bunların çoğu ev koşullarında mantar yetiştirenlerin kendi imkânlarıyla geliştirdikleri basit ama zekice çözümler. Pek çoğu Terence McKenna ve Paul Stamets'ın bulup yetiştirici kılavuzlarında yazdığı yöntemlerin az çok değiştirilmiş ve geliştirilmiş biçimleri. Gerçi McCoy'un kafasındaki mikolojik dönüşüm, topluluk laboratuvarlarını da kapsıyor ama laboratuvarsız da pek çok şey yapılabilir.

Bunlar arasında en çığır açıcı yenilik 2009'da geliştirildi. Sihirli mantar yetiştiricilerini bir araya getiren mycotopia.net forumunun sadece lakabıyla tanınan kurucusu hippie3'ün bulaş riski olmaksızın mantar yetiştirmek için geliştirdiği yöntem her şeyi değiştirdi. Bulaş, bütün mantar yetiştiricilerin başının derdidir. Steril taze malzeme

biyolojik bir vakumdur; açık havanın hareketli ortamına maruz bırakıldığı anda içine yaşam hücum eder. Hippie3'ün "enjeksiyon portu" yöntemini kullanan amatör mantar yetiştiricileri en pahalı kit ve meşakkatli işlemlerden kurtulabilir. Gerekli olan sadece bir enjektör ve birazcık değiştirilmiş bir reçel kavanozudur. Bu bilgi hızla yayılmıştı. McCoy'a göre –"laboratuvar olmadan laboratuvardaki sonuçları elde etmek"– mikoloji tarihindeki en önemli gelişmelerden biriydi ve mantar yetiştiriciliğini sonsuza dek değiştirmişti. Gülümsedi ve elindeki şırıngadan tanrılara adak sunarcasına azıcık sıvı fışkırttı. "Hippie3'e şükranlarımızla."

McCoy'un *Pleurotus* miselyumu glifosat damlalarının kenarında toplanıp bir yolunu bulana dek farklı enzimleri deneyip duruyordu; mantar "hacker"ların da tıpkı o miselyum gibi sorunların orasını burasını kurcalıyor olmaları düşüncesi beni güldürdü. McCoy radikal mikologları, mantar suşlarını insanların sebep olduğu bir başka toksik hatayı fırsata çevirmeleri için eğitebilsinler diye evde mantar yetiştirmeleri için eğitiyordu. Nispeten küçük teşviklerle bile hızlı ilerleme kaydedilebiliyordu. Mantar meraklılarının yılda 1 milyon dolarlık ödül için bir araya gelip evde yetiştirdikleri mantar suşlarını toksik atık karışımlarında yarıştırdıklarını gözümde canlandırdım.[26]

Önümüzde uzun bir yol var. Radikal olsun olmasın mikoloji henüz emekleme safhasında. İnsanlar on iki bin yılı aşkın süredir bitkileri ıslah ediyor ve yetiştiriyor. Peki ya mantarlar? Mantar yetiştirmeye dair Çin'de bulunan en eski kayıtlar yaklaşık iki bin yıl öncesine ait. Çin'de MÖ 1000'de, bir başka beyaz çürüklük mantarı olan şitaki mantarını yetiştirmenin yolunu bulduğu düşünülen Wu Sun Kwung her yıl kutlamalarla anılır; ülkenin her yerinde onun onuruna tapınaklar kurulmuştur. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında Paris'teki yeraltı mezarlarının kireçtaşından yapılmış tünellerinde yüzlerce mantar yetiştiricisi her yıl tonlarca "Paris" mantarı yetiştiriyordu. Oysa Hippie3'ün enjeksiyon portu yöntemi dahil McCoy'un öğrettiği tekniklerin birçoğu sadece on yıllık bir geçmişe sahip.[27]

McCoy'un düzenlediği kurs bir heyecan dalgası ve havada uçuşan fikirlerle sona erdi. Kışkırtıcı ve yüreklendirici bir ses tonuyla "Bu oyunu oynamanın pek çok yolu var," dedi gülümseyerek. "Bilmediğimiz o kadar çok şey var ki."

MANTARLAR VAR OLDUKLARINDAN beri "kökten bir değişim" yaratıyorlar. İnsanlar bu hikâyeye çok daha sonra dahil oldu. Yüz milyonlarca yıl içinde birçok organizma mantarlarla köklü ortaklıklar kurdu. Bitkilerin mikorizal mantarlarla ilişkileri gibi birçok ilişkinin başlangıcının yaşam tarihi üzerinde önemli etkileri ve dünyayı değiştiren sonuçları oldu. Günümüzde insan olmayan pek çok canlı karmaşık yöntemlerle mantar yetiştiriyor ve radikal sonuçlar elde ediyor. Bu ilişkiler radikal mikolojinin kadim öncülleri olarak düşünülebilir mi?[28]

Afrika'nın *Macrotermes* termitleri en çarpıcı örneklerden biridir. Çoğu termit gibi *Macrotermes* de yaşamının büyük bölümünü odun toplayarak geçirir ama onu yiyemez. Buna karşılık bu termitler odunu kendileri için sindiren *Termitomyces* adlı beyaz çürüklük mantarını yetiştirir. Termitler odunu çiğneyip bulamaç haline getirdikten sonra arıların yaptığı bal peteğine benzediği için "mantar peteği" olarak adlandırılan mantar bahçelerine kusar. Mantar radikal kimyadan faydalanarak odunu ayrıştırır. Termitler geriye kalan kompostu tüketir. *Macrotermes* mantar yetiştirmek için yüksekliği dokuz metreyi bulan kule gibi yuvalar inşa eder. Bu yuvalardan bazıları en az iki bin yıllıktır. Yaprak kesen karıncalar gibi *Macrotermes* de herhangi bir böcek grubunun oluşturabileceği en karmaşık topluluklardan birini kurar.[29]

Macrotermes yuvaları devasa harici bağırsaklar ya da termitlerin kendi başlarına parçalayamadıkları karmaşık yapıdaki maddeleri ayrıştıran protez metabolizmalar olarak düşünülebilir. Yetiştirdikleri mantarlar gibi, *Macrotermes*'in kendisi de bireysellik kavramını bulandırır. Bir termit bağlı bulunduğu topluluktan ayrı yaşayamaz. Bir termit topluluğu mantar kültürlerinden, besledikleri ve kendilerini besleyen diğer mikroplardan ayrı yaşayamaz. Verimli bir ortaklıktır bu: Tropikal Afrika'da ayrıştırılan odunun önemli bir kısmı *Macrotermes* yuvalarından geçer.[30]

İnsanlar ligninin yapısındaki enerjiyi fiziksel yanmayla açığa çıkarırken *Macrotermes* bir beyaz çürüklük mantarına kimyasal yanma için yardımcı olur. Bir radikal mikoloğun ham petrolü ya da sigara izmaritlerini parçalamak için *Pleurotus*'tan faydalanmasına benzer şekilde, termitler de beyaz çürüklük mantarlarını kullanır. Bu sürecin, radikal mikologların insan metabolizmasını şarap, miso veya peynir mayalamak için fıçı ve kavanoz ortamındaki mayalardan oluşan dış

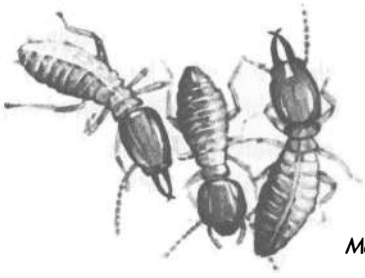
kaynaklara yönlendirmesinden aşağı kalır tarafı yoktur. Ne var ki bu noktaya ilk kimin vardığı ortada. *Homo* evrildiğinde, *Macrotermes* yirmi milyon yıldan uzundur mantar yetiştiriyordu. *Termitomyces* mantarları söz konusu olduğunda termitlerin mantar yetiştirme teknikleri insanlarınkinin çok ilerisindedir. *Termitomyces* mantarları lezizdir (ve bir metreye ulaşabilen çapıyla yeryüzünün en büyük mantarlarındandır). Fakat insanlar uzun zamandır çabalamalarına rağmen bu mantarları yetiştirmeyi bir türlü başaramadılar çünkü bu mantarlar ancak termitlerin bakteriyel simbiyontlarının ve yuva mimarisinin birlikte yarattığı koşullarda yetişiyor.

Termitlerle yaşayan insanlar, onların uzmanlığını anlamışlardı. Beyaz çürüklük mantarlarının radikal kimyası ve şaşırtıcı etkisi uzun zamandan beri insan hayatıyla iç içedir. Termitlerin ABD'de her yıl 1,5 ila 20 milyar dolar değerinde mülk yediği bildirilmiştir. (Lisa Margonelli, *Underbug* adlı kitabında, "özel" mülk yemeleriyle tanınan Kuzey Amerika termitlerinin adeta anarşist ya da antikapitalist bir saikle hareket ettiğini yazar.) 2011'de Hindistan'daki bir bankaya girmenin yolunu bulan termitler, kâğıt para halinde on milyon rupi (yaklaşık 225.000 dolar) yemişti. Radikal mantar ortaklıkları temasından biraz sapmayla Stamets'ın "mantarların dünyayı kurtarmasının altı yolu"ndan biri olarak ileri sürdüğü görüş, hastalık yapan bazı mantarların biyolojisini kurcalayarak, termitlerin savunmalarını aşıp kolonileri ortadan kaldırmalarını sağlamaktı (bu mantar –*Metarhizium* küfü– sıtma bulaştıran sivrisinek popülasyonlarının kökünü kazıma konusunda ümit vaat eden mantarın aynısıdır).[31]

Antropolog James Fairhead, Batı Afrika'nın birçok yerinde çiftçilerin *Macrotermes* termitlerini, toprağı "uyandırdıkları" için teşvik ettiklerini anlatır. İnsanlar termit yuvalarının içindeki toprağı bazen yerler ya da yaralara sürerler. Bu toprağın bir mineral takviyesi, toksinlere karşı bir antidot ya da antibiyotik olarak çeşitli faydaları olduğu bulunmuştur. *Macrotermes* termitleri yuvalarında antibiyotik üreten bir bakteri olan *Streptomyces* yetiştirir. İnsanlar *Macrotermes* ile mantarları arasındaki ortaklığı radikal politik sebeplerle silah olarak kullanmıştı. Yirminci yüzyıl başlarında Batı Afrika kıyısı yerlileri bölgedeki sömürgeci Fransız ordusunun askeri karargâhına termitleri gizlice bırakmışlardı. Obur mantar ortaklarının yönlendirdiği

termitler binaları çökertmiş, bürokratların evrakını silip süpürmüştü. Fransız garnizonu görev yerini derhal terk etmişti.[32]

Bazı Batı Afrika kültürlerindeki ruhsal hiyerarşilerde termitler insanların üzerindedir. Bazı kültürlerde *Macrotermes* insanlarla tanrılar arasında mesaj taşıyan ulaklar olarak tasvir edilir. Bazı kültürlerdeyse Tanrı'nın bir termitin yardımıyla evreni yarattığına inanılır. Bu mitlerde *Macrotermes* sadece bir şeyleri parçalayan bir canlı olarak resmedilmez. Onlar, mümkün olabilecek en geniş ölçekte inşa eden canlılardır.[33]



Macrotermes termitleri

MANTARLARIN, SADECE parçalayıcı değil, yapıcı olarak da kullanılabileceği fikri dünyada yeni yeni tutulmaya başladı. Portabello mantarının dış tabakalarından yapılan bir malzeme, lityum pillerindeki grafitin yerini alma konusunda umut vaat ediyor. Bazı türlerin miselyumu, cerrahlar tarafından yaraların iyileşmesine yardımcı olan etkili bir deri ikamesi olarak kullanılıyor. ABD'de Ecovative Design adlı bir şirket, miselyumdan yapı malzemeleri üretiyor.[34]

Ecovative'in New York'un kuzeyindeki araştırma ve üretim tesisini ziyaret ettim. Lobiye adımımı atar atmaz kendimi panolar, tuğlalar, ses yalıtım panelleri ve şarap şişeleri için kalıplanmış ambalaj gibi miselyum ürünleriyle çevrili buldum. Açık gri, kaba dokulu bu ürünler mukavvadan yapılmış gibi görünüyordu. Miselyumdan yapılmış bir abajurla taburenin hemen yanında duran kutu beyaz, yumuşak miselyum köpük küpleriyle doluydu. Onun yanında mantardan yapılmış bir deri parçası vardı. Kamera şakasına yakalanmışım gibi hissediyordum kendimi; mantarların dünyayı kurtarabileceğini iddia ederek insanlarla dalga geçen bir televizyon programının setine düşmüştüm sanki.

Ecovative'in genç CEO'su Eben Bayer, bir miselyum parçasını parmağımla dürterken yakaladı beni. "Dell sunucularını böyle ambalajlarla gönderiyor. Onlara yılda yaklaşık yarım milyon parça yolluyoruz." Tabureyi işaret ederek, "Güvenli, sağlıklı ve sürdürülebilir eşya," dedi. Taburenin oturma yeri miselyum köpükle beslenmiş, miselyum deriyle kaplanmıştı. Sipariş verdiğinizde tabure miselyumdan üretilmiş ambalajın içinde geliyordu. Mikoremediasyon, eylemlerimiz sonucunda oluşan maddelerin ayrıştırılmasıyla ilgilidir, "mikofabrikasyon" ise en başında kullanmayı tercih edeceğimiz tipte malzemeleri yeni bir düzenlemeyle oluşturmamızı sağlar. Mikoremediasyon ile mikofabrikasyon, ayrıştırma sürecinin "yin ile yang"i gibi birbirini tamamlar.

Oregon ve Brooklyn'de tanıştığım radikal mikologlar gibi, Ecovative de mantarlarını beslemek için tarımsal atıkların akış yönünü değiştiriyordu. Talaş ve mısır saplarından değerli bir emtia üretiliyordu. Diğer örneklerinden de aşina olduğumuz gibi hem atık üreticisi ve yetiştirici bu durumdan kazançlı çıkıyordu hem de mantar. Ne var ki Ecovative örneğinin bazı ek getirileri vardı. Çevre kirliliği yaratan sanayi kollarının işini bozmak, Bayer'ın uzun zamandır hayata geçirmek istediği tutkularından biriymiş. Ecovative'in ürettiği ambalaj malzemeleri plastiğin, üretilen yapı malzemeleri tuğla, beton ve suntanın, deri benzeri dokumaysa hayvan derisi ikamesi olarak tasarlanmış. Tarımsal atıkların üzerinde, bir haftadan kısa sürede yüzlerce metrekare miselyum deri üretmek mümkün. Miselyumdan yapılmış ürünler vadeleri dolduğunda komposta dönüştürülebiliyor. Ayrıca Ecovative'in ürettiği malzemeler hafif, suya dayanıklı ve yangın geciktirici özelliklere sahip. Eğilip bükülmeye karşı betondan daha güçlü olan bu malzemelerin sıkıştırılmaya karşı direnci ahşap karkasınkinden daha iyi. Yalıtım gücü genleştirilmiş polistreninkinden daha yüksek olan malzemeler günler içinde sınırsız miktarda üretilebilir (Avustralya'daki araştırmacılar *Trametes* miselyumunu cam tozuyla birleştirerek termitlere dayanıklı tuğla yapmaya çalışıyorlar ki böyle bir ürün Stamets'ın aklından geçen termit öldüren mantar gereksinimini de ortadan kaldıracaktır).[35]

Miselyumdan üretilen malzemelerin taşıdığı potansiyel dikkat çekici. Tasarımcı Stella McCartney, Ecovative'in yöntemleriyle üretilen

mantardan yapılmış deriyle çalışıyor. Ecovative, polistren ambalaj yerine miselyumdan üretilmiş alternatifini kullanmanın yollarını geliştiren IKEA ile yakın ilişki içinde. NASA'da çalışan araştırmacılar mantarları mimariye dahil etmekle ("mycotecture") ve bu yöntemin ayda yapılar inşa etmek için kullanım potansiyeliyle ilgileniyorlar. Ecovative, ABD silahlı kuvvetlerinin bir kanadı olan DARPA (Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı) ile kısa süre önce 10 milyon dolarlık AR-GE sözleşmesi imzaladı. DARPA'nın ilgisini çeken konu, hasar gördüğünde kendini onarabilen ve işi bittiğinde ayrıştırılabilen, miselyumdan yapılmış barakalar yapmak. Askerler için barınak yapmak Bayer'ın hayalinin bir parçası değil ama bunlar uyarlanabilir teknikler. "Bu yöntemleri afet bölgelerinde acil durum barınakları kurmak için kullanabiliriz," diyor Bayer. "Miselyum kullanarak hakikaten pek çok insana çok düşük maliyetle konut yapabilirsiniz."[36]

Üretimin temel prensibi basit. Miselyum kendini sıkı bir dokuma halinde örer. Daha sonra canlı miselyum kurutularak ölü malzemeye dönüştürülür. Nihai ürün, miselyumun yetiştirilme koşullarına bağlıdır. Miselyum talaş bulamacında "uzarken" sıkıştırılıp biçimlendirilerek tuğla ve ambalaj malzemesi üretilir. Esnek malzemelerse saf miselyumdan elde edilir. Tabaklarsanız deri olur. Kurutursanız spor ayakkabısı astarından tutun, yüzer rıhtıma dek her şeyi yapabileceğiniz köpük malzemesi olur. McCoy ve Stamets mantarları yeni metabolik davranışlar yönünde kışkırtmaya çalışırken, Bayer yeni biçimler oluşturmaya teşvik ediyor. Miselyum, ister nörotoksin dolu bir birikinti olsun ister abajur şeklinde bir kalıp, bırakıldığı ortamın içini doldurur.[37]

Bayer'la birlikte bir dizi kapıdan geçip hangar gibi yere girdik. Oluklardan akıp giden ağaç yongası ve diğer hammaddeler karıştırma tamburlarına boşalıyor, burada bilgisayar ekranlarında dijital olarak kontrol edilen oranlarda karıştırılıyordu. Altı metre uzunluğunda Arşimet vidaları, akan talaşı saatte yarım ton hızla ısıtma ve soğutma odacıklarına taşıyordu. Üst üste dizili plastik kalıplar, mantar yetiştirme odalarıyla on metre yükseklikteki kurutma rafları arasında mekik dokuyordu. Işık, nem, sıcaklık, oksijen ve karbondioksit düzeylerinin döngüler halinde dikkatle programlandığı bu odacıklar dijital olarak kontrol edilen mikroiklimlerdi. Burası, *Macrotermes* termit yuvasının insanlar tarafından yapılmış endüstriyel karşılığıydı.

Ecovative'in yetiştirme tesisinde olduğu gibi, *Macrotermes* yuvaları da mantarın gereksinimlerine göre inşa edilmiş, dikkatle düzenlenen mikroiklimlerdir. Termitler, bacaların ve galerilerin oluşturduğu bu sistemde tünelleri açıp kapatarak sıcaklığı, nemi, oksijen ve karbondioksit düzeylerini ayarlayabilir. Termitler Sahra Çölü'nün ortasında dahi mantarın yaşayabileceği serin ve nemli koşulları yaratabilir.

Macrotermes yuvalarında olduğu gibi, Ecovative'de yetiştirilen mantarlar da beyaz çürüklük mantarlarıdır. Ürünlerin çoğu, meyvesi reishi mantarı olan *Ganoderma* miselyumundan elde edilir. Bazılarında *Pleurotus,* bir kısmındaysa meyvesi hindi kuyruğu mantarı olan *Trametes* kullanılır. McCoy'un glifosatı ve sigara izmaritlerini sindirmesi için eğittiği mantar *Pleurotus*'tu. Stamets'ın çalışma arkadaşlarının VX gazının toksik öncüsünü sindirmeyi öğrettiği mantarsa *Trametes*'ti. Farklı mantar suşları nörotoksik maddeleri ya da glifosatı parçalamaya farklı derecelerde hevesli oldukları gibi, büyüme hızı ve miselyumlarının dönüşeceği malzeme bakımından da farklılık gösterir.[38]

Bu yöntemin patentini almış olan Ecovative yılda dört yüz tonun üzerinde mobilya ve ambalaj üretiyor. Fakat şirketin iş modeli, miselyumdan yapılan malzemelerin birincil üreticisi olmasına bağlı değil. Otuz bir ülkeden lisanslı kişiler ve kurumlar, Ecovative'in Kendin Yetiştir kitleriyle mobilyadan sörf tahtasına kadar her şeyi üretiyorlar. Aydınlatma popüler bir kullanım alanı. Hollanda'da bir tasarımcı, miselyumdan terlik üretiyor. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, tsunami tespit cihazlarını yüzdüren batmaz halkalar için plastik köpük yerine artık miselyumdan üretilen alternatifini kullanıyor.[39]

Miselyum kullanımında daha iddialı hayallerden biriyse Mantar Mimarisi ya da diğer adıyla FUNGAR (Fungal Architectures). FUNGAR, miselyum kompozitlerini, ışık düzeylerine, sıcaklığa ve kirliliğe duyarlı mantar kökenli "bilgi işleme devreleri"yle birleştirerek, sadece mantarlardan meydana gelen yapılar inşa etmeyi amaçlayan bilim insanları ve tasarımcıları aynı çatı altında toplayan uluslararası bir konsorsiyum. Hiflerden geçen elektrik impulslarını kullanarak miselyum ağlarından bilgi işleme için faydalanılabileceğini ileri süren, Alışılmamış Bilişim Laboratuvarı'ndan Andrew Adamatzky bu

konsorsiyumun öncü araştırmacılarından. Adamatzky, miselyum ağlarının sadece canlıyken elektrik impulsları oluşturabilmesi sorununun, canlı miselyumu iletken parçacıklar soğurmaya teşvik ederek aşılabileceğini umuyor. Öldürülüp muhafaza edilen bu miselyum ağları miselyum telleri, transistörler ve kapasitörlerden oluşan elektrik devreleri, yani "binanın her milimetreküpünü dolduran bir bilgi işleme ağı" meydana getirecek.[40]

Ecovative'in üretim tesisini dolaşırken, üç beş beyaz çürüklük mantarı türünün bu düzenlemeden gayet kârlı çıktığı hissine kapılmaktan kendimi alamıyorum. Malzeme olarak kullanılmadan önce öldürülüyorlar elbette. Ama bu ancak yüzlerce kilo pastörize edilmiş taze talaşla iştahları tatmin edildikten sonra oluyor. Dünyanın her yerine hem gerçek hem de mecazi anlamda spor saçan McCoy ve radikal mikologlar gibi, Ecovative de bazı mantar türleri için bir küresel dağıtım sistemi olarak hizmet ediyor. Mantarlar bu yeni ilişki tipinde hem bir "teknoloji" hem de insanların ortağı.

Ecovative'de biçimlendirilen ilişkilerin nereye varacağını söylemek için henüz erken. Bitkisel maddedeki enerjiye erişim sorunuyla karşılaşan *Macrotermes* termitleri otuz milyon yıldan beri bu iş için yaptıkları üretim tesislerinde muazzam miktarda beyaz çürüklük mantarı yetiştiriyorlar. *Macrotermes* ve *Termitomyces* o kadar uzun zamandan beri birlikteler ki artık biri olmadan diğerinin yaşaması mümkün değil. Mikofabrikasyonun insanları karşılıklı bağımlı bir simbiyoza götürüp götürmeyeceğini zaman gösterecek ama küresel bir krizin mantarlar için bir kez daha bir dizi fırsata dönüşmek üzere olduğu daha şimdiden açıkça görülüyor. İnsanların yarattığı atık seli mantarların iştahıyla bağlantılı olarak yeniden tasarlanıyor. Bazı eğilimler viral olur (virüs gibi hızlı yayılır). Fungal olmalarının (mantar gibi yayılmalarının) nasıl olacağını düşünmeye başladım.

MANTAR GİBİ YAYILMANIN nasıl olduğunu bilen biri varsa Paul Stamets'tır. Stamets'ın, içini mikoloji şevkiyle dolduran –mantarların yeni ve garip biçimlerde bizimle ortaklık kurmaya hevesli canlılar olduğu konusunda insanları ikna etmek için bastıramadığı bir istek duymasına yol açan– bir mantar enfeksiyonu kapıp kapmadığını merak ediyordum. Kanada'nın batı kıyısındaki evini ziyarete gittim. Evi

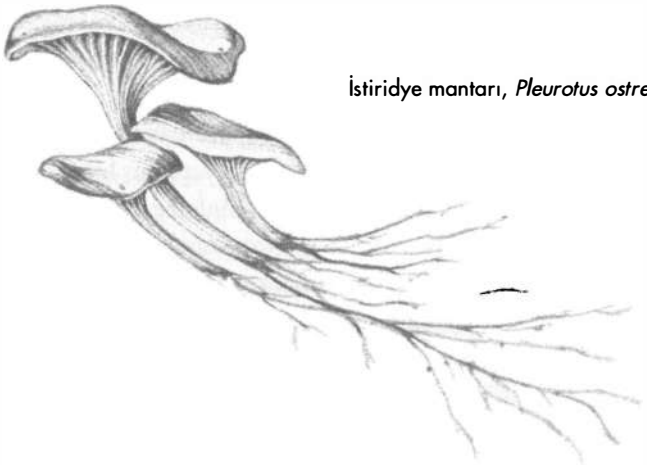
denize bakan granit bir uçurumun kıyısındaydı. Çatı kirişlerinin görünümü, bir mantarın spor yatağındaki lamellerini andırıyordu. On iki yaşından beri *Star Trek* hayranı olan Stamets yeni evini Yıldız Gemisi Agarikon adıyla vaftiz etmişti (agarikon, Kuzeybatı Pasifik ormanlarında yetişen, tıbbi kullanımı olan ve ağaçlarda çürümeye yol açan *Laricifomes officinalis* mantarının diğer adıdır).

Stamets'ı ergenlik çağımdan beri tanıyordum; mantarlara olan şahsi ilgime ilham veren çok şey yapmıştı. Ne zaman onu görsem bana mantarlarla ilgili heyecan verici son dakika haberlerini iletir. Konuşması dakikalar içinde giderek hızlanır; o kadar ki mantarların verdiği bitmez tükenmez coşkunun etkisiyle haberden habere atlarken neredeyse kendi düşünme hızına yetişemez hale gelir. Stamets'ın dünyasında mantarlarla üretilebilecek çözümlerin sonu yoktur. Ona çözülemeyecek bir problem verin; size bir mantarın ayrıştırarak, zehirleyerek ya da iyileştirerek çözebileceği yeni bir yol bulur mutlaka. Bir tür beyaz çürüklük mantarı olan kav mantarından (*Fomes fomentarius*) elde edilen keçe benzeri bir malzemeden yapılmış bir şapka giyer. İnsanlar kav mantarını ateş yakmak için binlerce yıl kullanmıştı. Cesedi beş bin yıl boyunca buzullar içinde korunmuş olan Buz Adam yanında kav mantarı taşıyordu. Bildiğimiz kadarıyla termal yanmada insanların araç olarak kullandığı, radikal mikolojinin en kadim örneklerinden biridir kav mantarı.

Ziyaretimden bir süre önce, *Star Trek: Discovery* dizisini yaratan ekip, çalışmaları hakkında daha fazla bilgi edinmek için Stamets'la bağlantı kurmuştu. Stamets ekibe, mantarların dünyaları kurtarmak için nasıl kullanılabileceğini anlatmayı kabul etmişti. Ve elbette ertesi yıl gösterime giren diziye mikolojik temalar eklenmişti. Diziye yeni bir karakter, mantarlardan faydalanarak ölümcül tehlikelerle mücadelede insanlığı kurtarmak için kullanılabilecek güçlü teknolojiler geliştiren zeki bir uzay mikoloğu olan Teğmen Paul Stamets dahil olmuştu. *Star Trek* ekibi pek ihtiyaç olmadığı halde bir sürü kuralı kafalarına göre çiğnemişti. "Her yere ulaşan sonsuz sayıda yol"dan oluşmuş galaksilerarası miselyum ağlarından faydalanan Stamets (kurgusal olan) ve ekibi, "miselyum düzleminde" ışıktan hızlı seyahat etmenin yolunu bulur. Stamets miselyuma ilk giriş tecrübesinden şaşkın ve değişmiş olarak çıkar. "Bütün hayatımı miselyumun özünü kavramaya

çalışarak geçirdim. Ve şimdi anlıyorum. Ağı gördüm. Şimdiye dek hayal bile edemediğim bir olasılıklar evreni."

Stamets (gerçek olan) *Star Trek* ekibiyle işbirliği yaparken bazı sorunlara eğilebileceğini düşünüyordu ve bunlardan biri, mikolojinin göz ardı edilmesiydi. Sanat, yaşamı ve yaşam da sanatı taklit eder. Uzay mikoloğu olan kurgusal kahramanlar genç kuşağı mantarlar konusunda heyecanlandırabilir, onlara ilham verebilirse mantar bilgisinin kurgusal olmayan geleceğini biçimlendirebilir. Stamets'a (gerçek olan) göre, mantarlara duyulan ilginin hızla artması, "geleceği tehlikede olan gezegenimizi kurtarmaya yardımcı olacak" mikolojik teknolojilerin geliştirilmesini sağlayabilir.



İstiridye mantarı, *Pleurotus ostreatus*

Yıldız Gemisi Agarikon'a vardığımda Stamets güvertede oturmuş, bir turşu kavanozu ve mavi bir plastik tabakla uğraşıyordu. Bu alet Stamets'ın icat ettiği bir arı yemliğinin prototipiydi. Kavanozdaki mantar özütü içeren şekerli su tabağa damlıyor, arılar bir oluktan geçerek sıvıya ulaşıyorlardı. Stamets'ın son girişimi, mantarların dünyayı kurtarmasının yedinci yoluydu bu. Proje, Stamets'ın standartlarına göre bile büyük haberdi. Washington Eyalet Üniversitesi arı laboratuvarından entomologlarla birlikte yazdığı son araştırması, prestijli bir dergi olan *Nature Scientific Reports* tarafından kabul edilmişti. O ve

ekibi, belli bazı beyaz çürüklük mantarlarından elde edilen özütlerin, arılarda ölüm oranlarını çarpıcı biçimde azaltabildiğini göstermişti.

Küresel tarım çıktısının yaklaşık üçte biri hayvanların, özellikle de balarılarının çiçekleri tozlaştırmasına bağlı ve arı popülasyonlarındaki hızlı azalma insanlığın geleceğine yönelik önemli bir tehdit. Koloni çökme bozukluğu olarak bilinen sendromda bir dizi etken rol oynar. Bunlardan biri, böcek öldürücü ilaçların yaygın biçimde kullanılması, bir diğeriyse habitat kaybıdır. Fakat en sinsi sorun, varroa akarı da denen *Varroa destructor* adlı parazittir. Arının vücut sıvılarını emen varroa akarı, ölümcül virüsler taşır.[41]

Odun çürüten mantarlar, çoğu uzun zamandan beri özellikle Çin'de ilaç olarak kullanılan antiviral bileşikler bakımından zengin birer kaynaktır. Stamets 11 Eylül'den sonra, teröristlerin biyolojik silah olarak kullandıkları virüs fırtınalarıyla mücadele edebilecek bileşiklerin arayışı içinde olan ABD Ulusal Sağlık Enstitüleri ve Savunma Bakanlığı'yla işbirliği yaptı. Teste tabi tutulan binlerce bileşik içinde Stamets'ın odun çürüten mantarlardan elde ettiği özütlerden bazıları çiçek hastalığı, herpes ve grip dahil bir grup ölümcül virüse karşı en güçlü etkiyi gösterdi. Stamets bu özütleri yıllardır insanlar için üretiyordu; Fungi Perfecti'yi milyon dolarlık bir iş haline getiren de büyük oranda bu ürünler olmuştu. Fakat onları arıları tedavi etmek için kullanma fikri yeni aklına gelmişti.[42]

Mantar özütlerinin arılardaki virüs enfeksiyonları üzerinde gösterdiği etkiler açıktı. Arıların şekerli suyuna yüzde birlik kav mantarı (*Fomes*) ve reishi (*Ganoderma*, Ecovative'de malzeme üretiminde kullanılan tür) özütü eklemek, deforme kanat virüsü oranını seksende bire düşürüyordu. *Fomes* özütü Sinai Gölü virüsünü neredeyse doksanda bire, *Ganoderma* özütüyse kırk beş binde bire düşürüyordu. Washington Eyalet Üniversitesi'nden entomoloji profesörü ve Stamets'ın bu araştırmadaki çalışma arkadaşlarından biri olan Steve Sheppard, arıların ömrünü bu ölçüde uzatabilen başka herhangi bir maddeyle karşılaşmadığını söylüyordu.[43]

Stamets bu fikrin nasıl aklına geldiğini anlattı. Bir gün hayallere dalmışken, farklı hatlarda ilerleyen düşünceler ansızın bir araya gelmiş ve beyninde "bir şimşek çakmış." Mantar özütlerinin antiviral etkileri

varsa arıların viral yükünü azaltabileceklerini düşünmüş. Ve 1980'lerde bahçesindeki kovanlarda yaşayan arıların çürüyen bir yonga yığınına uçtuklarını, yongaları kenara çekip altındaki miselyumu yediklerini hatırlamış. "Aman Tanrım." Stamets o anda uyanmış. "Galiba arıları nasıl kurtaracağımızı biliyorum." Yıllardır zorlu sorunlara mantarlarla çözüm üretmeye çalışan biri için bile önemli bir anmış bu.

Star Trek'in neden Stamets'ın fikirlerinden feyz aldığı kolayca anlaşılıyor. Anlatım tarzı hasılat rekorları kıran bir Amerikan filminden çıkmış gibi. Anlattığı pek çok hikâyede gezegeni neredeyse kaçınılmaz bir kıyametten kurtarmaya hazır mantar kahramanlar rol oynuyor. *Beklenmedik boyutlarda virüs fırtınaları küresel gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Kilit roldeki tozlaştırıcılar, küresel açlığa yol açacak virüs taşıyan paraziterin vahim tehdidi altındadır. Dünyanın geleceği uçurumun kenarına gelmiştir. Ama durun bir dakika. Yoksa bu..? Evet! İşte mantarlar, yardakçıları Stamets'ın yardımıyla bir kez daha imdada yetişiyor.*

Odun çürüten mantarların ürettiği antiviral bileşikler arıları sahiden kurtaracak mı? Stamets'ın bulguları ümit verici ama mantar özütlerinin uzun vadede çöken koloni sayısını azaltıp azaltmayacağını söylemek için henüz erken. Virüsler arıların yüz yüze geldiği birçok sorundan sadece biri. Mantarlardan elde edilen antivirallerin diğer ülkelerde ve koşullarda da aynı şekilde etkili olup olmayacağını bilmiyoruz. Daha da önemlisi, Stamets'ın, milyonlarca yurttaş bilim insanının çabalarıyla başarıya ulaşabileceğini umduğu çözümün arı popülasyonlarını kurtarabilmesi için yaygın olarak benimsenmesi gerekiyor.

Stamets'ın Washington Eyaleti, Olympic Yarımadası'ndaki üretim tesisini görmeye gittim. Etrafı ağaçlarla çevrili, hangar benzeri barakalardan oluşan merkez, sapa bir yerdeydi. Stamets çalışmada kullandığı mantarları burada yetiştiriyor, özütleri burada çıkarıyordu. Ürünün satışa sunulması ve kullanımının yaygınlaşması için pek yakında üretimi artırmak gerekecekti. Arılarla ilgili çalışmanın yayımlanmasından birkaç ay sonra Stamets "mantarlı arı yemliği" için on binlerce sipariş almıştı. Talebe yetişemeyen Stamets, başkalarının da üretime geçeceği ümidiyle üçboyutlu yazıcı tasarımını açık kaynak olarak erişime sunmayı planlıyor.

Stamets'ın operasyon yöneticilerinden biriyle tanıştım; bana etrafı gezdirmeyi kabul etti. Kılık kıyafetle ilgili kurallar katıydı: Ayakkabı yok, laboratuvar önlüğü ve bone giyilecek; sakal için de ayrıca bone veriliyordu. Giyindikten sonra dışarıdan mikroplarla dolu havanın içeriye girişini azaltacak şekilde tasarlanmış özel bir çift kapıdan geçtik.

Ilık ve nemli mantar yetiştirme odalarına girdik; hava ağır ve iç bayıltıcıydı. Raflara dizili şeffaf plastik torbalardaki miselyumlar parlak, kestanemsi yüzeyleriyle odunsu reishi mantarlarından, krem rengi narin mercanlara benzeyen aslan yelesi mantarına çeşitli biçimlerde, şaşırtıcı çıkıntılar oluşturmuştu. Reishi mantarlarının bulunduğu odanın havasındaki sporlar öyle yoğundu ki yumuşak ve nemli burukluklarının tadını alabiliyordum. Birkaç dakika içinde ellerim kapuçino rengi bir tozla kaplanmıştı.

İnsanlar bir kez daha tonlarca besini mantar ağlarına yönlendirmek için ellerinden geleni yapıyorlardı. Bir kez daha küresel bir kriz mantarlar için bir dizi fırsata dönüştürülüyordu. Radikal mikolojik çözümler, toksik atık birikintisinin kenarına gelince duran *Pleurotus* miselyumunun karşılaştığı engelde olduğu gibi, icat etmekten çok, hatırlamakla ilgilidir. *Pleurotus* genomunun bir yerinde sorunu çözecek bir enzim var muhtemelen. Bu enzim daha önceleri aynı işi yapmış olabilir ya da yapmamışsa yeni bir amaca yönlendirilebilir. Benzer şekilde yaşam tarihinin bir yerlerinde, büyük dertlerimizden birine deva olabilecek eski bir çözüm bulabiliriz. Arı hikâyesini düşündüm. Stamets "evreka" ânını, yıllar önce gördüğü bir şeyi –arıların mantarları kullanarak kendilerini tedavi ettiğini– hatırladığı zaman yaşamıştı. Stamets mantarları kullanarak arıları tedavi etme yöntemini bulmadı. O yöntemi, muhtemelen ortak geçmişlerinin gizli saklı kalmış bir köşesinde virüslerle yaşadıkları biyokimyasal dalaşma sırasında arılar buldu. Stamets ise kendi hayal âlemindeki ruhsal kompost yığınının derinliklerinde bulunan eski bir radikal mikolojik çözümden yeni bir çözüm üretti.

Üç metre yüksekliğinde raf birimleriyle dolu mantar yetiştirme odalarına girdim. Burası bir mantar peteğiydi. Yumuşak, tüysü miselyumlarla dolu binlerce torba alanı doldurmuştu. Kimileri beyaz,

kimileri uçuk sarı, kimileri soluk turuncuydu. Havalandırma sistemi dursaydı milyonlarca kilometre uzunluğundaki miselyumun, besinin içinde büyürken çıkardığı çıtırtıyı duyabileceğimi hissettim. Hasat sırasında torbalarca miselyumdan çıkarılan özüt, arılara şifa olması için alkol dolu büyük fıçılara aktarıldı. Mikolojik çözümlerin birçoğunda olduğu gibi bu yöntemin de akıbeti henüz belirsiz; bunlar, karşılıklı hayatta kalma güvencesi yaratma ihtimaline doğru, simbiyozun emekleme çağında usul usul atılan ilk adımlar.

8

Mantarları Anlayabilmek

> Hikâyeleri hangi hikâyelerin anlattığı, kavramları hangi kavramların düşündüğü (...) sistemleri hangi sistemlerin sistemleştirdiği önemli.[1]
>
> —Donna Harraway

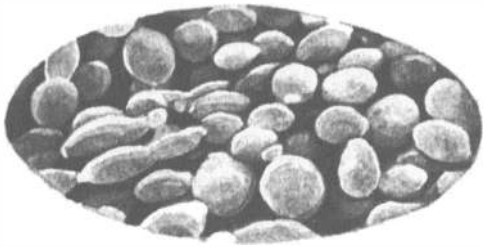
İnsanlarla en mahrem ortak tarihi paylaşan mantarlar, mayalardır. Mayalar cildimizde, akciğerlerimizde, sindirim kanalımızda yaşar; vücudumuzu dışarıya bağlayan boşlukları döşer. Bu maya topluluklarını düzenleyecek şekilde evrilen vücudumuz, evrimsel geçmişimizde çok uzun zamandan beri bunu yapıyor. İnsan kültürleriyse maya topluluklarının vücudumuzun dışındaki yaşamını fıçılarda ve kavanozlarda düzenlemek için binlerce yıl içinde incelikli yöntemler geliştirdi. Mayalar, bugün biyoloji ve genetikte en yaygın kullanılan model organizmalardandır. Ökaryot yaşamın en basit formu olan mayalarda insan genlerinin birçoğunun eşdeğeri bulunur. Mayalı içki ve ekmek yapımında kullanılan maya türü olan *Saccharomyces cerevisiae*, 1996'da genom dizisi çıkarılan ilk ökaryot organizma oldu. 2010'dan bu yana Fizyoloji veya Tıp Nobel Ödüllerinin dörtte birinden fazlası mayalarla ilgili çalışmalardan ötürü verildi. Halbuki mayaların mikroskobik organizmalar olduğu çok yakın bir zamanda, on dokuzuncu yüzyılda keşfedilmişti.[2]

İnsanların tam olarak ne zaman mayalarla çalışmaya başladığı sorusu hâlâ yanıtsız. Çin'de elde edilen ilk kesin delil yaklaşık dokuz bin yıl önceye ait. Fakat Kenya'da üzerinde mikroskobik nişasta tanecikleri bulunan yüz bin yıllık taş aletler çıkarıldı. Nişasta taneciklerinin biçimi, aletlerin likör yapımında hâlâ kullanılan *Hyphaene petersiana*

palmiyesini işlemek için kullanıldığını düşündürüyor. Şekerli herhangi bir sıvı bir günden uzun süre bekletildiğinde kendi kendine mayalanmaya başladığına göre, mayalı içki üretiminin çok daha eskilere dayanıyor olması muhtemel.[3]

Mayalar şekerin alkole dönüşümüne nezaret eder. Antropolog Claude Lévi-Strauss, mantarların ayrıca insanlık tarihinin en çarpıcı kültürel dönüşümlerinden birine de –avcı-toplayıcılıktan tarıma geçişe– nezaret ettiğini savunuyordu. Fermente baldan yapılan bir içki olan bal şarabının ilk alkollü içecek olduğunu düşünüyordu ve "doğal" fermantasyondan kültürel "mayalama"ya geçişi, içi boş ağaç örneğini kullanarak tahayyül ediyordu. Bal "kendiliğinden" mayalanmışsa alkol, doğanın bir parçasıydı ve insanlar balı, içini boşalttıkları bir ağacın içine koyup mayalamışlarsa alkol, kültürün bir parçasıydı. (Bu ilginç ayrımın sınırlarını genişletirsek: *Macrotermes* termitleri ve yaprak kesen karıncalar doğadan kültüre geçişi insanlardan milyonlarca yıl önce gerçekleştirmiştir.)[4]

Lévi-Strauss bal şarabı konusunda haklı olabilir ya da olmayabilir. Ne var ki modern bira mayasına benzeyen maya, keçi ve koyunun evcilleştirilmesiyle yaklaşık olarak aynı dönemde ortaya çıktı. Tarımın yaklaşık on iki bin yıl öncesine dayanan kökeni, yani Neolitik geçiş dönemi hiç değilse kısmen mayalara verdiğimiz kültürel bir yanıt olarak düşünülebilir. İnsanlar ya ekmek ya da bira için göçebe yaşam tarzlarını terk edip yerleşik toplumlara dönüşmeye başlamıştı (Ekmekten önce bira varsayımı, 1980'lerden sonra akademisyenler arasında giderek popülerlik kazanmıştır). İster ekmekle başlamış olsun ister birayla mayalar insanların ilk tarımsal faaliyetlerinin başlıca yararlanıcılarıydı. İnsanlar ekmeği de birayı da yaparken kendinden önce mayayı besler. Tarlalardan şehirlere, sermaye birikimine, tahıl ambarlarına ve yeni hastalıklara, tarımla ilgili kültürel gelişmeler mayalarla ortak tarihimizin bir parçasıdır. Mayaların pek çok yoldan bizi evcilleştirdiğini söylemek mümkündür.[5]



Bira/ekmek mayası, *Saccharomyces cerevisiae*

BENİM MAYALARLA OLAN ilişkimse üniversite yıllarında dönüşüm geçirdi. Komşularımdan birinin eve düzenli uğrayan bir erkek arkadaşı vardı. İstisnasız her seferinde o geldikten kısa bir süre sonra mutfak pervazlarında sıvıyla dolu, üzeri streç filmle kaplı büyük plastik karıştırma kapları belirirdi. Şarap yaptığını söylemişti. Nasıl yapılacağını Fransız Guyanası'nda hapse düşen bir arkadaşından öğrenmişti. Büyülenmiştim; çok geçmeden kendi karıştırma kapları setimi oluşturdum. Şarap yapmanın son derece kolay olduğunu anladım. Neredeyse bütün işi maya yapıyordu. Maya fazla sıcağı değil, ılık ortamı sever ve karanlıkta daha çabuk çoğalır. Mayayı ılık şekerli sıvıya koyduğunuzda mayalanma başlar. Ortamda oksijen yoksa maya şekeri alkole dönüştürür ve karbondioksit açığa çıkar. Ortamda şeker kalmadığı ya da maya alkol zehirlenmesinden öldüğü zaman mayalanma durur.

Bir karıştırma kabını elma suyuyla doldurdum ve birkaç çay kaşığı kuru bira mayası serptikten sonra odamdaki ısıtıcının yanına koydum. Yüzeyin köpüklenmesini ve plastik örtünün kabarıp balonlaşmasını izledim. Ara sıra sızan gaz giderek daha fazla alkol kokuyordu. Üç hafta sonra merakıma yenik düşüp kâseyi bir partiye götürdüm; dakikalar içinde kâsenin dibi göründü. Mayalı içki tatlımsı ve içilebilir nitelikteydi; etkilerine bakılırsa alkol oranı, güçlü bir biranınki kadar olmalıydı.

Kendimi çabucak geliştirdim. Birkaç yıl sonra elli litrelik bir tencerem ve büyük mayalama kaplarım vardı; tarihi metinlerden bulduğum reçetelere göre mayalı içkiler üretiyordum. 1669'da yayımlanmış olan *The Closet of Sir Kenelm Digby*'deki tarife göre baharatlı bal şarapları,

civardaki bataklıktan topladığım bataklık mersiniyle ortaçağda şerbetçiotu yerine özel bitki karışımları kullanılarak yapılan "gruit ale" denen birayı yapıyordum. Bunu alıç şarapları, ısırgan biraları ve I. James'in hekimi Dr. William Butler tarafından on yedinci yüzyılda kaydedilmiş olan, "Londra vebası"ndan kızamığa ve "çeşitli başka hastalıklar"a kadar her derde deva olduğu söylenen tıbbi bir bira izledi. Odamda köpüren sıvılarla dolu fıçılar diziliydi ve gardırobum ağzına kadar şişeyle doluydu.[6]

Aynı meyveleri farklı yerlerden topladığım maya kültürleriyle mayaladım. Bazılarının zengin ve baharatlı bir aroması vardı. Bazıları bulanık ve lezzetliydi. Bir kısmı çorap ya da neft yağı gibi kokuyordu. Hoş ve nahoş koku arasındaki sınır inceydi ama önemli değildi. Mayalama, mantarların görünmez dünyasına erişmemi sağlıyordu; bense elma kabuklarından toplanan ya da eski kütüphanelerin raflarında gece boyu bekletilmiş şekerli su dolu tabaklarda biriken mayaların yarattığı farkı tatmaktan memnundum.

Mayanın dönüştürücü gücü uzun zamandan beri ilahi enerji, ruh ya da tanrı olarak kişileştirilmişti. Bundan nasıl kaçabilirdi ki? Alkol ve sarhoşluk en eski büyülerdendi. Görünmez bir kuvvet meyveyi şaraba, tahılı biraya, nektarı bal şarabına dönüştürüyordu. Zihinsel halimizi değiştiren bu sıvılar, tören ziyafetleri ve devlet idaresinden işgücü karşılığında ödenen yevmiyeye, insan kültürlerinde kendine çok farklı şekillerde yer bulmuştur. Bir o kadar uzun zamandır da duyularımızın çözülmesine neden olup bizi yabanıllığa ve esrimeye davet eder. Mayalar, insanların toplumsal düzenini hem yapan hem de yıkandır.

Beş bin yıl öncesinden bugüne yazılı bira tarifleri bırakan Sümerler, fermantasyon tanrıçası Ninkasi'ye tapıyorlardı. *Mısır'ın Ölüler Kitabı*'ndaki dualar "ekmek ve bira verenler"e seslenir. Güney Amerika'da yaşayan Ch'orti' halkının anlayışına göre fermantasyonun başlangıcı "iyi ruhun doğumu"ydu. Antik Yunan kültüründe şarap, şarap yapımı, çılgınlık, sarhoşluk ve kültür meyvelerinin tanrısı Dionysos, insan kültürlerinde alkolün hem yapıcı hem de yıkıcı gücünün kişileştirilmiş haliydi.[7]

Günümüzde mayalar, insülinden aşı üretimine biyoteknolojik araçlar olarak kullanılıyor. Miselyumdan deri yapmak için Ecovative

ile işbirliği yapan Bolt Threads şirketi, genetik mühendisliği yöntemleriyle mayalara örümcek ağı ipliği ürettirdi. Araştırmacılar maya metabolizmasını, odunsu bitki malzemesinden biyoyakıt yapımında kullanılmak üzere şeker üretmelerini sağlayacak şekilde değiştirmeye çalışıyorlar. Ekiplerden biri baştan sona insan tasarımı sentetik bir maya olan Sc2.0 üzerinde çalışıyor; mühendisler bu yapay yaşam formunu programlayarak birçok bileşiği üretmesini sağlayabilecekler. Bütün bu örneklerde maya ve dönüştürücü gücü, doğa ile kültür ya da kendi kendini organize eden bir canlı ile insan yapımı bir makine arasındaki çizgiyi silikleştirmektedir.[8]

Deneysel çalışmalarım sırasında, mayalama sanatında maya kültürleriyle ince bir pazarlık yapmak gerektiğini öğrendim. Fermantasyon bozulmanın ıslah edilmiş, çürümenin mekân değiştirmiş haliydi. Fermantasyon başarılı olursa mayalanmış ürün çizginin doğru tarafında yer alır. Ama mantarlarla yaşanan tecrübelerde sık sık başımıza geldiği üzere, hiçbir şey kesin değildir. Fermantasyonun izleyebileceği olası yolları belirleyen temizlik, sıcaklık ve içerik gibi önemli koşullara dikkat ederek süreci istenen tarafa çekebilsem de zorla güzellik olmuyordu. O nedenle sonuç her zaman sürprizdi.

Tarihi mayalı içkileri içmek eğlenceliydi. Bal şarabı güldürüyordu, "gruit" birası içince insanın çenesi düşüyordu. Dr. Butler'ın birası tuhaf bir rehavet veriyordu. Bazılarıysa şişelenmiş felaket gibiydi. Etkileri ne olursa olsun tarihi bir metnin hayat bulması beni büyülüyordu. Eski tarifler son birkaç yüzyıldan beri hayatımıza ve zihnimize nakşolmuş kayıtlardır. Bu kitapların sayfalarındaki mayalar insan kültürünün sessiz bir yoldaşı, görünmez bir iştirakçisidir. Sonuçta bu tarifler, maddelerin nasıl bozunduğunu kavramamızı sağlayan hikâyelerdi. Dünyayı anlamlandırmak için kullandığımız hikâyelerin önemli olduğunu hatırlatıyorlardı bana. Sonuçta elinizde ekmek mi yoksa bira mı olacağı, tahılın hikâyesine bağlıdır. Yoğurt mu yoksa peynir mi olacağını sütün hikâyesi belirler. Şıra mı şarap mı olacağınıysa elmanın hikâyesi.

MAYALAR MİKROSKOBİKTİR, bu da yaşamları etrafında yoğun bir hikâye katmanının birikmesini kolaylaştırır. Sporokarp oluşturan mantarları anlamak genellikle daha kolay olmuştur. Şapkalı mantarların lezzetli

olduğunu ama zehirli de olabileceğini, şifa verebileceğini, besleyebileceğini ya da hayaller görmemize yol açabileceğini uzun zamandır biliyoruz. Doğu Asyalı ozanlar yüzyıllar boyunca mantarlar ve aromalarıyla ilgili son derece duygusal şiirler yazdılar. On yedinci yüzyılda Japonya'da yaşamış olan Yamaguchi Sodo hayranlığını "Ah matsutake: / Onu bulmanın eşiğinde yaşanan heyecan," dizeleriyle dile getirmişti. Albert Magnus on üçüncü yüzyılda yazdığı şifalı bitkilerle ilgili *De Vegetabilibus* adlı incelemesinde "nemli mizaca sahip" mantarlar "[onları yiyen] yaratıkları, kafalarındaki zihin geçitlerini tıkayarak çıldırtabilir" uyarısında bulunmuştu. John Gerard 1597'de okurlarını mantarlardan bütünüyle uzak durmaları konusunda uyarmıştı: "Pek az mantar yenebilir niteliktedir ve çoğu, yiyen kişiyi nefessiz bırakıp boğar. O nedenle böyle acayip ve alışılmadık etleri yemeye meraklı olanlara tavsiyem, dikenlerin arasında bal yalamaya çalışırken dikkatli olmalarıdır; zira bal tatlıdır ama sivri dikenler de pek fena batar." Ama insanlar mantarlardan hiçbir zaman uzak durmadı.[9]

`1957'de *Life* dergisinde yayımlanan bir makalesiyle sihirli mantarları popüler hale getiren Gordon Wasson ve eşi Valentina aynı yıl bütün kültürlerin "mikofilik" (mantarsever) ya da "mikofobik" (mantardan korkan) olarak sınıflandırılabileceği ikili bir sistem geliştirdiler. Wasson'lara göre mantarlara karşı günümüzün kültürel tutumları, kadim psikedelik mantar kültlerinin "çağdaş yankısı"ydı. Mikofilik kültürler, mantarlara tapınanların uzantılarıydı. Mikofobik kültürlerse mantarların gücünü şeytani olarak kabul edenlerden geliyordu. Mikofilik tutumlar, Yamaguchi Sodo'nun matsutakeyi öven şiirler yazmasına ya da Terence McKenna'nın psilosibin içeren mantarlarını yüksek dozlarda kullanmanın faydalarını anlatarak insanları ikna etmesine yol açabilirdi. Mikofobik tutumlarsa psilosibin içeren mantarların yasaklanmasına yol açabilir ya da Albertus Magnus'u ve John Gerard'ı "bu alışılmadık etler"in tehlikelerine karşı sert uyarılarda bulunmaya teşvik edebilirdi. Her iki konum da mantarların insan hayatı üzerindeki etkisinin ne denli güçlü olduğunun farkındadır. Fakat bu güce farklı anlamlar yükler.[10]

Canlıları doğruluğu sorgulanabilir kategorilere zorla yerleştirmeye çalışırız. Onları kavrayabilmemizi sağlayan yollardan biridir bu.

On dokuzuncu yüzyılda bakteriler ve mantarlar, bitkiler başlığı altında sınıflandırılıyordu. Bağımsızlıklarını ancak 1960'ların ortalarında kazanabilen bakteriler ve mantarların günümüzde kendine özgü iki ayrı âlem olduğu kabul ediliyor. Yazılı insanlık tarihinin büyük bölümünde mantarların aslında ne oldukları üzerine fikir birliğine varılamamıştır.[11]

Aristoteles'in öğrencisi Theophrastus trüf mantarları hakkında yazmıştı ama tek söyleyebildiği onların ne olmadıklarıydı: Kökü, sapı, dalı, tomuru, yaprağı, çiçeği, meyvesi olmadığı gibi, kabuğu, özü, lifleri ya da damarları da yoktu. Diğer klasik dönem yazarları, mantarların yıldırım çarpmasının ardından kendiliğinden ortaya çıktığını düşünüyorlardı. Bazılarıysa onların Dünya'nın dışarıya uzanan çıkıntıları ya da "fazlalıklar"ı olduklarına inanıyordu. On sekizinci yüzyılda yaşamış, modern taksonominin kurucusu İsveçli botanikçi Carl Linnaeus 1751'de şöyle yazmıştı: "Mantarlar şubesi hâlâ bir Kaos içindedir ve bilim dalının yüz karasıdır; hiçbir botanikçi neyin Tür neyin Varyete olduğunu bilmiyor."[12]

Mantarlar bugüne dek onlar için oluşturduğumuz sınıflandırma sistemlerinin kıyısından köşesinden sıvışmayı bildiler. Linnaeus'un geliştirdiği taksonomi sistemi hayvanlar ve bitkiler için tasarlanmış olduğundan mantarlar, likenler ve bakterilerle kolay kolay başa çıkamaz. Tek bir mantar türü birbirine hiç benzemeyen biçimlerde gelişebilir. Birçok tür, tanımlamada kullanılabilecek ayırt edici özellikleri taşımaz. Gen dizi analizindeki ilerlemeler sayesinde mantarları fiziksel özelliklerinden çok, ortak evrimsel tarihlerine göre gruplandırabiliyoruz. Ancak genetik verilere dayanarak bir türün nerede başlayıp diğer türün nerede bittiğine karar vermek, ne kadar çok sorunu çözerse bir o kadarını da beraberinde getiriyor. Tek bir mantar "birey"in miselyumu birden fazla genom taşıyabilir. Bir tutam topraktan çıkarılan DNA'da on binlerce benzersiz genetik imza bulunabilir ama bunları bilinen mantar gruplarına atamak mümkün değil. 2013'te "Mantarların adlandırılmasına karşı" başlıklı bir makalede mikolog Nicholas Money, mantarlarda tür kavramının hepten terk edilmesi gerektiğini öne sürecek kadar ileri gitmişti.[13]

Sınıflandırma sistemleri insanların dünyayı kavrayabilmek için kullandığı yollardan sadece biri. Bir diğeriyse değer yargılarıdır.

Charles Darwin'in torunu Gwen Raverat, Leş Kokulu Mantar *Phallus impudicus*'un Etty Teyzesinde (Darwin'in kızı) uyandırdığı tiksintiyi tarif etmişti. Bu mantarlar fallus şeklinde olmalarıyla ünlüdür. Ayrıca sporlarını dağıtacak sinekleri çeken kötü bir koku yayarlar. Raverat 1952'de şöyle anlatıyordu:

> Yaşadığımız yerdeki ormanlarda yenebilir olmayan, yerel dilde Leş Kokulu Mantar olarak adlandırılan mantar türü yetişir (Latince ismi daha da nahoştur). Adına hakkını veren bu mantarı, kokusunu takip ederek bulabilirsiniz. Bu büyük keşfi yapan Etty Teyze elinde bir sepet ve ucu sivri bir sopa, üzerinde mantar avına özel bir pelerin ve ellerinde eldivenleriyle ormanda arada bir durup havayı koklayarak dolaşırdı, avının kokusunu aldığı anda burun delikleri oynamaya başlardı. Derken kurbanına ölümcül darbeyi indirir, leş gibi kokan cesedi sopanın ucuna takıp sepetine atardı. Gün sonunda eve getirilen ganimet, hizmetkârların ahlakı bozulmasın diye oturma odasının kapısı kapatıldıktan sonra büyük bir gizlilik içinde yakılırdı.[14]

Haçlı seferi mi fetiş mi? Mikofobik mi yoksa gizli mikofilik mi? Ayırt etmek her zaman kolay değil. Etty Teyze leş kokulu mantarlardan tiksinen birine göre onları bulmak için çoğu insandan fazla zaman harcıyordu. "Av" sırasında mantarın sporlarını yayma performansının sineklerinkinden daha iyi olduğuna hiç kuşku yok. Sineklere muhtemelen karşı konulmaz gelen o iğrenç kokuya anlaşılan Etty Teyze de karşı koyamıyor ama kapıldığı çekim, ekseninden saparak tiksinti şeklinde kendini belli ediyordu. Yaşadığı dehşet duygusunun itici gücüyle leş kokulu mantarları Viktoriyen ahlakçılık kılıfına uyduran Etty Teyze tutkulu bir nefere dönüşmüştü.

Mantarları anlama çabamız, kendimiz hakkında, genellikle anlamaya çalıştığımız mantarlar hakkında olduğu kadar çok şey anlatır. *Agaricus xanthodermus* çoğu kılavuzda zehirli olarak tanımlanır. Geniş bir mikoloji kütüphanesine sahip hevesli bir mantar avcısı bir keresinde bana aynı mantarın eski bir kılavuz kitapta "kızartıldığında lezzetli" olarak tarif edildiğini ama yazarın "bünyesi zayıf olanlarda hafif bir komaya neden olabilir" şeklinde bir not eklediğini anlatmıştı. Bu mantara atfettiğiniz anlam fizyolojik yapınıza bağlıdır. Bazıları, çoğu

insan için zehirli olan bu mantarı rahatlıkla yiyebilir. Mantarın tarifi, tarif eden kişinin fizyolojisine bağlıdır.[15]

İLK KEZ ON DOKUZUNCU yüzyılın sonlarına doğru simbiyoz sözcüğü kullanılmaya başlandığından bu yana insani bakış açısıyla anlaşılmış olan simbiyotik ilişkiler üzerine yapılan tartışmalarda böyle bir yanlılık özellikle barizdir. Likenleri ve mikorizal mantarları kavrayabilmek için kullanılan analojiler durumu açıkça ortaya koyar. Efendi ve köle, kandıran ve kandırılan, insanlar ve evcilleştirilmiş organizmalar, erkekler ve kadınlar, uluslararası diplomatik ilişkiler... Metaforlar zamanla değişse de insan ötesi ilişkileri insani kategorilere uydurma çabaları günümüze kadar gelmiştir.

Tarihçi Jan Sapp, simbiyoz kavramının kendi toplumsal değerlerimizi dağıtan bir prizma gibi davrandığını söylüyor. Sapp hızlı konuşan, ironik ayrıntıları kaçırmayan biri. Uzmanlık alanı simbiyoz tarihi. Laboratuvarlarda, konferanslarda, sempozyumlarda ve cangıllarda organizmaların birbirleriyle nasıl bir etkileşim içinde olduklarını çözmeye çalışan biyologlarla yıllarca çalışmış. Lynn Margulis'in ve Joshua Lederberg'in iyi arkadaşı olan Sapp, modern mikrobiyoloji biliminin "serpilmesini" ön sıralardan izlemişti. Simbiyoz siyaseti her zaman endişe verici olmuştur. Doğa temelde rekabetçi midir yoksa işbirlikçi mi? Bu soru etrafında epey tartışma döner. Birçok kişiye göre bu tartışma kendimizi anlama biçimimizi değiştirir. Bu meselelerin kavramsal ve ideolojik anlamda tehlikeli sularda dolaşması şaşırtıcı değildir.[16]

Evrim teorisinin ileri sürüldüğü on dokuzuncu yüzyılın sonlarından bu yana ABD ve Batı Avrupa'da hâkim söylem olan çatışma ve rekabet, sanayileşmiş kapitalist sistemde insanın gösterdiği toplumsal ilerlemeye nasıl bakıldığını yansıtıyordu. Karşılıklı fayda sağlamak amacıyla işbirliği yapan organizmalara ilişkin örnekler Sapp'in ifadesiyle "kibar biyoloji cemiyetinin sınırlarına yakın duruyordu." Likenlerdeki ya da mikorizal mantarlarla bitkiler arasındaki gibi mutualistik ilişkilerin, kuralı bozmayan tuhaf istisnalar oldukları kabul ediliyordu.[17]

Bu görüşe muhalefet açısından net bir doğu-batı cepheleşmesi olmasa da karşılıklı yardım ve işbirliğinin evrimdeki rolüyle ilgili

fikirler Batı Avrupa'ya göre Rusya'da daha fazla öne çıkıyordu. "Doğanın kanlı dişleri ve pençeleri" benzetmesiyle ifade edilen kıran kırana mücadele görüşüne en güçlü tepki, Rus anarşist Pyotr Kropotkin'den geldi. Kropotkin 1902'de *Karşılıklı Yardımlaşma: Evrimin Bir Faktörü* adlı kitabında, varoluş mücadelesi kadar "sosyalleşme"nin de doğanın bir parçası olduğunun altını çiziyordu. Doğayla ilgili yorumuna dayanarak açık bir mesaj veriyordu: "Rekabet etmeyin!" "Birbirinize yardım edin! Her bireyin hem kendisi hem de herkes için en güvenli koşulları sağlamasının, bedensel, entelektüel ve ahlaki varoluşu ve ilerlemeyi güvence altına almasının en emin yolu budur."[18]

Yirminci yüzyılın büyük bölümünde simbiyotik etkileşimlerle ilgili tartışmalar politik gerilim yüklüydü. Sapp, Soğuk Savaş'ın biyologları dünyada birlikte varoluş meselesini genel olarak daha ciddiye almaya ittiğine dikkat çekiyor. Simbiyozla ilgili ilk uluslararası konferans 1963'te, dünya Küba Füze Krizi'yle nükleer savaşın eşiğinden döndükten altı ay sonra Londra'da düzenlendi. Bu bir tesadüf değildi. Konferans metinlerini düzenleyen editörlerin yorumu "dünya meselelerinde birlikte yaşamanın getirdiği sorunların baskısı, Komite'yi bu yıl Sempozyum konusunun seçiminde etkilemiş olabilir," şeklindeydi.[19]

Bilim alanında metaforların yeni düşünme biçimleri geliştirmeye yardımcı olduğu iyi bilinir. Biyokimyacı Joseph Needham, işe yarar bir analojinin, bir heykeltıraşın ıslak kili desteklemek için kullandığı tel çerçeve misali, biçimsiz bir enformasyon kütlesine çekidüzen vermek amacıyla kullanılabileceğini söyler. Evrim biyoloğu Richard Lewontin, neredeyse "modern bilimin bütünü, insanların doğrudan tecrübe edemediği fenomenleri açıklamaya çalışır," der ve bu nedenle metaforlar olmadan "bilimle uğraşma"nın imkânsız olduğunu vurgular. Metaforlar ve analojiler insanların hikâyeleri ve değerleriyle yoğrulduğu için –bu dahil– hiçbir bilimsel görüş kültürel yanlılıktan azade olamaz.[20]

Ortak mikorizal ağlarla ilgili çalışmalar, günümüzde politik anlam yüklenen alanlardan biridir. Bazıları bu sistemleri orman servetinin yeniden bölüşüldüğü bir sosyalizm olarak nitelendirir. Bazılarıysa memelilerin aile yapılarından ve yavru bakımından esinlenerek genç ağaçların mantar bağlantılarıyla daha yaşlı ve ulu "anne ağaçlar"

tarafından beslèndiği benzetmesini yapar. Bazıları bu ağları, "biyolojik pazar" terimlerini kullanarak bitkilerle mantarları, ekolojik bir menkul kıymetler borsası zemininde ticaret yapan, "yaptırımlar" uygulayan, "stratejik ticari yatırımlar" yapan ve "kazanç" sağlayan rasyonel ekonomik bireyler olarak betimler.[21]

Orman çapında ağ teriminin de insanbiçimcilik açısından bundan aşağı kalır yanı yok. Makine yapabilèn tek canlı insan olduğu gibi, internet ve Dünya Çapında Ağ da günümüzün en bariz biçimde politikleştirilen teknolojilerindendir. Diğer organizmaları anlamak için kullanılan makine metaforları da insanın toplumsal yaşamından ödünç alınan kavramlar kadar sorunlu olabilir. Gerçekte organizmalar büyür, makineler yapılır. Organizmalar kendilerini yeniden ve yeniden oluşturur; oysa makinelerin bakımını insanlar yapar. Organizmalar kendilerini organize ederler; makinelerse insanlar tarafından organize edilir. Makine metaforları, hayati öneme sahip sayısız keşif yapılmasına yardım etmiş hikâyeler ve araçlardır. Ama bilimsel olgular olmadıkları için başka hikâyeler karşısında bu metaforlara öncelik tanınması başımızı derde sokabilir. Organizmaları birer makine gibi düşünürsek onlara birer makineymiş gibi davranmaya başlarız.[22]

Hangi metaforların en fazla işe yaradığını ancak sonradan anlayabiliriz. Günümüzde bütün mantarları on dokuzuncu yüzyılın sonlarında olduğu gibi "hastalık etkenleri" ya da "parazitler" kategorileri altında bir araya toplamak saçma olur. Gelgelelim likenler Albert Frank'ı *simbiyoz* sözcüğünü kullanmaya yönlendirmeden önce farklı tipte organizmalar arasındaki ilişkileri tarif etmenin başka yolu yoktu. Son yıllarda simbiyotik ilişkiler etrafında şekillenen söylemler daha da detaylandı. Likenlerin ikiden fazla oyuncu içerdiğini bulan araştırmacı Tony Spribille, onların birer sistem olarak düşünülmesi gerektiğini savunuyor. Likenler, uzun zamandan beri zannedildiği gibi sabit bir ortaklığın ürünü olmaktan çok, farklı oyuncular arasındaki olası ilişkiler yelpazesinden çıkıyormuş gibi görünüyor. Spribille'e göre likenleri destekleyen ilişkiler, bildiğimiz bir yanıttan çok, bir soru haline geldi.

Benzer şekilde bitkilerin ve mikorizal mantarların da artık salt mutualist ya da salt parazit olarak davrandığı düşünülmüyor. Tek bir mikorizal mantar ile tek bir bitki arasındaki ilişkide dahi alışveriş

akışkandır. Araştırmacılar katı bir ikilik yerine bir mutualist-parazit sürem tarif ediyorlar. Ortak mikorizal ağlar, işbirliğinin yanı sıra, rekabeti de kolaylaştırabilir. Sadece besin elementleri değil, zehirler de toprakta mantar bağlantıları yoluyla taşınabilir. Olasılıklar zengin. Bakış açımızı değiştirmeli ve bu belirsizlikte ya huzur bulmalı ya da ona katlanmalıyız.

Bununla birlikte bazıları mevzuyu politikleştirmekten hâlâ zevk alıyor. Sapp bir biyoloğun, kendisi hakkında söylediklerini anlatıyor eğlenerek: "Beni biyolojinin solcusu, kendiniyse sağcısı olarak tanımlıyor." İkisi biyolojik anlamda birey fikrini tartışıyorlarmış. Sapp'e göre mikrobiyoloji alanındaki gelişmeler bir organizmanın birey olarak sınırlarını çizmeyi güçleştirir. Kendini biyolojinin sağ kanadında konumlandıran ve Sapp'i eleştiren biyologsa sınırları belli bireylerin var olması gerektiğini düşünüyormuş. Çağdaş kapitalist düşünce, kendi çıkarını gözeten rasyonel bireyler fikri üzerine kurulmuştur. Bireyler olmazsa sistem çöker. Bu biyoloğa göre, Sapp'in savunduğu görüşün altında kolektiflere olan yakınlığı ve sosyalizm eğilimi yatıyor. Sapp ise buna gülüyor. "Kimileri yapay ikilikler yaratmaktan hoşlanıyor."[23]

Biyolog Robin Wall Kimmerer *Braiding Sweetgrass* adlı kitabında, Amerikan yerlilerinin Potawatomi dilinde kullandığı bir sözcükten bahseder: *papovi* (*puhpowee*). "Mantarları bir gecede topraktan dışarı iten kuvvet" anlamına gelir bu sözcük. Kimmerer'ın daha sonra öğrendiğine göre "*papovi* kelimesi sadece mantarlar için değil, başka şeylerin de gece gizemli biçimde kalktığını anlatmak için kullanılır." Bir mantarın topraktan çıkışını, erkeklerin cinsel uyarılmasını tarif eden dille anlatmak insanbiçimcilik midir? Yoksa erkeklerdeki cinsel uyarılmayı tarif ederken mantarın büyümesini anlatan dili kullanmak mı mantarbiçimciliktir? Ok hangi yönü gösterir? Bir bitkinin "öğrendiği"ni, "karar verdiği"ni, "iletişim kurduğu"nu ya da "hatırladığı"nı söylerseniz bitkiyi mi insansılaştırırsınız, yoksa beşeri kavramları mı bitkiye yakıştırmış olursunuz? Beşeri kavramlar bir bitki için kullanıldığında yeni anlamlara bürünebilir ve aynı şekilde nebati kavramlar da insan için kullanıldığında –kabak çiçeği gibi açılmak, çetin ceviz, özlü, köklü ifadelerinde olduğu gibi– yeni anlamlara bürünür.[24]

Canlıların birbirleriyle ilişki kurma eğilimini anlatmak için *involüsyon* sözcüğünü ortaya atan antropolog Natasha Myers, Charles Darwin'in "bitkibiçimciliği" (fitomorfizm) uygulamak için nebati özellikler atfetmeye oldukça hazır göründüğünü söylüyor. Darwin 1862'de orkide çiçekleriyle ilgili gözlemini şöyle ifade etmişti: "Bu *Catasetum*'da antenin konumu, sol kolunu kaldırıp eli göğsünün üstüne gelecek şekilde kıvırmış, sağ kolunuysa gövdesinin alt tarafına parmakları sol yanına doğru uzanacak şekilde sarmış bir adama benzer."[25]

Darwin çiçeği mi insansılaştırır, yoksa insanı mı bitkiselleştirir? Bitkinin özelliklerini beşeri terimlerle açıklaması insanbiçimciliğin kesin bir işaretidir. Fakat aynı zamanda –kendisininki de dahil– erkek bedenini çiçek biçiminde hayal etmesi, çiçeğin anatomisini onun perspektifinden incelemeye açık olduğunu düşündürür. Aşina olduğumuz bir durum bu. Küçük bir parçası sizin de bir parçanız haline gelmeden bir şeyi tam anlamıyla kavramanız zordur. Bunu bazen bilerek yaparız. Örneğin Radikal Mikoloji örgütünün net çizilmiş bir çerçevesi olmaması tesadüfi değil. Örgütün kurucusu Peter McCoy, mantarların düşünme ve hayal etme biçimimizi değiştirme gücüne sahip olduğuna dikkate çekiyor. Soyağacından tutun insani, biyolojik ya da dil aileleri arasındaki ilişkilerin betimlenmesine, bilgisayar biliminde ağaç benzeri veri yapılarına ya da sinir sistemlerindeki "dendritler"e kadar (dendrit sözcüğü Yunanca "ağaç" anlamındaki *dendron*dan gelir), ağaçlar her yerde karşımıza çıkar. Aynı şey neden miselyum için geçerli olmasın? Radikal Mikoloji ağı dönem dönem bir araya gelerek, Oregon'da katıldığım Radikal Mikoloji Buluşması'na benzer meyveler verir. "Tipik" yaşam formlarının hayvanlar ya da bitkiler değil, mantarlar olduğunu düşünseydik, toplumlarımız ve kurumlarımız ne kadar farklı olurdu acaba?[26]

Bazen dünyayı bilinçli bir çaba göstermeksizin taklit ederiz. Köpek sahipleri köpeklerine benzer; biyologlar önünde sonunda inceledikleri konu gibi davranmaya başlar. "Simbiyoz" terimi ilk kez on dokuzuncu yüzyılda Frank tarafından kullanıldığından beri, organizmalar arasındaki ilişkileri inceleyen araştırmacılar alışılagelmişin dışında disiplinlerarası işbirlikleri oluşturdular. Sapp'in de işaret ettiği gibi, kurumsal sınırlar arasında cesur sıçramalar yapmaya karşı duyulan isteksizlik, yirminci yüzyılın büyük bölümünde simbiyotik ilişkilerin

ihmal edilmesinde rol oynamıştı. Bilimler giderek profesyonelleştikçe disiplinler arasındaki uçurumlar genetikçileri embriyologlardan, botanikçileri zoologlardan, mikrobiyologları fizyologlardan ayırdı.

Simbiyotik etkileşimler tür sınırlarını aşar; simbiyotik etkileşimlerle ilgili çalışmalar da disiplinlerarası sınırları aşmak zorundadır. Durum günümüzde de farklı değil. 2018'de mikorizal biyolojiyle ilgili uluslararası bir konferansın raporu şöyle başlıyordu: "Karşılıklı fayda sağlamak için kaynakları paylaşmak: Disiplinlerarası diyalog, mikorizal simbiyozları daha derinlemesine anlamamızı sağlar..." Mikorizal mantarlarla ilgili çalışmalar, mikologlarla botanikçiler arasında akademik bir simbiyoz kurulmasını gerektirir. Mantar hiflerinde yaşayan bakterilerin incelenmesiyse mikologlarla bakteriyologlar arasında simbiyotik etkileşimleri zorunlu kılar.[27]

Mantarları araştırırken mantar gibi davranmaya başlar, veri alışverişi ve nezakete dayalı akademik mutualizme göre hareket ederim. Panama'da günlerce dirseklerime kadar kızıl çamur içindeyken, mikorizal miselyumun büyüyen cephesi gibi davrandım. Gümrükten, x-ışını taramasından ve tespit köpeklerinden geçen örnekleri soğutucular içinde başka ülkelere yolladım. Almanya'da mikroskop başında çalıştım, İsveç'te mantarların yağ profillerini inceledim, İngiltere'de mantar DNA'sı dizilerini çıkardım. Cambridge'deki bir cihazdan çıkan gigabaytlarca veriyi işlenmesi için İsveç'e, sonra da ABD ve Belçika'daki çalışma arkadaşlarıma gönderdim. Her hareketim geride bir iz bırakmış olsaydı bu izler enformasyonun ve kaynakların iki yönlü hareketini sağlayan karmaşık bir ağ oluştururdu. İsveç ve Almanya'daki meslektaşlarım benimle ilişki kurarak tıpkı bitkiler gibi daha geniş bir toprak hacmine erişebilmişti. Kendileri tropikal bölgelere seyahat edemezken, ben uzanabilecekleri sınırları genişletmiştim. Karşılığında ben de tıpkı bir mantar gibi erişemeyeceğim fonlara ve tekniklere erişebilmiştim. Panama'daki çalışma arkadaşlarım, İngiltere'deki meslektaşlarımın uzmanlığından ve hibelerinden, İngiltere'deki meslektaşlarımsa Panama'da birlikte çalıştığım araştırmacıların uzmanlığından ve hibelerinden faydalanıyordu. Esnek bir ağı inceleyebilmek için esnek bir ağ oluşturmam gerekiyordu. Aynı tema kendini hep tekrarlar: Sen ağa bakarsan o da sana bakmaya başlar.



"SARHOŞLUK," der Fransız kuramcı Gilles Deleuze, "içimizdeki bitkinin muzaffer patlamasıdır." Bir o kadar da içimizdeki mantarın muzaffer patlamasıdır. Sarhoşluk, mantar dünyasında kendimizden parçalar bulmamıza yardım edebilir mi? İnsanlığımıza sıkı sıkı sarılan zihnimizi biraz olsun gevşetmek ya da insanlığımızda başka bir şey, mantarlardan bir parça bulmak, onları daha iyi anlamanın yolu olabilir mi? O başka şey, mantarlarla daha yakından ilişkili olduğumuz zamanlardan kalma bir iki kırıntıdır belki. Ya da belki bu olağanüstü yaratıklarla iç içe geçmiş uzun tarihimiz boyunca öğrendiğimiz bir şeydir.[28]

Yaklaşık on milyon yıl önce, vücudumuzda alkolü zehirsiz hale getirmek için kullanılan alkol dehidrogenaz enzimi (ADH4) bir mutasyon geçirdi ve bu mutasyon sayesinde enzimin verimi kırk kat arttı. Mutasyon goriller, şempanzeler ve bonobolarla aramızdaki son ortak atada gerçekleşmişti. Bu değişmiş ADH4 olmadığında azıcık alkol bile zehirlidir. Değişmiş ADH4 varsa alkol tüketimi güvenli hale gelir ve alkol vücudumuz tarafından bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Atalarımız insan olmadan, bizler alkole ve onu üreten maya kültürlerine kültürel ve manevi bir anlam yüklemeye başlamadan çok önce, mayalara metabolik bir anlam yükleyebilecek enzim vücudumuzda evrilmişti.[29]

Alkolü metabolize etme becerisi niye insanlar fermantasyon teknolojilerini geliştirmeden milyonlarca yıl önce ortaya çıktı? Araştırmacılar, primat atalarımızın ağaçlarda daha az zaman geçirdikleri ve yerdeki yaşama uyum sağladıkları dönemde ADH4'ün bir üst modele geçtiğine işaret ediyorlar. Alkolü metabolize etme becerisinin,

ağaçlardan düşen fermente olmuş meyvelerin tüketimine dayalı yeni bir beslenme nişi yaratarak, primatların orman zemininde yaşayabilmesinde çok önemli bir rol üstlenmiş olabileceği düşünülüyor.

ADH4 mutasyonu, insanların alkole olan düşkünlüğünün kökenini açıklamak için Robert Dudley'nin ileri sürdüğü "sarhoş maymun hipotezi"ni de destekler. Buna göre alkolün insanlara çekici gelmesinin nedeni, primat atalarımıza da çekici gelmiş olmasıdır. Mayaların ürettiği alkol kokusu, yerde çürüyen olgun meyveleri bulabilmeleri açısından emin bir yoldu. Alkolün insanlar üzerindeki çekim gücü, fermantasyon ve sarhoşlukla ilgili tanrı ve tanrıçaların hepsi aslında çok daha kadim bir hayranlığın kalıntıları.[30]

Alkolün cazibesine kapılan sadece primatlar değil. Uzun tüylü kuyruklu küçük memeliler olan Malezya sivri sincapçıkları bertam palmiyesine tırmanıp vücut ağırlığına göre ölçeğe vurulduğunda bir insanı sarhoş edebilecek miktarda mayalanmış nektar içer. Mayaların ürettiği alkol buharının kokusu sivri sincapçıkları palmiyelerin çiçeklerine çeker. Bu palmiye türünün tozlaşması sivri sincapçıklara bağlıdır ve goncalarında, maya toplulukları barındıran ve hızlı bir mayalanmayla nektarın köpürüp kabarcıklanmasına yol açan, özelleşmiş fermantasyon hazneleri gelişmiştir. Sivri sincapçıklarsa alkolü zehirsiz hale getirme konusunda çarpıcı bir beceri geliştirdikleri için sarhoşluğun olumsuz etkilerini yaşamazlar.[31]

ADH4 mutasyonu primat atalarımızın alkolden enerji elde etmesini sağlamıştı. Sarhoş maymun hipotezindeki beklenmedik bir dönüşle insanlar alkolden enerji çıkarmanın yollarını arıyor ama alkolü vücutlarımızda metabolik yakıt olarak yakmak yerine, yanmalı motorlarda biyoyakıt olarak kullanıyoruz. ABD'de her yıl mısırdan, Brezilya'daysa şekerkamışından milyarlarca litre etanol üretiliyor. ABD'de, İngiltere'den daha büyük bir alanda yetiştirilen ve işlenen mısır, mayalara besin oluyor. Brezilya, Malezya ve Endonezya'da meralar, ormansızlaştırma hızına eşit bir hızla biyoyakıt eldesinde kullanılan ürünleri yetiştirmek üzere tarım arazisine dönüştürülüyor. Biyoyakıt üretimindeki patlamanın ekolojik etki alanı çok geniştir. Büyük boyutlarda devlet desteği gerektirir, meraların tarım arazisine dönüştürülmesiyle atmosfere çok miktarda karbon salınımı olur, çok miktarda gübrenin akarsulara karışması sonucunda Meksika Körfezi'nde olduğu gibi ölü

bölgeler oluşur. Mayalar ve ürettikleri alkolün muğlak gücü tarımsal dönüşümde bir kez daha rol oynuyor.[32]

SARHOŞ MAYMUN hipotezinden aldığım ilhamla, fazla olgunlaşmış meyveleri mayalamaya karar verdim. Böylece bir hikâyeyi tamamına erdirecek, onun dünyaya dair algılarımı değiştirmesine izin verecek, etkisi altında kararlar alacak ve sarhoş olacaktım. Sarhoşluk, içimizdeki mantarın patlaması olabilir; bu da mantar hikâyesinin patlaması olacaktı. Hikâyeler algılarımızı ne kadar da sık değiştirir ve biz bunu ne kadar da seyrek fark ederiz...

Bu fikir, Cambridge Botanik Bahçeleri'ni karizmatik müdürü eşliğinde gezerken aklıma gelmişti. Müdürün, en sıradan görünen çalı hakkında bile anlatacak bir hikâyesi vardı. İçlerinden birinin, girişe yakın bir elma ağacının hikâyesi özellikle dikkat çekiciydi. Bu ağacın, Isaac Newton'ın aile evi olan Woolsthorpe Malikânesi'nin bahçesindeki dört asırlık elma ağacından çelikle çoğaltıldığını söyledi. O bahçede yetişen yegâne elma ağacıydı ve Newton evrensel yerçekimi yasasını geliştirdiği sırada orada olacak kadar yaşlıydı. Newton başına düşen bir elmadan ilham aldıysa eğer, o elma işte bu ağaçtan düşmüştü.

Müdür, gözümüzün önündeki ağacın, o ünlü ağacın çelikle üretilmiş bir klonu olduğunu hatırlattı. O nedenle görevini ifa etmiş olan ağaçla en azından genetik açıdan aynıydı. Daha doğrusu Newton'ın kafasına gerçekten bir elma düşmüş olsaydı eğer, ağaç görevini ifa etmiş *olacaktı*. Elma hikâyesi sağlam bir temele dayanmadığı için yerçekimi yasasında elmanın muhtemelen bir rolü bulunmadığına hemen ikna olmuştuk. Öyle bile olsa yerçekimi yasasına ilham veren elmanın *düşmediği* ağaç büyük olasılıkla bu ağaçtı.

Gördüğümüz ağaç, tek klon değildi. Müdür, ağacın iki klonu daha olduğunu söyledi. Biri Trinity College'ın önünde, Newton'ın simya laboratuvarının bulunduğu yerde, diğeriyse matematik fakültesinin yanındaydı. (Daha sonra, MIT'de başkanın bahçesindeki dahil başka klonların da olduğu ortaya çıktı.) Efsane o kadar güçlüydü ki temkinli ve tereddütlü yaklaşımıyla tanınan üç ayrı akademik kurul, ağaçları şehrin uğurlu sayılan yerlerine dikmeye karar vermişti. Fakat bu sırada resmi görüşte bir değişiklik olmadı: Newton'ın elması hikâyesinin doğru olup olmadığı şüpheliydi ve sağlam bir dayanağı yoktu.

Botanik sahnesinde değişen bir şey olmadı. Bir bitkinin Batı tarihinde çığır açan en önemli kuramsal gelişmelerden birinde rol oynadığını ileri süren hikâye *aynı anda* hem doğrulanıyor hem reddediliyordu. Bu belirsizlikten gerçek elmaları olan gerçek ağaçlar yetişiyor ve o ağaçlardan yere düşen elmalar çürüyüp alkollenirken etrafa keskin bir koku salıyordu.

Newton'ın elması hikâyesine şüpheyle yaklaşılmasının sebebi, Newton'ın bu konuda yazılı bir kayıt bırakmamış olmasıdır. Ne var ki Newton'ın çağdaşları hikâyenin farklı versiyonlarını anlatır. En ayrıntılı anlatı, günümüzde Britanya'nın taş çemberleri üzerine yaptığı araştırmalarıyla tanınan, Kraliyet Cemiyeti'nin o zamanki genç üyesi ve bir antikacı olan William Stukeley tarafından kaleme alınmıştı. Stukeley 1726'da Newton'la Londra'da yemek yediklerini anlatıyordu:

> Yemekten sonra hava sıcak olduğu için bahçeye gittik ve bir elma ağacının gölgesinde çay içtik; baş başaydık... Laf arasında bana, daha önce yerçekimi fikri aklına geldiğinde nasılsa yine aynı durumda olduğunu söyledi. Derin düşüncelere dalmış otururken, bir elma düşerken niye yere hep dik inmek zorunda diye sormuştu kendine. Niye yanlara ya da yukarıya değil de her zaman Dünya'nın merkezine? Hiç kuşkusuz Dünya onu kendine çektiği için. Maddenin bir çekim gücü olmalı.[33]

Elmayla ilgili günümüzde anlatılan hikâye, Newton'ın söylediklerriyle ilgili bir hikâyenin hikâyesidir. Elma ağaçlarının anlatısını böylesine zenginleştiren de bu zaten. Hikâyeyi kesin olarak doğrulamak da yalanlamak da imkânsızdı. Akademisyenler bu ikilemden ötürü anlatılanlar hem doğru hem yanlışmış gibi davrandılar. Hikâye gerçekle efsane arasında gidip geldi. Ağaçlara yüklenen bu imkânsız hikâye, insan olmayan organizmaların kategorilerimiz arasındaki bağlantıları kopma noktasına dek esnetebildiğinin bir örneğiydi. Newton'ın yerçekimi kuramını geliştirirken gerçekten de bir elmadan esinlenip esinlenmediğinin bir önemi kalmamıştı. Ağaçlar büyümüş, hikâye dal budak salmıştı.

Ağaçtan biraz elma toplamak için botanik bahçesinin müdüründen kibarca izin istedim. Bunun sorun olabileceği hiç aklıma gelmemişti. Kent Çiçeği denen bu nadir elma çeşidinin tadının nahoşluğu

meşhurdu. Müdürün açıklamasına göre elmanın ekşiyle buruk karışımı özel tadı, Newton'ın hayatının daha ileri dönemindeki karakteriyle benzeşiyordu. O yüzden ricamı kesin bir dille geri çevirmesi karşısında şaşırdım ve nedenini sordum. "Turistlerin elmaları ağaçtan düşerken görmeleri gerek," diye itiraf etti müdür özür dilercesine, "efsaneye gerçeklik katmak için."

Kim kiminle kafa buluyordu? Onca saygın insan nasıl olur da bir hikâyeyle böylesine sarhoş olur, huzur bulur, kısıtlanır, kendinden geçer, körleşir? İyi de başka türlü olması mümkün mü? Hikâyeler dünyaya dair algılarımızı değiştirmek için anlatılır, o nedenle nadir olan bütün bunları *yapmamalarıdır*. Fakat bir bitkiyi soytarılık yapmaya zorladığımız böylesine aleni bir saçmalığa pek sık rastlanmaz. Ağaçtan düşmüş ve çürümeye başlamış elmalardan birini aldım, alkolü kokladım; çürük elmam bu olacaktı.

Sorun, elmaların suyunu sıkmamın mümkün olmamasıydı. İnternette Cambridge'in bir banliyösünde yaşayanların elmalarla ilgili bir sorun yaşadığını okumuştum. Dalları yola sarkan elma ağaçlarının meyveleri yere dökülüyordu. Mahallede yaşayan çoluk çocuk da elmaları cephanelik olarak kullanıyordu. Camlar kırılmış, arabalar hasar görmüştü. Mahalli bir dernek yaratıcı bir politik stratejiyle sorunu çözmek ve çöpü azaltmak için bir elma sıkma makinesi temin etmiş ve çözüm görünüşe göre işe yaramıştı. Toplumsal şiddetin sıkıp suyunu çıkarmış, sonra da onu mayalayıp elma şırası yapmışlardı. İçtikleri şıra topluluk ruhuna dönüşmüştü. Bütün bunlar sağlam bir ilkeye dayanıyordu. Beşeri bir kriz, bir mantar tarafından parçalanıp ayrıştırılıyordu. Bir başka açıdan bakıldığında, insanlar örgütlenip ellerindeki atığı iştahla bekleyen mantarlara sunuyorlardı. Karşılığındaysa mantar metabolizması insanların hayatını ve kültürünü etkiliyordu. Bira, penisilin, psilosibin, LSD, biyoyakıtlar... bu daha önce kaç kez yaşanmıştı?

Sorumlu kişiyle temas kurup meyve sıkacağını kullanmak için izin istedim. Talep çoktu ve makine sırayla herkese ödünç veriliyordu. Mahalle papazıyla iletişime geçmem söylendi. Papaz birkaç gün sonra kaportası göçmüş Volvo'suyla şık aleti getirdi. Aletin elmaları ezip püre haline getiren saldırgan görünümlü dişli çarkları, basınç uygulayan büyük bir vidası ve meyve suyunun aktığı bir ağız kısmı vardı.

Bir gece, bir arkadaşımla Newton'ın elmalarını toplayıp büyük sırt çantalarına doldurduk. Efsanenin hatırına bir kısmını ağaçta bıraktıysak da üzülerek söylemeliyim ki çoğunu aşırdık. West Country lehçesinde, bu yaptığımızı tanımlayan bir sözcük bulunduğunu ("scrumping") sonradan öğrendim; başlangıçta rüzgârla dökülen meyveleri toplama anlamında kullanılıyorken, sonraları anlamı ağaçlardan izinsiz meyve koparmaya kaymıştı. Fakat arada şöyle bir fark vardı: West Country'de elmalardan şıra yapılıyordu ve şıranın bir değeri vardı. Arazi sahipleri üretilen günlük şıranın bir miktarını işçilere yevmiye olarak ödüyordu. Mayaların, beslenip çoğaldıkları tarımsal sistemden aldıklarını metabolizmaları sayesinde yerine koymalarının pek çok yolundan biriydi bu. Oysa Newton'ın ağacının altında biriken elmalar kokuşup bahçıvanın başına dert oluyordu. Sıkma makinesi harikalar yaratmıştı. Atığı sıkıp suyunu çıkarmış, sonra da mayalayıp şıraya dönüştürmüştük. Bu işten herkes kârlı çıkmıştı.

Elmaları sıkmak meşakkatliydi. İki üç kişi sıkma makinesini sabit tutarken bir kişi kolu çeviriyordu. İki kişi de elmaları yıkayıp doğruyordu. Bir üretim hattı oluşturmuştuk. Odayı elma püresinin keskin rutubet kokusu doldurmuştu. Odanın her yanı işlemin farklı aşamasındaki elmalarla doluydu. Saçımız başımız elma püresi olmuştu, giysilerimiz sırılsıklamdı. Halılar yapış yapış ve nemli, duvarlar leke içindeydi. Gün sonunda otuz litre elma suyu sıkmıştık.

Şıra mayalarken önünüzde iki seçenek vardır. Ambalajlı bir maya kültürü ekleyebilirsiniz ya da hiçbir şey ilave etmeden elma kabuğundaki mayaların iş görmesini beklersiniz. Farklı elma çeşitlerinin kabuklarında kendine has yerli maya kültürleri bulunur ve bunların her biri mayalama işlemini meyve aromasının farklı unsurlarını muhafaza ederek ya da dönüştürerek kendi ritminde yapar. Bütün mayalamalarda olduğu gibi, sınır incedir. Başıboş mayalar ya da bakteriler yerleşirse meyve suyu kokuşur. Ambalajlı tek bir maya kültürüyle yapılan şıranın kokuşma yoluna sapma ihtimali daha düşüktür; buna karşılık şıra, elmanın kendi maya kültürlerinin bir ürünü olmayacaktır. Hiç kuşkusuz yabanıl mayaların halletmesi gereken bir işti bu. Newton'ın elmaları, kabuklarında Newton'ın mayalarıyla gelmişti. Bunların hangi suşlar olduğunu kesinkes bilmem mümkün değildi ama insanlık tarihinin büyük bölümünde usul buydu.

Meyve suyu yaklaşık iki haftada mayalandı. Ortaya çıkan bulanık, keskin kokulu sıvıyı şişelere doldurdum. Birkaç gün sonra tortu dibe çökünce bir kadeh içtim. Şaşırtıcı derecede lezzetliydi. Elmaların burukluğu ve ekşiliği kaybolmuştu. Sek tüketilebilecek, içimi hoş, hafif gazlı, çiçeksi bir tadı vardı. Fazlası coşku ve öfori yaratıyordu. Kimi şıraları içtikten sonra yaşadığım bulanık hisleri yaşamadım. Sarsaklık da hissetmiyordum ama mayaların beni gülünç duruma düşürdüğü kesindi. Bir hikâyeyle sarhoş olmuş, huzur bulmuş, kısıtlanmış, içinde eriyip gitmiş, kendimden geçmiş, ağırlaşmıştım. Şıraya Yerçekimi adını verdim ve mayanın olağanüstü metabolizmasının rehavetiyle sersemlemiş halde yığılıp kaldım.

Sonsöz

Bu Kompost

Ellerimiz kökler gibi özümsediği için
bu dünyada güzel olan ne varsa dokunuyorum.[1]
—Assisili Aziz Françesko

Çocukken sonbaharı severdim. Kestane ağacının dökülen yaprakları bahçede rüzgârla sürüklenirdi. Onları özenle bir araya toplayıp öbek haline getirir, her hafta kucak kucak yeni yaprak eklerdim. Çok geçmeden öbekler birkaç küveti dolduracak kadar büyürdü. Ağaca defalarca tırmanıp alt dallarından yaprakların üstüne atlardım. Yığının içine girince iyice gömülene dek sağa sola kıvrılır, yaprak hışırtısının ve tuhaf kokuların arasında kaybolurdum.

Babam dünyaya balıklama dalmam için bana cesaret verirdi. Beni omuzlarının üstünde dolaştırır, yüzümü bir arı gibi çiçeklerin içine daldırırdı. Renkler ve kokularla kendimizden geçmiş, yanaklarım sarı turuncu çiçek tozları içinde, taçyaprakların arasına girmek için yüzümü şekilden şekle sokarak bitkiden bitkiye konup kalkarken sayısız çiçeği tozlaştırmış olmalıyız.

Yaprak yığınlarım hem saklanma yerlerim hem de araştırabileceğim dünyalardı. Fakat aylar geçtikçe yığınlar küçülür, içlerine girmem zorlaşırdı. Öbeğin derinlerine uzanır, giderek daha az yaprağa, daha çok toprağa benzeyen nemli karışımdan avuç dolusu çıkarıp incelerdim. Solucanlar belirmeye başlardı. Acaba toprağı mı öbeğin üstüne taşıyorlardı, yoksa yaprakları mı aşağıya, toprağın altına? Hiçbir zaman emin olamazdım. İçimden bir ses yaprak yığınının giderek battığını söylüyordu ama neyin içine batıyordu? Toprak ne kadar derindi?

Dünyayı bu katı denizin üstünde batmadan tutan şey neydi?

Babama sordum. O da bana yanıt verdi. Bir daha "Neden?" diye sordum; bu soruyu kaç kez sorarsam sorayım her zaman verecek bir yanıtı vardı. Bu soru-cevap oyunu, ben sormaktan yorulana dek devam ederdi. Parçalanma ve ayrışmayı ilk kez bu oyunlardan birinde öğrenmiştim. Yaprakları yiyen gözle görünmez canlıları ve bu denli küçük varlıkların nasıl böyle muazzam bir iştahla yiyebildiğini hayal etmeye çalışmıştım. İçine girdiğim yaprak yığınlarını nasıl yalayıp yuttuklarını hayal etmeye çalışmıştım. Olan biteni neden göremiyordum? Mademki bu kadar iştahlıydılar, kendimi öbeğin içine gömüp orada yeterince uzun süre sessizce yatarsam onları yaprakları yerken yakalayabilmem gerekirdi. Ama her seferinde beni atlatıyorlardı.

Babam bir deney yapmamızı teklif etti. Saydam bir plastik şişenin üstünü kestik. Şişeye toprak, kum ve ölü yaprakları tabakalar halinde doldurduk ve en sonunda bir avuç da topraksolucanı ekledik. Sonraki birkaç gün boyunca solucanların tabakalar arasında tüneller kazmasını izledim. Tabakaları karıştırıp birbirine katıyorlardı. Hiçbir şey olduğu yerde kalmıyordu. Kum toprak tabakasına, yapraklarsa kumun içine sokuluyordu. Tabakalar arasındaki keskin sınırlar birbiri içinde çözülüp belirsizleşiyordu. Solucanlar gözle görülebilir, demişti babam ama yaptıklarının aynısını yaptıkları halde göremeyeceğin başka pek çok canlı var. Minicik solucanlar. Minicik solucanlardan da küçük canlılar. Ve solucanlara benzemeseler de tıpkı onlar gibi her şeyi birbirine katıp karıştıran daha da küçük canlılar. Besteciler (kompozitörler) müzik parçaları besteler. Bunlarsa yaşam müziğini parçalarına ayrıştıran canlılardı (dekompozitörler). Onlar olmadan hiçbir şeyin olması mümkün değildi.

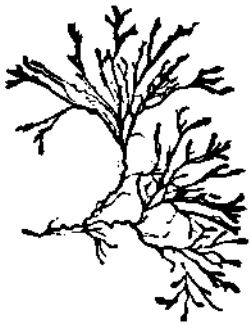
O kadar faydalı bir fikirdi ki bu. Sanki biri bana geriye sararak, ters yönde nasıl düşünebileceğimi göstermişti. Artık aynı anda her iki yöne de işaret eden oklar vardı. Kompozitörler yapar; dekompozitörler parçalar. Ve onlar parçalamazsa ortamda yapım için kullanılacak bir şey kalmaz. Bu düşünce dünyayı anlama biçimimi değiştirmişti. Parçalayıp ayrıştıran canlılara duyduğum hayranlıktan mantarlara olan ilgim bu düşünceden doğdu.

Bu kitap da işte bu sorular ve hayranlıklar kompostundan kendi kendini oluşturdu. O kadar çok soru ve o kadar az yanıt var ki... Ve böyle olması heyecan verici. Belirsizlik artık eskisi kadar sinirime dokunmuyor;

belirsizliğe kesin çözüm bulma arzusuna direnmek benim için artık daha kolay. Araştırmacılar ve meraklılarla yaptığım sohbetlerde, insanların mikolojinin birbirinden uzak farklı alanlarında neler yaptıklarına dair soruları yanıtlayarak, farkında olmadan bazen toprağa birkaç kum tanesi, bazen de kuma bir parça toprak taşıyan bir aracı gibi davrandığımı fark ettim. Yüzümde, çocukluğumdakine göre daha fazla çiçektozu var. Eski "neden?"lerin üzerine yenileri yığıldı. Üstüne atlayıp içine gömülebileceğim daha büyük bir yığın var artık ve o da en az başlangıçtaki kadar gizemli kokuyor. Fakat kendimi gömebileceğim daha nemli, daha büyük bir boşluk ve araştırılacak daha fazla şey var bu yığında.

Mantarlar sporokarp oluşturabilir ama bir şeyi yapmadan önce başka bir şeyi parçalamak zorundadırlar. Bu kitap hazır olduğuna göre onu parçalamaları için mantarlara teslim edebilirim. Kitabın ıslattığım bir kopyasına *Pleurotus* miselyumu ekeceğim. Miselyum sözcükleri ve sayfaları yiye yiye kapak içine ulaşıp kapaklardan istiridye mantarları fışkırdığındaysa onları yiyeceğim. Bir başka kopyanın sayfalarını koparıp kâğıttaki selülozu zayıf asitle şekerlere parçalayacağım. Bu şeker çözeltisine maya ekleyeceğim. Mayalanıp biraya dönüştüğü zaman da onu içip döngüyü tamamlayacağım.

Mantarlar dünyaları yapar, dünyaları parçalar. Onları her an iş üstünde yakalayabilirsiniz: örneğin mantar çorbası pişirdiğinizde ya da mantar yediğinizde; mantar toplamaya ya da marketten almaya gittiğinizde; mayalı bir içki yaptığınızda, bir bitki ektiğinizde ya da ellerinizi toprağa gömdüğünüzde. Ve bir mantarın zihninize sızmasına izin verdiğiniz ya da bir başkasının zihnine sızabilmesi karşısında hayrete düştüğünüz an, bir mantar sayesinde şifaya kavuştuğunuz ya da birinin şifaya kavuştuğuna şahit olduğunuz, evinizi mantarlardan inşa ettiğiniz ya da evde mantar yetiştirmeye başladığınız zaman, onlar da *sizi* iş üstünde yakalar. Yaşıyorsanız eğer, çoktan yakalamışlardır bile.



Teşekkür

Uzmanların, akademisyenlerin, araştırmacıların ve amatör meraklıların rehberliği, öğrettikleri ve sabırlı desteği olmasaydı bu kitabı hayal bile etmek mümkün olmazdı. Özellikle Ralph Abraham, Andrew Adamatzky, Phil Ayres, Albert-László Barabási, Eben Bayer, Kevin Beiler, Luis Beltran, Michael Beug, Martin Bidartondo, Lynne Boddy, Ulf Büntgen, Duncan Cameron, Keith Clay, Yves Couder, Bryn Dentinger, Julie Deslippe, Katie Field, Emmanuel Fort, Mark Fricker, Maria Giovanna Galliani, Lucy Gilbert, Rufino Gonzales, Trevor Goward, Christian Gronau, Omar Hernandez, Allen Herre, David Hibbett, Stephan Imhof, David Johnson, Toby Kiers, Callum Kingwell, Natuschka Lee, Charles Lefevre, Egbert Leigh, David Luke, Scott Mangan, Michael Marder, Peter McCoy, Dennis McKenna, Pål Axel Olsson, Stefan Olsson, Magnus Rath, Alan Rayner, David Read, Dan Revillini, Marcus Roper, Jan Sapp, Carolina Sarmiento, Justin Schaffer, Jason Scott, Marc-André Selosse, Jason Slot, Sameh Soliman, Toby Spribille, Paul Stamets, Michael Stusser, Anna Tsing, Raskal Turbeville, Ben Turner, Milton Wainwright, Håkan Wallander, Joe Wright ve Camilo Zalamea'ya teşekkür ederim.

Temsilcim Jessica Woolard, Bodley Head'deki editörüm Will Hammond ve Random House'taki editörüm Hilary Redmon'a bana verdikleri cesaret, sundukları berrak vizyon ve bilgelik dolu

danışmanlıkları için sonsuz müteşekkirim. Bodley Head/Vintage'da Graham Coster, Suzanne Dean, Sophie Painter ve Joe Pickering ile çalıştığım için şanslıyım; Random House'ta Karla Eoff, Lucas Heinrich, Tim O'Brian, Simon Sullivan, Molly Turpin ve Ada Yonenaka'nın olduğu harika bir ekibim vardı. Collin Elder söbelenden elde ettiği mürekkeple güzel mantar illüstrasyonları çizdi. Çevirinin çeşitli bölümlerinde yardım eden Xavier Buxton, Simi Freund, Julia Hart, Pete Riley ve Anna Westermeier'a teşekkür ederim. Pam Smart'ın transkripsiyonda kıymetli yardımları oldu ve Chris Morris "Spores for Thought"tan spor baskıları topladı. Panama'daki ormanda bana eşlik eden Christian Ziegler tuhaf mikoheterotrof bitkilerin sihrini fotoğraflarla görüntüledi.

Kitabın bazı bölümlerini ya da bütününü, oluşum sürecinin çeşitli evrelerinde okuyan Leo Amiel, Angelika Cawdor, Nadia Chaney, Monique Charlesworth, Libby Davy, Tom Evans, Charles Foster, Simi Freund, Stephan Harding, Ian Henderson, Johnny Lifschutz, Robert Macfarlane, Barnaby Martin, Uta Paszkowski, Jeremy Prynne, Jill Purce, Pete Riley, Erin Robinsong, Nicholas Rosenstock, Will Sapp, Emma Sayer, Cosmo Sheldrake, Rupert Sheldrake, Sara Sjölund, Teddy St. Aubyn, Erik Verbruggen ve Flora Wallace'a minnettarım. Onların içgörüsü ve duyarlılığı olmadan başaramazdım.

Mizah anlayışları, gösterdikleri ilgi ve verdikleri ilham için David Abram, Mileece Abson, Matthew Barley, Fawn Baron, Finn Beames, Gerry Brady, Dean Broderick, Caroline Casey, Udavi Cruz-Márquez, Mike de Danann Datura, Andréa de Keijzer, Lindy Dufferin, Sara Perl Egendorf, Zac Embree, Amanda Feilding, Johnny Flynn, Viktor Frankel, Dana Frederick, Charlie Gilmour, Stephan Harding, Lucy Hinton, Rick Ingrasci, James Keay, Oliver Kelhammer, Erica Kohn, Natalie Lawrence, Sam Lee, Andy Letcher, Jane Longman, Luis Eduardo Luna, Vahakn Matossian, Sean Matteson, Tom Fortes Mayer, Evan McGown, Zayn Mohammed, Mark Morey, Viktoria Mullova, Misha Mullov-Abbado, Charlie Murphy, Dan Nicholson, Richard Perl, John Preston, Anthony Ramsay, Vilma Ramsay, Paul Raphael, Steve Rooke, Gryphon Rower-Upjohn, Matt Segall, Rupinder Sidhu, Wayne Silby, Paulo Roberto Silva e Souza, Joel Solomon, Anne Stillman, Peggy Taylor, Robert Temple, Jeremy Thres, Mark

Vonesch, Flora Wallace, Andrew Weil, Khari Wendell-McClelland, Kate Whitley, Heather Wolf ve Jon Young'a teşekkür ederim. Yıllar boyunca bana yardımcı olan muhteşem öğretmenlerime ve akıl hocalarıma, özellikle Patricia Fara, William Foster, Howard Griffiths, David Hanke, Nick Jardine, Mike Majerus, Oliver Rackham, Fergus Read, Simon Schaffer, Ed Tanner ve Louis Vause'a şükran borçluyum.

Destek veren kurumlara, heyecan verici yıllar geçirdiğim Clare Koleji, Cambridge Üniversitesi ve Cambridge Bitki Bilimleri Bölümü'ne, Cambridge Tarih ve Felsefe Bilimi Bölümü'ne; Panama'da yaşadığım dönemde bana destek olan ve Barro Colorado Doğa Anıtı'ndan hâlâ ilgisini eksik etmeyen Smithsonian Tropikal Araştırmalar Enstitüsü'ne ve Britanya Kolumbiyası'nda bütün bir kış çalışabileceğim güzel bir mekân sağlayan Hollyhock eğitim enstitüsüne minnettarım.

Saatlerce müzik dinlemenin düşünmeme ve bu kitapta yolumu bulmama yardımı oldu. Aka pigmelerini, Johann Sebastian Bach, William Byrd, Miles Davis, João Gilberto, Billie Holiday, Charles Mingus, Thelonius Monk, Moondog, Bud Powell, Thomas Tallis, Fats Waller ve Teddy Wilson'ın müziği benim için özellikle önemliydi. Kitabın ortaya çıkışında en büyük rolü oynayan iki yer Hampstead Heath ve Cortes Adası'ydı. O topraklara, oralarda yaşayan ve oraları koruyanlara ne kadar teşekkür etsem az. Her şeyin ötesinde verdikleri ilham, sahip oldukları kıvrak zekâ ve bilgelik, gösterdikleri sevgi, cömertlik ve sonsuz sabır nedeniyle Erin Robinsong, Cosmo Sheldrake, annem Jill Purce ve babam Rupert Sheldrake'e minnettarım.

Notlar

Giriş: Mantar Olmak Neye Benzer?

1 Hafız (1315–1390), Ladinsky'nin içinde (2010).

2 Ferguson ve diğ. (2003). Başka muazzam *Armillaria* ağları da bildirilmiş. Anderson ve diğ. (2018) tarafından yayımlanmış bir çalışmada, Michigan'da bulunan, tahminen 2500 yaşında olan, 75 hektarlık bir alanı kaplayan, en az 400 ton ağırlığında bir miselyum ağı incelenmişti. Araştırmacılar mantardaki genetik mutasyon hızının son derece yavaş olduğunu buldular ki bu da mantarın DNA hasarına karşı kendini korumanın bir yolunu bulduğunu düşündürür. Mantarın bu denli kararlı bir genomu nasıl sürdürebildiği bilinmiyor ama bu özelliğinin, böylesine yaşlanabilmesinde muhtemelen rolü olduğu düşünülüyor. *Armillaria* dışında bilinen en büyük organizmalardan biri de deniz çayırı klonlarıdır (Arnaud-Haond ve diğ. [2012]).

3 Moore ve diğ. (2011), bölüm 2.7; Honegger ve diğ. (2018). Kuzey Amerika, Avrupa, Afrika, Asya ve Avustralya'da prototaksitlerin fosilleşmiş kalıntıları bulundu. Biyologlar on dokuzuncu yüzyılın ortalarından beri prototaksitlerin ne olduğu üzerine kafa yoruyorlardı. İlk önce çürümüş bir ağaç olduğunu düşündüler. Kısa bir süre sonra prototaksit, karada yaşadığına dair delillerin ağır basmasına rağmen dev bir deniz yosunu statüsüne terfi etti. Yıllar süren tartışmanın ardından 2001'de prototaksitlerin aslında bir mantarın topraküstü meyveleri olduğu öne sürüldü. İkna edici bir görüştü bu: Prototaksitler, her şeyden fazla mantar hiflerine benzeyen sıkı dokunmuş liflerden oluşuyordu. Karbon izotopu analizleri, prototaksitlerin fotosentez yaparak değil, etrafındaki maddeleri tüketerek

yaşadığını gösteriyor. Daha sonra Selosse (2002) prototaksitlerin, mantarlarla fotosentetik alglerden oluşmuş liken benzeri devasa yapılar olmasının daha makul göründüğünü iddia etti. Selosse'a göre prototaksitler hayatını bitkileri ayrıştırma yoluyla devam ettiremeyecek kadar büyüktü. Kısmen fotosentez yapabilmeleri, ölü bitkilere dayalı beslenmelerini fotosentezden gelen enerjiyle takviye edebilirdi. Böylece ortamdaki başka hiçbir canlı için mümkün olmayacak ölçüde uzayabilirlerdi. Dahası, prototaksitlerin o zamanlar alglerin yapısında bulunan sert polimerlere sahip olması, alg hücrelerinin mantar hifleriyle iç içe yaşadığını düşündürür. Liken hipotezi prototaksitlerin neden yok olduğunu da açıklayabilir. Kırk milyon yıl süren hâkimiyetin ardından bitkiler ağaçlara ve çalılara evrilmeye başladıkça prototaksitler gizemli bir biçimde ortadan kalkmıştı. Bu gözlem liken benzeri organizmalar oldukları görüşüyle uyumludur çünkü ortamda daha fazla bitki bulunması, prototaksitlerin daha az ışık alması anlamına gelir.

4 Mantarların çeşitliliği ve dağılımı hakkında bir tartışma için *bkz*. Peay (2016); deniz mantarları için *bkz*. Bass ve diğ. (2007); endofit mantarlar için *bkz*. Mejía ve diğ. (2014), Arnold ve diğ. (2003), Rodriguez ve diğ. (2009). İçki imalathanelerindeki viski fıçılarında bulunan ve fıçılar yıllandıkça buharlaşan alkol buharıyla serpilen özelleşmiş mantar için *bkz*. Alpert (2011).

5 Kayaları sindiren mantarlar için *bkz*. Burford ve diğ. (2003) ve Quirk ve diğ. (2014); plastik ve TNT için *bkz*. Peay ve diğ. (2016), Harms ve diğ. (2011), Stamets (2011), Khan ve diğ. (2017); radyasyona dirençli mantarlar için *bkz*. Tkavc ve diğ. (2018); radyasyonu enerji kaynağı olarak kullanan mantarlar için *bkz*. Dadachova ve Casadevall (2008), Casadevall ve diğ. (2017).

6 Sporların fırlatılmasıyla ilgili olarak *bkz*. Money (1998), Money (2016), Dressaire ve diğ. (2016). Spor kütlesi ve bu kütlenin hava durumu üzerindeki etkisi için *bkz*. Fröhlich-Nowoisky ve diğ. (2009). Mantarların spor saçılmasıyla ilgili sorunlara geliştirdiği çeşitli çözümlerle ilgili bir derleme için *bkz*. Roper ve diğ. (2010), Roper ve Seminara (2017).

7 Miselyum ağlarındaki akış için *bkz*. Roper ve Seminara (2017); elektriksel impulslar için bkz. Harold ve diğ. (1985), Olsson ve Hansson (1995). Mayalar mantarlar âleminin yaklaşık yüzde birini oluşturur ve "tomurcuklanma" yoluyla ya da ikiye bölünerek çoğalırlar. Bazı mayalar belli koşullarda hif yapıları oluşturabilir (Sudbery ve diğ. [2004]).

8 Asfaltı delen ya da kaldırım taşlarını yerinden oynatan mantarlar için *bkz*. Moore (2013b), Bölüm 3.

9 Yaprak kesen karıncalar mantarlarını yuvalarında beslemekle kalmayıp onları ilaçlar. Yaprak kesen karıncaların mantar bahçeleri tek bir mantar çeşidi içeren monokültürlerdir. İnsanların yarattığı monokültürler gibi mantar monokültürleri de hassastır. Bir mantar bahçesini yok edebilen özelleşmiş

bir parazit mantar çeşidi özellikle tehlikelidir. Yaprak kesen karıncaların kütikülalarının içindeki odacıklarda, özelleşmiş bezlerin salgılarıyla beslenen bakteriler yaşar. Her yuva kültürü, karıncaların tercih ettiği ve diğer suşlardan –en yakın akrabalarından bile– ayırt edebildiği kendine özgü bir bakteri suşuna sahiptir. Bu evcilleştirilmiş bakteriler parazit mantarları güçlü biçimde engelleyen ve kültür mantarının gelişmesini destekleyen antibiyotikler üretir. Bu mantarlar olmasaydı, yaprak kesen karınca kolonileri böylesine büyük boyutlara ulaşamazdı. *Bkz.* Currie ve diğ. (1999), Currie ve diğ. (2006), Zhang ve diğ. (2007).

10 Roma tanrısı Robigus için *bkz.* Money (2007), Bölüm 6 ve Kavaler (1967), Bölüm 1. İlaçlara dirençli mantar hastalıkları için *bkz.* Fisher ve diğ. (2012, 2018), Casadevall ve diğ. (2019), Engelthaler ve diğ. (2019); amfibilerde görülen mantar hastalıkları için *bkz.* Yong (2019); mantar hastalığı için *bkz.* Maxman (2019). Hayvanlarda bakterilerin sebep olduğu hastalıklar mantarların yol açtığı hastalıklara göre daha büyük bir tehdittir. Bitkilerdeyse tersine, mantarların sebep olduğu hastalıklar daha büyük bir tehdit oluşturur. Bu durum, iyi günde ve kötü günde geçerli olan bir örüntünün sonucudur: Hayvan mikrobiyomlarına bakteriler, bitki mikrobiyomlarınaysa daha çok mantarlar hâkimdir. Bu, hayvanların mantar hastalıklarından mustarip olmadığı anlamına gelmez. Casadevall'ın (2012) hipotezine göre dinozorları yeryüzünden silen Kretase-Tersiyer (K-T) yok oluşunu takiben memelilerin yükselişe ve sürüngenlerin inişe geçmesi, memelilerin mantar hastalıklarıyla mücadele edebilmesinden kaynaklanıyordu. Sürüngenlere kıyasla memeliler bazı açılardan dezavantajlıdır: Sıcakkanlı olmanın enerji maliyeti daha yüksek, emzirme ve yavru bakımının maliyeti daha da yüksektir. Fakat karasal yaşamda memelilerin hâkimiyeti sürüngenlerin elinden almasını belki tam da bu, yani vücut sıcaklıklarının daha yüksek olması mümkün kılmıştı. Yüksek vücut sıcaklığı, K-T yok oluşu sırasında ormanların ölmesinin ardından oluşan "küresel kompost yığını"nda çoğaldığı varsayılan patojen mantarların gelişmesini bozar. Memeliler sık görülen mantar hastalıklarına karşı sürüngenlere ya da amfibilere kıyasla daha dirençli olagelmiştir.

11 Neandertallerle ilgili bir çalışma için *bkz.* Weyrich ve diğ. (2017); Buz Adam için *bkz.* Peintner ve diğ. (1998). Buz Adam'ın huş mantarını (*Fomitopsis betulina*) nasıl kullandığını kesinkes bilmiyoruz ama bu mantar buruk, şişe mantarı kıvamında ve sindirilemeyecek nitelikte olduğundan alışılageldik anlamda "besleyici" olmadığı açık. Buz Adam'ın deri kayışların ucuna taktığı bu mantarları özenle hazırlaması, onların kıymetini ve nasıl uygulandığını iyi bildiğini gösteriyor.

12 Küflerin tedavi amaçlı kullanımı için *bkz.* Wainwright (1989a ve 1989b). Mısır, Sudan ve Ürdün'de yapılan arkeolojik kazılarda MÖ 400 civarından kalma insan kemiklerinde yüksek düzeyde tetrasiklin bulunmuştu. Bu,

tetrasiklinin büyük olasılıkla tedavi amacıyla uzun süre kullanıldığına işaret eder. Tetrasiklin bir mantar değil, bir bakteri tarafından üretilir ama kaynağı muhtemelen tıbbi amaçlı bira üretiminde kullanılmış küflü hububattı (Bassett ve diğ. [1980], Nelson ve diğ. [2010]). Fleming'in ilk gözleminden sonra penisilinin dünya sahnesine çıkışı kolay olmamış, epey çaba –deneyler, endüstriyel teknik bilgi, yatırım ve siyasi destek– gerektirmişti. Öncelikle Fleming'in birilerini buluşuyla ilgilenmeye ikna etmesi zordu. Bir mikrobiyolog ve bilim tarihçisi olan Milton Wainwright'ın sözleriyle Fleming "ortalığı birbirine katan" eksantrik bir kişilikti. "Kafadan çatlak olmasıyla ve delice işler yapmasıyla nam salmıştı; farklı bakteri kültürleriyle petri kabında Kraliçe'nin resimlerini yapmak gibi." Penisilinin tedavide ne kadar kıymetli olduğu Fleming'in ilk gözlemlerinden ancak on iki yıl sonra kanıtlandı. 1930'larda Oxford'da bir araştırma grubu penisilini ayırıp saflaştırmak için bir yöntem geliştirdi ve 1940'ta enfeksiyonlarla mücadeledeki şaşırtıcı başarısını gösteren çalışmalar yaptı. Her şeye rağmen penisilini üretmek hâlâ zordu. Herkesin erişebileceği bir ürün olmamasından ötürü, küfün yetiştirilmesiyle ilgili yönergeler tıbbi yayınlarda yer buldu. Bazı doktorlar enfeksiyonları tedavi etmek için "mütevazı koşullarda" hazırlanmış ham özütleri kıyılmış miselyumla birlikte gazlı bez arasına koyarak hazırladıkları "miselyum pedleri"ni kullanıyorlardı ve bu tedavilerin dikkati çekecek derecede etkili olduğu gözlemlenmişti (Wainwright [1989a ve 1989b]). Penisilin üretimi ABD'de sanayileşti. Bunun sebebi kısmen Amerikalıların sanayi tipi fermantasyon tanklarında mantar yetiştirmeye imkân veren gelişmiş yöntemleri, kısmen de *Penicillium* küfünün, mutasyonlarla daha da güçlendirilmiş yüksek verimli suşlarının bulunmasıydı. Penisilin üretiminin sanayileşmesi yeni antibiyotikler aramaya yönelik muazzam bir çaba doğurdu; bunun için binlerce mantar ve bakteri tarandı.

13 İlaçlar için *bkz*. Linnakoski ve diğ. (2018), Aly ve diğ. (2011), Gond ve diğ. (2014). Psilosibin için *bkz*. Carhart-Harris ve diğ. (2016a), Griffiths ve diğ. (2016), Ross ve diğ. (2016). Aşılar ve sitrik asit için *bkz*. Dünya Mantarlarının Durumu (2018). Yenebilir ve tıbbi mantarların pazarı için *bkz*. www.knowledge-sourcing.com/report/global-edible-mushrooms-market [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]. 1993'te *Science*'ta yayımlanan bir çalışmada, paklitakselin (marka ismi Taxol) Pasifik porsuk ağacının kabuğundan izole edilen bir endofitik mantar tarafından üretildiği bildiriliyordu (Stierle ve diğ. [1993]). Paklitakselin bitkilere göre mantarlarda daha yaygın olarak (birkaç mantar ailesinde yer alan iki yüz civarında endofitik mantar tarafından) üretildiği ortaya çıktı (Kusari ve diğ. [2014]). Güçlü bir antifungal olan paklitaksel savunmada önemli rol oynar: Paklitaksel üretebilen mantarlar diğer mantarları caydırabilir. Mantarlar üzerinde kanser üzerinde gösterdiği etkinin aynısını gösterir, hücre bölünmesini bozar. Paklitaksel üreten mantarlar, porsuk ağacında yaşayan diğer endofit mantarlar gibi bu

maddenin etkilerine karşı bağışıktır (Soliman ve diğ. [2015]). Mantar kökenli bir dizi başka kanser ilacı da ana akım ilaç uygulamalarına girmiştir. Şitaki mantarından elde edilen bir polisakkarit olan lentinanın bağışıklık sisteminin kanserlerle mücadele etmesini uyardığı bulundu ve Japonya'da mide ve meme kanserlerinin tedavisinde kullanılması onaylandı (Rogers [2012]). Hindi kuyruğu mantarından izole edilen ve çeşitli kanserlerde hastaların sağkalım süresinin uzatan PSK bileşiği Çin'de ve Japonya'da konvansiyonel kanser tedavilerinin yanı sıra kullanılır (Powell [2014]).

14 Mantar melaninleri için *bkz.* Cordero (2017).

15 Mantar türlerinin tahmini sayıları için *bkz.* Hawksworth (2001), Hawksworth ve Lücking (2017).

16 Nörobilimciler, beklentilerimizin algılarımızı etkilemesini yukarıdan aşağıya etki ya da (olasılık matematiği ya da "şans doktrini"ne büyük katkıda bulunmuş bir matematikçi olan Thomas Bayes'e atfen) Bayes çıkarımı olarak tanımlarlar. *Bkz.* Gilbert ve Sigman (2007), Mazzucato ve diğ. (2019).

17 Adamatzky (2016), Latty ve Beekman (2011), Nakagaki ve diğ. (2000), Bonifaci ve diğ. (2012), Tero ve diğ. (2010), Oettmeier ve diğ. (2017). *Advances in Physarum Machines* adlı kitapta (Adamatzky [2016]), araştırmacılar cıvıkmantarların şaşırtıcı özelliklerini ayrıntılı olarak anlatır. Bazı araştırmacılar cıvıkmantarları karar geçidi ya da osilatör olarak, bazılarıysa insanlık tarihindeki göçleri simüle etmek ve gelecekte Ay'a yapılabilecek olası göçleri modellemek için kullanmıştır. Cıvıkmantarların ilham verdiği matematiksel modeller arasında Shor algoritmasının klasik (kuantum dışı) uygulaması, en kestirme yolların hesaplanması ve tedarik zinciri ağlarının tasarlanması sayılabilir. Oettmeier ve diğ. (2017), 1926-1989 yılları arasında Japon imparatoru olan Hirohito'nun cıvıkmantarlara duyduğu hayranlıktan ve 1935'te bu konuda bir kitap yayımladığından söz eder. Cıvıkmantarlar Japonya'da o zamandan beri prestijli bir araştırma alanıdır.

18 Linnaeus'un geliştirdiği ve 1735'te *Systema Naturae* adlı kitabında yayımladığı, bugün kullandığımızın farklı bir versiyonu olan sınıflandırmada hiyerarşi insan ırklarına kadar uzanıyordu. İnsanlar liginin tepesinde Avrupalılar yer alıyordu: "Çok zeki, yaratıcı. Sıkı giysiler giyen. Kanunlarla yönetilen." Ardından Amerikalılar geliyordu: "Geleneklerle yönetilen." Sonra Asyalılar: "İnançlarla yönetilen." Ve Afrikalılar: "Ağırkanlı, miskin (...) [d]alavereci, yavaş, dikkatsiz. Üstü başı yağ içinde. Kaprisle yönetilen" (Kendi [2017]). Buna bağlı olarak hiyerarşik sınıflandırma sistemlerinin farklı türleri sıralama biçimi de türsel ırkçılık olarak düşünülebilir.

19 Vücudun farklı kısımlarındaki farklı mikrop birlikleri için *bkz.* Costello ve diğ. (2009), Ross ve diğ. (2018). Galaksideki yıldızlarla olan karşılaştırma için *bkz.* Yong (2016), bölüm 1. W. H. Auden "New Year Greeting" adlı şiirinde vücudunu mesken tutan mikroplara bedenindeki ekosistemleri sunar. "Sizin boyutlarınızdaki yaratıklar / istediklere yere yerleşmekte serbest /

artık en iyi neresi uyarsa size / ister gözeneklerimdeki havuzlar / ister koltukaltımdaki, kasığımdaki tropikal ormanlar / kollarımdaki çöller / yahut kafamdaki serin korular."

20 Organ nakilleri ve insan hücre kültürleri için *bkz*. Ball (2019). Mikrobiyomumuzun tahmini büyüklüğü için *bkz*. Bordenstein ve Theis. (2015). Virüslerin içindeki virüsler için *bkz*. Stough ve diğ. (2019). Mikrobiyomla ilgili genel bilgi için *bkz*. Yong (2016) ve *Nature* dergisinin insan mikrobiyomuyla ilgili özel sayısı (Mayıs 2019): www.nature.com/collections/fiabfcjbfj [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

21 Bütün biyologlar artık bir açıdan ekolog olarak düşünülebilir ama ekoloji disiplininden gelen ekologlar başlangıçta avantajlıdır ve kullandıkları yöntemler yeni alanlara sızmaya başlamıştır: Bazı biyologlar ekolojik yöntemlerin biyolojinin geçmişinde ekoloji dışı alanlar olarak kabul edilen alanlarda da kullanılması için çağrı yapmaya başladılar. *Bkz*. Gilbert ve Lynch (2019), Venner ve diğ. (2009). Mantarların içinde yaşayan mikropların dolaylı etkiler gösterdiğine dair örnekler mevcut. Márquez ve diğ. (2007) tarafından 2007'de *Science*'ta yayımlanan bir çalışmada "bir bitkinin içindeki mantarın içindeki virüs" tanımlanır. Tropikal bir ot olan bu bitki sıcak topraklarda doğal olarak yetişir. Fakat yapraklarında gelişen mantar olmadığında bu ot yüksek sıcaklıkta yaşayamaz. Bitki olmadan yetiştirilen mantarın da durumu pek farklı değildir; o da tek başına hayatta kalamaz. Ne var ki bitkinin yüksek sıcaklıklarda yaşayabilmesini sağlayan şeyin mantarın kendisi olmadığı anlaşıldı. Bitki, mantarın içinde yaşayan bir virüs sayesinde ısıya karşı dayanıklıdır. Virüs olmadan yetiştirildiğinde ne mantar ne de bitki yüksek sıcaklıklarda yaşayabilir. Bir başka deyişle bitkinin mikrobiyomunda mantarın nasıl bir rol oynayacağını, mantarın mikrobiyomu belirler. Mikropların içinde yaşayan mikroplarla ilgili en çarpıcı örneklerden biri çeltik yanıklığı hastalığına yol açan *Rhizopus microsporus* mantarıdır. *Rhizopus*'un kullandığı temel toksinleri üreten, aslında mantarın hifleri içinde yaşayan bir bakteridir. *Rhizopus*'un sadece hastalığa sebep olmak için değil üremek için de bakteriye muhtaç olması, mantarlarla bakteri ortaklarının kaderlerinin nasıl da iç içe geçmiş olduğunu çarpıcı biçimde gösterir. Deneysel olarak *Rhizopus*'u yerleşik bakterilerinden "arındırmak" mantarın spor üretme becerisine sekte vurur. Bakteri, *Rhizopus*'un beslenmeden tutun cinsel alışkanlıklarına varan en önemli özelliklerinden sorumludur. *Bkz*. Araldi-Brondolo ve diğ. (2017), Mondo ve diğ. (2017), Deveau ve diğ. (2018).

22 Özkimlik kaybıyla ilgili açıklamalar için *bkz*. Relman (2008). İnsanların tekil mi yoksa çoğul canlılar mı olduğu meselesi yeni bir soru değil. On dokuzuncu yüzyıl fizyolojisinde çokhücreli organizmaların bedenlerinin, ulus-devlet modelindeki insan bireyler gibi müstakil hücrelerden meydana gelmiş bir hücreler topluluğu olduğu düşünülüyordu. Mikrobiyolojideki

gelişmeler bu soruları daha da karmaşık hale getirmekte çünkü vücudunuzdaki trilyonlarca hücre arasında, ortalama bir karaciğer hücresiyle ortalama bir böbrek hücresi arasındaki gibi kesin bir bağlantı görülmez. Bkz. Ball (2019), Bölüm 1.

1. Tuzağın Cazibesi

1 Prince, "Illusion, Coma, Pimp & Circumstance," *Musicology* (2004).

2 Amsterdam'da satılan psikoaktif "trüf", isminin düşündürdüğünün tersine mantarın meyvesi değildir. Bunlar, "sklerosyum" denen depo organlarıdır ve yüzeysel benzerliklerinden ötürü trüf olarak adlandırılır.

3 Bir trilyon kokunun ayrımı için *bkz*. Bushdid ve diğ. (2014); kokuyla yön bulma için *bkz*. Jacobs ve diğ. (2015); kokuyla anıların canlanması ve insanın genel kokusal yetileri hakkında bir tartışma için *bkz*. McGann (2017). Bazı insanlar "süper koku alan" hiperozmik bireylerdir. Trivedi ve diğ. (2019) tarafından yayımlanan bir çalışmada süper koku alan bir kişinin Parkinson hastalığını hastaların kokusundan saptayabildiği bildiriliyordu.

4 Farklı kimyasal bağların kokuları hakkında bir tartışma için *bkz*. Burr (2012), Bölüm 2.

5 Bunlar G-proteiniyle eşleşmiş reseptörler olarak adlandırılan büyük bir reseptör ailesine aittir. İnsanda koku duyarlılığı ve insanların bazı kokuları trilyonda 0,001 parça kadar düşük derişimlerde saptayabilmesiyle ilgili olarak *bkz*. Sarrafchi ve diğ. (2013).

6 *Turmas de tierra* için *bkz*. Ott (2002). Aristoteles'e göre trüf mantarı "Afrodit tarafından kutsanmış bir meyve"ydi. Napoléon ve Marquis de Sade bu mantarları afrodizyak olarak kullanmıştı; George Sand onları "aşkın sihirli siyah elması" olarak tasvir etmişti. Fransız gastronom Jean Anthelme Brillat-Savarin "trüf mantarının erotik hazzı kolaylaştırdığı"nı göstermişti. 1820'lerde bu yaygın inancı araştırmak üzere hanımlarla ("aldığım bütün yanıtlar ironik ya da kaçamaktı") ve beylerle ("mesleği gereği özellikle güvenilir olanlarla") bir dizi görüşme yapmıştı. "Trüf mantarının gerçekten afrodizyak olmadığı ama belli koşullarda kadınları daha şefkatli, erkekleri daha özenli hale getirebildiği" sonucuna varmıştı (Hall ve diğ. [2007], s. 33).

7 Laurent Rambaud için *bkz*. Chrisafis (2010). Muhabir Ryan Jacobs trüf mantarı ticaretinde yaşanan kirli oyunları ortaya koymuştu. Köpekleri zehirlemek için striknin katılmış köfte kullananların yanı sıra ağızlık takan köpekleri zehirleyebilmek için ormandaki su kaynaklarına zehir katanlara da rastlanır. Bazıları etin içine cam kırıkları koyar, bazıları fare zehiri ya da antifriz kullanır. Veteriner hekimlerin raporlarına göre her trüf mevsiminde yüzlerce köpek zehirlenme nedeniyle tedavi görmektedir. Yetkililer belli ormanlarda zehir kokusu alan köpeklerle devriye gezmeye başlamışlardır (Jacobs [2019], s. 130–34). 2003'te *The Guardian*'da Fransız trüf uzmanı

Michel Tournayre'ın trüf köpeğinin çalındığı haberi yayımlanmıştı. Tournayre hırsızların köpeği satmayıp başkalarının arazisinden trüf çalmak için kullandıklarından şüpheleniyordu (Hall ve diğ. [2007], s. 209). Trüf çalmak için çalıntı köpek kullanmaktan daha iyi bir yöntem olabilir mi?

8 Burunları kan revan içinde kalan Kanada geyikleri için *bkz*. Tsing (2015), "Interlude. Smelling"; sinekler tarafından tozlaştırılan orkideler için *bkz*. Policha ve diğ. (2016); karmaşık aromatik bileşikler toplayan arılar için *bkz*. Vetter ve Roberts (2007); mantarların ürettiği bileşiklerin benzerliği için *bkz*. de Jong ve diğ. (1994). Orkide arıları salgıladıkları yağlı bir maddeyi kokulu nesneye sürer. Daha sonra kokuyu emen yağı sıyırıp toplar ve arka bacaklarındaki keselerde biriktirirler. Bu yaklaşım, yasemin gibi ekstraksiyonda ısı kullanılamayacak denli narin bitkiler için insanların asırlardır kullandığı yağda bekleterek esans elde etme yönteminin (anfloraj) aynısıdır (Eltz ve diğ. [2007]).

9 Naef (2011).

10 Bordeu için *bkz*. Corbin (1986), s. 35.

11 Rekor kıran trüf mantarı için *bkz*. news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/7123414.stm [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

12 Koku üretiminde trüf mantarının rolüyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Vahdatzadeh ve diğ. (2015). Daniele ve Paride ile birlikteyken bir nehrin yakınındaki alüvyonlu topraktan kazıp çıkarılan trüfün, vadinin yukarısındaki daha killi topraktan çıkarılan trüften farklı koktuğu dikkatimi çekti. Bu farklılık aç bir sivrifareyi muhtemelen pek bağlamaz. Ama Alba'daki bir beyaz trüf, Bologna civarında bulunan bir beyaz trüften dört kat değerlidir (gerçi bazı trüf tüccarlarının Bolonez trüflerini Alba trüfüymüş gibi yutturabilmesi farkı herkesin hissedemediğini düşündürüyor). Trüf mantarlarında uçucu bileşiklerin profilleri arasındaki bölgesel farklılıklar yapılan çalışmalarda da doğrulanmıştır (Vita ve diğ. [2015]).

13 Trüf mantarlarının androstenol ürettiğini gösteren çalışma için *bkz*. Claus ve diğ. (1981); dokuz yıl sonra yapılan çalışma için *bkz*. Talou ve diğ. (1990).

14 Yıllar içinde tespit yöntemlerinin duyarlılığı arttıkça, tek bir trüf mantarı türünde saptanan uçucu bileşiklerin sayısı da arttı. Yine de duyarlılığı henüz insan burnuna göre daha düşük olan bu yöntemlerle saptanan uçucu bileşiklerin sayısı gelecekte muhtemelen daha da artacak. Trüf mantarlarındaki uçucu bileşikler için *bkz*. Pennazza ve diğ. (2013), Vita ve diğ. (2015); diğer türler için *bkz*. Splivallo ve diğ. (2011). Trüflerin bütün cazibesini tek bir bileşiğe yüklemek bazı nedenlerden ötürü risklidir. Talou ve diğ.'nin (1990) çalışmasında, küçük bir hayvan örneklemi kullanılarak tek bir bölgede, sığ olan tek bir derinlikte gömülü tek bir trüf mantarı türü denenmişti. Farklı derinliklerde ya da farklı yerlerde uçucu bileşiklerin farklı altkümelerinden oluşmuş profiller ön plana geçebilir. Dahası

trüf mantarları doğada yabandomuzlarından tarla farelerine ve böceklere çeşitli hayvanları kendine çeker. Trüflerin ürettiği uçucu bileşiklerden oluşan karışımın farklı öğeleri farklı hayvanlara çekici geliyor olabilir. Androstenol hayvanlar üzerinde daha karmaşık etkiler gösteriyor olabilir. Çalışmada sınandığının tersine, kendi başına etkili olmayıp diğer bileşiklerle birlikte etki gösteriyor olması da mümkün. Ya da hayvan açısından trüf mantarını bulmak, mantarı yemek kadar önemli olmayabilir. Zehirli trüf mantarlarıyla ilgili daha fazla bilgi için *bkz.* Hall ve diğ. (2007). *Gautieria*'nın ve bir trüf mantarı türü olan *Choiromyces meandriformis*'in de "iç bayıltıcı ve mide bulandırıcı" bir kokuya sahip olduğu bildirilmiştir ve Kuzey Avrupa'da popüler bir mantar olmasına rağmen İtalya'da zehirli kabul edilir. Hafif zehirli olduğu düşünülen bir diğer tür olan *Balsamia vulgaris* ise "acımış yağ" aromasından ötürü köpekler tarafından sevilir.

15 Trüf ihracatı ve paketlemesi için *bkz.* Hall ve diğ. (2007), s. 219, 227.

16 Miselyumun çevreyi araştıran kısımlarında hifler genellikle birbirine dokunmadan uzaklaşır. Miselyumun daha olgun kısımlarında hiflerin eğilimi çark eder. Büyüyen uçlar birbirine doğru çekilir (Hickey ve diğ. [2002]). Hiflerin birbirlerini nasıl çekip ittikleri hâlâ iyi bilinmiyor. Model organizma olarak kullanılan ekmek küfü *Neurospora crassa* ile yapılan çalışmalar bazı ipuçları vermeye başladı. Sırayla her hif ucu bir başka ucu çeken ve "uyaran" bir feromon salgılar. Araştırmacıların bir çalışmada yazdığı gibi "bir topu atarcasına" yapılan bu ileri-geri hareketle lifler bir ritme göre birbirlerini hedef alıp birbirlerine eklemlenir. Bir hifin kendi kendini uyarmadan bir başka hifi kendine çekmesini sağlayan şey bu salınım, bu kimyasal rallidir. Hifler kendi salgıladıkları feromonu saptayamaz. Feromonu diğer hifler salgılarken uyarılırlar (Read ve diğ. [2009], Goryachev ve diğ. [2012]).

17 *Schizophyllum commune*'nin çiftleşme tipleri hakkında bir tartışma için *bkz.* McCoy (2016), s. 13; cinsel açıdan uyumsuz hiflerin kaynaşması için *bkz.* Saupe (2000), Moore ve diğ. (2011), bölüm 7.5. Hiflerin birbirleriyle kaynaşıp kaynaşamayacağını "vejetatif uyumluluk"ları belirler. Hifler kaynaşır kaynaşmaz, ayrı bir çiftleşme sistemi hangi çekirdeklerde eşeyli rekombinasyon gerçekleşeceğini belirler. Bu iki sistem farklı şekilde düzenlenir ama hifler birbiriyle kaynaşana ve genetik maddeyi ortaklaşana dek eşeyli rekombinasyon olmaz. Farklı miselyum ağları arasındaki vejetatif kaynaşmaların sonucu karmaşık olabilir ve önceden kestirilemeyebilir (Rayner ve diğ. [1995], Roper ve diğ. [2013]).

18 Trüf mantarında cinselliğin ayrıntıları için *bkz.* Selosse ve diğ. (2017), Rubini ve diğ. (2007), Taschen ve diğ. (2016); hayvanlar âleminde interseksüellik örnekleri için bkz. Roughgarden (2013). Trüf yetiştiricileri trüf yetiştirmenin püf noktalarını gerçekten anlamak istiyorlarsa öncelikle trüf mantarının cinselliğini anlamak zorundalar. Sorunsa anlamamaları. Trüf

mantarları bugüne dek hiç döllenme yaparken gözlemlenmedi. Yaşam tarzlarının gözden ırak olduğunu düşünürsek bu o kadar da şaşırtıcı değil. Daha da garip olansa bugüne dek hiç baba taraflı (paternal) bir hif bulunamamış olması. Araştırmacılar ağaç köklerinde ve toprakta ister "+" olsun ister "-" sadece anne taraflı (maternal) hifler bulabildiler. Anlaşılan baba taraflı trüf mantarları kısa ömürlü olduklarından döllenmeden sonra kayboluyorlar: "Doğum, ardından bir yudum seks, sonra hiçbir şey" (Dance [2018]).

19 Bazı mikorizal mantarların hifleri sporlarının içine doğru çekilip daha sonra tekrar çimlenebilir (Wipf ve diğ. [2019]).

20 Mantarların bitki köklerine etkisi için *bkz*. Ditengou ve diğ. (2015), Li ve diğ. (2016), Splivallo ve diğ. (2009), Schenkel ve diğ. (2018), Moisan ve diğ. (2019).

21 Mikorizal simbiyozlarda, bağışıklık yanıtının askıya alınması ve iletişimin evrimiyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Martin ve diğ. (2017); bitki ile mantar arasındaki sinyalleşmenin işleyişi ve genetik temeliyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Bonfante (2018); diğer mikorizal ilişki tiplerinde bitki ile mantar arasındaki iletişim için bkz. Lanfranco ve diğ. (2018). Mantarlardan kaynaklanan ve birbirinden ufak tefek farklılıklar gösteren kimyasal teklifler geniş bir etki alanına sahiptir. Bir bitkiyle haberleşmede kullanılan uçucu kimyasallar etraftaki bakteri topluluklarıyla iletişim kurmak için de kullanılabilir (Li ve diğ. [2016], Deveau ve diğ. [2018]). Mantarlar kimyasal bileşikleri rakip mantarları caydırmak amacıyla kullanır; bitkilerse istenmeyen mantarları caydırmak için uçucu kimyasallardan faydalanır (Li ve diğ. [2016], Quintana-Rodriguez ve diğ. [2018]). Aynı uçucu bileşik, bitkiler üzerinde farklı derişimlerde farklı etkiler gösterebilir. Bazı trüf mantarlarının ürettiği bitki hormonları yüksek derişimlere ulaştığında konağın fizyolojisiyle oynayarak bitkileri öldürebilir ve mantarın kendi bitki ortağıyla rekabet edebilecek diğer bitkilere karşı caydırıcı silahlar olarak işlev görebilir (Splivallo ve diğ. [2007 ve 2011]). Bazı trüf türleri kimyasal duyurularla parazit mantarları kendine çeker. Geyik trüfü *Elaphomyces* gibi belli trüf türlerinin paraziti olan *Tolypocladium capitata*, böceklerde parazit olarak yaşayan *Ophiocordyceps* mantarlarının akrabasıdır (Rayner ve diğ. [1995]; fotoğraflar için *bkz*. mushroaming.com/cordyceps-blog [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]).

22 Britanya Adaları'nda ilk kez –iklim değişikliği nedeniyle gerçekleştiği düşünülen– *Tuber melanosporum* kültivasyonu ile ilgili olarak *bkz*. Thomas ve Büntgen (2017). *Tuber melanosporum* kültivasyonunda modern yöntem ancak 1969'da geliştirilebilmiş ve ilk kez 1974'te suni olarak aşılanmış trüf mantarı üretilebilmişti. Fide kökleri *Tuber melanosporum* miselyumuyla kuluçkaya bırakıldıktan ve mantar iyice yerleştikten sonra bitkiler köklerinden sökülür. Doğru koşullar sağlanırsa mantar birkaç yıl sonra trüf oluşturmaya başlar. Trüf kültivasyonuna ayrılan arazi giderek büyümekte

(bütün dünyada 40.000 hektar) ve ABD'den Yeni Zelanda'ya kadar pek çok yerde Périgord trüf bahçelerinde başarıyla trüf üretimi yapılmaktadır (Büntgen ve diğ. [2015]). Lefevre, yöntemini adım adım yazsa bile bir başkası tarafından tekrarlanmasının zor olacağını söylemişti. Zira sezgi yoluyla edinilen bilgi başkalarına aktarılamayacak ve takip edilemeyecek kadar fazladır. Beklenmedik mevsimsel olaylardan fidanlıktaki koşullara kadar en küçük detaylar dahi çok büyük fark yaratır. Gizlilik de sorunun bir parçasıdır. Trüf yetiştiricileri genellikle bir belirsizlik sisi içinde "sahip oldukları bilgiyi" herkesten sakınırlar. "Mantar toplama kökleri eskiye uzanan bir gelenek," diyor Büntgen. "Ormana mantar toplamaya giden çok olur ama hiçbirinin ağzından laf alamazsınız. Birine gününün nasıl geçtiğini sorsanız, hiçbir şey bulmasa bile muhtemelen 'Kocaman bir mantar buldum!' diyecektir. Bu tutum nesillerdir devam ediyor ve araştırmaları yavaşlatıyor." Lefevre ise her yıl azimle, bir şekilde meyve verir umuduyla, ne kadar zor olursa olsun ağaç köklerinde *Tuber magnatum* miselyumu yetiştirmeye devam ediyor. Aynı iyimserlikle Avrupa trüf mantarı türüyle Amerikan ağaçlarını eşleştirme denemelerine devam ediyor (anlaşılan *Tuber magnatum*, meyve vermese de titrek kavakla sağlıklı bir ortaklık kurabiliyor). Diğer yetiştiriciler *Tuber* miselyumunun büyümesini desteklemek için trüf mantarından bakteri izole ediyorlar (görünüşe göre bazı bakteri grupları işe yarıyor). Lefevre'e, trüf bahçeleri için kendisinden *Tuber magnatum*'lu ağaç alan çok kişi olup olmadığını soruyorum. "Çok değil," diyor "ama denemeden başaramazsın ruhuyla satıyoruz ağaçları."

23 Mantarların kimyasalları gizlice dinlemesi hakkında bir tartışma için *bkz.* Hsueh ve diğ. (2013).

24 Nordbring-Hertz (2004), Nordbring-Hertz ve diğ. (2011).

25 Nordbring-Hertz (2004).

26 Günümüzde insanbiçimcilik tartışmalarının en fazla alevlendiği konu bitkiler ve onların çevrelerini algılama ve tepki verme biçimleridir. 2007'de önde gelen otuz altı bitkibilimci yeni oluşan "bitki nörobiyolojisi" alanını yok sayan bir mektuba imza attılar (Alpi ve diğ. [2007]). Bu terimi ortaya atanlar, bitkilerin insanlar ve diğer hayvanlardakine denk bir elektriksel ve kimyasal sinyal mekanizması olduğunu savunuyorlardı. Mektubu yazan otuz altı bitkibilimciye göre bunlar "yüzeysel benzetmeler ve şüpheli tahminler" di. Bunun üzerine ateşli bir tartışma başladı (Trewavas [2007]). Bu tartışmalar antropolojik açıdan etkileyicidir. Kanada New York Üniversitesi'nden antropolog Natasha Myers, bir grup bitkibilimciyle bitki davranışlarını nasıl yorumladıklarına dair görüşmeler yapmıştı (Myers [2014]). Myers insanbiçimciliğin sorunlu politikasını ve araştırmacıların bu meseleyle başa çıkmak için izledikleri farklı yolları tarif etmişti.

27 Kimmerer (2013), "Learning the Grammar of Animacy" (Canlılığın Gramerini Öğrenmek).

28 "Konak ağaçlarla olan ilişkisi çok az anlaşılmıştır," diyor Lefevre, "trüf veriminin yüksek olduğu yerlerde bile mantarın kolonize olduğu ağaç köklerinin oranı son derece düşüktür. Bu da verimliliğin, mantarın konak ağaçtan aldığı enerji miktarıyla açıklanamayacağı anlamına gelir."

29 Kokular ve benzerlikleri için *bkz*. Burr (2012), Bölüm 2. Antropolog Anna Tsing, Japonya tarihinin Edo döneminde (1603–1868) matsutake mantarı kokusunun şiirlerde sevilen bir konu olduğunu yazar. Matsutake toplama gezileri, ilkbahardaki kiraz çiçekleri kutlamalarının bir benzerine dönüşürken, "sonbahar aroması" ya da "mantar aroması" şiirlerde yaygın kullanılır hale gelmiştir (Tsing [2015]).

2. Canlı Labirentler

1 Cixous (1991).

2 Mantarların labirentlerde yön bulmasıyla ilgili olarak *bkz*. Hanson ve diğ. (2006), Held ve diğ. (2009, 2010, 2011, 2019). Mükemmel videolarla ek bilgi edinmek için *bkz*. Held ve diğ. (2011) www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878614611000249 [erişim tarihi 29 Ekim, 2019], Held ve diğ. (2019) www.pnas.org/content/116/27/13543/tab-figures-data [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

3 Deniz mantarları için *bkz*. Hyde ve diğ. (1998), Sergeeva ve Kopytina (2014), Peay (2016); tozdaki mantarlar için *bkz*. Tanney ve diğ. (2017); toprakta mantar hiflerinin tahmini uzunluğu için *bkz*. Ritz ve Young (2004).

4 Bu, sık bildirilen bir olaydır. *Bkz*. Boddy ve diğ. (2009), Fukusawa ve diğ. (2019).

5 Fukusawa ve diğ. (2019). Yeni odun parçası ağdaki kimyasal derişimleri mi değiştirmişti yoksa gen ifadesini mi? Yoksa miselyumun ilk odun parçası üzerindeki dağılımını hızla değiştirdiğinden tek bir yönde büyüme daha mı olası hale gelmişti? Boddy ve meslektaşları bu sorunun yanıtından emin değil. Mantarları mikroskobik labirentlerle sınayan araştırmacılar, büyüyen uçlardaki yapıların dahili jiroskoplar gibi davrandığını ve hiflere, bir engelle karşılaşıp yoldan saptıktan sonra tekrar başlangıçtaki büyüme yönüne dönmelerini sağlayan bir yön belleği kazandırdığını gözlemlediler (Held ve diğ. [2019]). Ne var ki Boddy ile meslektaşlarının gözlemledikleri etkinin sorumlusu muhtemelen bu mekanizma değil çünkü yaptıkları deneyde yeni bir petri kabına yerleştirmeden önce, ilk odun parçasının üzerindeki bütün hifleri –uçları dahil– kesmişlerdi.

6 Mantar hifleri, hayvan ve bitki bedenlerindeki sınırları (genellikle) net olan hücrelerden farklıdır. Doğrusunu söylemek gerekirse hifleri aslında hücre olarak tanımlamamak gerek. Birçok mantarda hifler "septa" olarak adlandırılan bölmelerden oluşur ama bunlar açılıp kapanabilir. Açıldıklarında hif içeriği bu "hücreler" arasında akabilir ve miselyum ağları "hücreüstü" duruma geçer (Read [2018]). Bir miselyum ağı diğer birçok ağla

kaynaşarak ağların içeriklerini paylaşabildikleri, yayılarak büyüyen loncalar oluşturur. Bir hücre nerede başlar, nerede biter? Bu sorulara genellikle yanıt veremeyiz. Sürülerle ilgili yakın tarihli bir çalışma için bkz. Bain ve Bartolo (2019) ve çalışmayla ilgili yorum için bkz. Ouellette (2019). Bu çalışmada sürüler, yerel kurallara göre davranan bireylerin oluşturduğu topluluklardan çok kendi başlarına ayrı birer varlık olarak ele alınır. Sürüyü, bir sıvının akış örüntüsü gibi düşünerek sürü davranışlarıyla ilgili daha etkili bir model oluşturulabilir. Hif uçlarının büyümesine ilişkin modellerde, yerel etkileşim kurallarına dayalı sürü modelleri yerine yukarıdan aşağıya doğru çalışan bu "hidrodinamik" modelleri kullanmak daha etkili sonuç verebilir.

7 Cıvıkmantarlar için *bkz*. Tero ve diğ. (2010), Watanabe ve diğ. (2011), Adamatzky (2016); mantarlar için *bkz*. Asenova ve diğ. (2016), Held ve diğ. (2019).

8 Miselyumlardaki değiştokuşla ilgili bir tartışma için bkz. Bebber ve diğ. (2007).

9 Miselyum ağlarındaki bağlantıların doğal seçilimiyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Bebber ve diğ. (2007).

10 Mantarlarda biyolüminesansın ve böceklerin spor saçılmasındaki rolüyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Oliveira ve diğ. (2015); tilki ateşi ve *Turtle* için *bkz*. www.cia.gov/library/publications/intelligence-history/intelligence/intelltech.html [erişim tarihi 29 Ekim, 2019] ve Diamant (2004), s. 27. 1875'te yayımlanmış bir mantar kılavuzunda Mordecai Cooke biyolüminesan mantarların kömür madenlerinde kullanılan destek kalaslarında sık görüldüğünü yazıyordu. Maden işçileri "fosforesan mantarlara aşinadır ve adamların söylediğine göre mantarlar 'ellerini görmelerine yetecek kadar' ışık verir. *Polyporus* örnekleri öylesine ışık saçıyordu ki karanlıkta neredeyse yirmi metre uzaktan görülebiliyordu."

11 Olsson'un videolarına çevrimiçi erişmek için *bkz*. doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4560923.v1 [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

12 Oliveira ve diğ. (2015) tarafından yayımlanmış bir çalışmada *Neonothopanus gardneri*'nin biyolüminesan miselyumunun sıcaklığa ayarlı çalışan sirkadiyen bir saate göre düzenlendiği bulundu. Yazarlar, mantarların geceleri daha güçlü bir ışıltı yayarak sporlarını saçan böcekleri daha iyi çekebildiği varsayımını ileri sürüyorlar. Olsson'un gözlemi, haftalar boyunca sadece bir kez gerçekleştiği için sirkadiyen ritimle açıklanamaz.

13 Hif çapı için *bkz*. Fricker ve diğ. (2017). Ekolog Robert Whittaker hayvan evriminin bir "değişim ve yok oluş" hikâyesi olduğunu, buna karşılık mantar evriminin bir "muhafazakârlık ve devamlılık" hikâyesi olduğunu söylemişti. Fosil kayıtlarındaki hayvan vücut planlarının çeşitliliği hayvanların yaşadıkları dünyayı içselleştirmenin birçok farklı yolunu bulduklarını gösteriyor. Aynısı mantarlar için söylenemez. Mantar miselyumlarının evrimi

birçok organizmaya kıyasla çok daha uzun bir zamanı kapsamasına rağmen çok eski çağlardan kalma mantar fosilleri bugün yaşayan mantarlarla çarpıcı bir benzerlik gösterir. Görünüşe göre ağ yapısındaki organizmaların kendilerine bir hayat kurmak için başvurabilecekleri yollar sınırlıdır. *Bkz.* Whittaker (1969).

14 Dökülen yaprakları yakalayan miselyum ağları için *bkz.* Hedger (1990).

15 Çeltik yanıklığı mantarının uyguladığı basıncın ölçümü için *bkz.* Howard ve diğ. (1991); sekiz tonluk okul otobüsü resmi ve istilacı mantar büyümesiyle ilgili genel bir tartışma için *bkz.* Money (2004a). Nüfuz edici hifler, böylesine yüksek basınçlar uygularken yüzeye sıkıca tutunabilmek için kendilerini bitkiye yapıştırmak zorundadırlar. Bunun için 10 megapaskalın üzerindeki basınçlara dayanabilen bir yapıştırıcı üretirler; bu süper yapıştırıcı 15-25 megapaskal düzeyindeki basınçlara dayanabilir ama muhtemelen yaprakların mumsu yüzeyinde bunu yapamaz (Roper ve Seminara [2017]).

16 Bu hücresel keseciklere "vezikül" denir. Mantarlarda uçlardan büyüme "Spitzenkörper" (uç organı) olarak adlandırılan hücresel yapılar ("organel") tarafından yönetilir. Çoğu organelin tersine Spitzenkörper'de net bir sınır bulunmaz. Spitzenkörper'in hifin içinden vezikülleri alıp düzene sokarak hif ucuna dağıtan bir "vezikül ikmal merkezi" olduğu düşünülüyor. Spitzenkörper hem kendine hem de hiflerine yön verir. Spitzenkörperler bölündüğü zaman hiflerde dallanma başlar. Büyüme durduğunda Spitzenkörper kaybolur. Spitzenkörper'in uzayan uçtaki konumunu değiştirerek hifi farklı yöne çevirebilirsiniz. Spitzenkörper, hif duvarlarının çözünmesini ve miselyum ağının farklı bölümlerinin kaynaşmasını sağlayarak yapabildiği şeyi tersine de çevirebilir. Spitzenkörper ile ilgili genel bilgiler ve "saniyede altı yüz vezikül" için *bkz.* Moore (2013a), Bölüm 2; Spitzenkörper ile ilgili bir tartışma için *bkz.* Steinberg (2007); bazı türlerde hiflerin gerçek zamanlı uzayabildiği gözlemi için *bkz.* Roper ve Seminara (2017).

17 Fransız filozof Henri Bergson'un zamanın akışına dair tarifi, bir mantar hifini anımsatır: "Zamanın akışı geleceği kemiren ve ilerledikçe büyüyen geçmişin daimi ilerlemesidir" (Bergson [1911], s. 7). Biyolog J.B.S. Haldane'e göre yaşamı oluşturan şeyler, dengeli işleyen süreçlerdir. Haldane biyolojik düşüncede "'şey' ya da madde birimi kavramının 'gereksiz'" olduğunu farz edecek kadar ileri gitmişti (Dupré ve Nicholson [2018]). Oluşumsal biyolojiyle ilgili genel bilgi için *bkz.* Dupré ve Nicholson (2018); Bateson'dan alıntı için *bkz.* Bateson (1928), s. 209.

18 Asfaltı delen kokarboynuz mantarı için *bkz.* Niksic ve diğ. (2004); Cooke için *bkz.* Moore (2013b), bölüm 3. Uç büyümesi mantarlardan başka canlılarda da görülmekle beraber kural değil istisnadır. Hayvan nöronları uçtan uzayarak büyür, keza polen tüpleri gibi bazı bitki hücreleri de. Fakat uygun koşullarda mantar hiflerinin yapabildiğinin aksine bunlardan hiçbiri sonsuza dek uzayamaz (Riquelme [2012]).

19 Frank Dugan, Avrupa Reformu dönemindeki "şifacı ya da bilge kadınlar"ın modern mikolojinin "ebeleri" olduğunu söyler (Dugan [2011]). Birçok kanaldan gelen deliller kadınların mantar ilmine sahip olduklarını gösteriyor. Carolus Clusius (1526–1609) ve Francis van Sterbeeck (1630–1693) gibi dönemin âlimleri tarafından kaydedilen mantarlarla ilgili resmi bilginin büyük bölümünün kaynağı bu kadınlardı. Aralarında *Mantar Satıcısı* (Felice Boselli, 1650–1732), *Mantar Toplayan Kadınlar* (Camille Pissarro, 1830–1903) ve *Mantar Toplayıcıları*'nın (Felix Schlesinger, 1833–1910) bulunduğu bazı eserlerde mantarlarla çalışan kadınlar resmedilmiştir. Avrupalı seyyahların on dokuzuncu ve yirminci yüzyıllara ait anlatılarında mantar satan ya da toplayan kadınlardan bahsedilir.

20 Çokseslilliğin geniş bir tanımı ve konuyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Bringhurst (2009), Bölüm 2, "Kurbağalarla şarkı söylemek: edebi çok sesliliğin kuramı ve uygulaması."

21 Kordonlardaki ve rizomorflardaki tahmini akış hızları için *bkz*. Fricker ve diğ. (2017). Mantarların genellikle gelişimlerini düzenleyen kimyasallar kullandığı düşünülür ama büyümeyi düzenleyen bu maddeler hakkında pek az şey biliyoruz (Moore ve diğ. [2011], bölüm 12.5, Moore [2005]). Tekdüze hif ipliklerinin oluşturduğu bir kütleden böylesine belirgin sınırlı formlar nasıl gelişebilir? Bir hayvanın parmağı ayrıntılı bir formdur ama kan hücreleri, kemik hücreleri, sinir hücreleri ve diğerlerinin karmaşık bir bileşiminden meydana gelir. Mantarlar da detaylı formlardır. Fakat tek bir hücre tipinin –hiflerin– kümelenmesiyle meydana gelirler. Mantarların şapkalı mantarları nasıl oluşturdukları uzun süre gizemini korumuştu. 1921'de Rus gelişim biyoloğu Alexander Gurwitsch şapkalı mantarların gelişimi üzerine kafa yordu. Bir şapkalı mantarın sapı, sapın etrafındaki halkası ve şapkası bütünüyle, "taranmamış dağınık saçlar" gibi karmakarışık hiflerden oluşur. Onu şaşırtan da bu olmuştu. Sadece hiflerden bir şapkalı mantar yapmak, sadece kas hücrelerinden bir yüz oluşturmaya çalışmaktan farksızdı. Gurwitsch için hiflerin birlikte büyüyerek karmaşık biçimler oluşturması gelişim biyolojisinin temel bilmecelerinden biriydi. Bir hayvanın yapısal örgütlenmesi gelişiminin başlangıcında bellidir. Hayvanlarda biçim ileri düzeyde teşekküllü beden bölümleriyle ortaya çıkar. Düzen düzeni doğurur. Fakat şapkalı mantarlarda biçim *daha az* örgütlenmiş kısımlardan gelişir. Düzensiz bir malzemeden düzenli bir form oluşur (von Bertalanffy [1933], s. 112–17). Şapkalı mantarların büyümesinden esinlenen Gurwitsch, canlıların gelişimine kılavuzluk eden alanların olduğu varsayımını ileri sürdü. Demir tozları manyetik alanda yeni bir düzene kavuşur. Gurwitsch, bir organizmanın hücre ve doku düzenlemesinin de benzer şekilde biçim veren biyolojik alanlar tarafından şekillendirilebileceğini iddia ediyordu. Gurwitsch'in gelişimde alan kuramı bir grup çağdaş biyolog tarafından kullanıldı. Boston Tufts Üniversitesi'nden araştırmacı

Michael Levin, bütün hücrelerin ister fiziksel ister kimyasal ya da elektriksel işaretlerden meydana gelmiş olsun "zengin bir enformasyon alanı" içinde bulunduğunu söylüyor. Bu enformasyon alanları karmaşık formların nasıl ortaya çıktığını açıklamamıza yardımcı olur (Levin [2011] ve [2012]). 2004'te yayımlanan bir çalışmada mantar miselyumunun büyümesini simüle eden bir matematiksel model –bir "sibermantar" – geliştirilmişti (Meskkauskas ve diğ. [2004], Money [2004b], Moore [2005]). Modelde her hif ucu diğer hif uçlarının davranışını etkileyebiliyordu. Çalışma, bütün hif uçları aynı kurallar doğrultusunda büyüdüğü zaman şapkalı mantar benzeri formların ortaya çıkabileceğini söylüyor. Bu bulgular, hayvanlarda ve bitkilerde gördüğümüz yukarıdan aşağıya doğru gelişimsel eşgüdüme gerek olmaksızın hiflerin "kalabalık davranışı"ndan formların ortaya çıkabileceğini düşündürür. Fakat bunun için on binlerce hif ucunun aynı anda aynı kurallara uyması ve farklı kurallara aynı anda geçiş yapması gerekir; bunu Gurwitsch'in bilmecesinin modern bir çerçeveye oturtulması olarak düşünebiliriz. Sibermantarı yaratan araştırmacılar gelişimsel değişikliklerin bir hücresel "saat" tarafından düzenleniyor olabileceği varsayımını ileri sürmüş olsalar da bugüne dek böyle bir mekanizma tanımlanmadı ve canlı mantarların gelişimlerini nasıl düzenledikleri sorusu hâlâ gizemini koruyor.

22 Mikrotübül motorları için *bkz*. Fricker ve diğ. (2017); Haddon Hall'daki *Serpula* için *bkz*. Moore (2013b), Bölüm 3; akışın mantar gelişimindeki rolüyle ilgili bir tartışma için bkz. Alberti (2015), Fricker ve diğ. (2017). Mantar hiflerinde akım hızı saniyede 3-70 mikrondur ve bazen pasif difüzyon hızının yüz katını aşar (Abadeh ve Lew [2013]). Alan Rayner nehir benzetmesine meraklı çünkü nehirler "hem içinde aktıkları araziyi şekillendiren hem de arazi tarafından şekillendirilen sistemlerdir." Bir nehir kendi yatağında akar ve bu süreçte aktığı yatağı biçimlendirir. Rayner hifleri kendileri için açtıkları yataklarda akan ve kör sonlanan nehirler olarak düşünür. Akan herhangi bir sistemde olduğu gibi basınç her şeydir. Hifler etraftan su emer. Suyun içeri akışı ağ içindeki basıncı artırır. Fakat basıncın kendisi akışa neden olmaz. Maddenin miselyum içinde akması için hiflerin bu akışa yer açması gerekir. Bu da hifin büyümesiyle sağlanır. Hif içeriği büyüyen hif uçlarına akar. Su miselyum ağından hızla şişen sporokarpa doğru akar. Basınç gradyanı tersine çevrilirse akış da tersine döner (Roper ve diğ. [2013]). Ne var ki hifler görünüşe göre akışı daha hassas yollardan düzenleyebiliyor. 2019'da yayımlanan bir çalışmada besin elementleri ve sinyal bileşiklerinin hifler boyunca olan hareketinin gerçek zamanlı izlendiği bir çalışma yayımlandı. Belli bazı büyük hiflerde hücre sıvısının akışı birkaç saatte bir yön değiştirerek sinyal bileşiklerinin ve besin elementlerinin ağ boyunca her iki yönde de akmasını sağladı. Yaklaşık üç saat boyunca tek bir yöne doğru, sonraki üç saatte diğer yöne akış oldu. Hiflerin, içlerindeki

madde akışını nasıl kontrol edebildiği bilinmiyor ama hücresel akışın yönünü ritmik olarak değiştirmek, ağ içinde madde dağıtımını daha verimli hale getirir. Araştırmacılar hif gözeneklerinin eşgüdümlü açılıp kapanmasının hiflerdeki çift yönlü madde taşınmasında "önemli bir etken" olduğunu düşünüyorlar (Schmieder ve diğ. [2019], ayrıca bkz. Roper ve Dressaire'in yorumu [2019]). Mantarların iç akışı yönlendirmelerinin bir diğer yolu "kasılabilir kofullar" (kontraktil vakuoller) olabilir. Hifler içinde kasılma dalgalarının geçebildiği tüp şeklinde bu yapıların, miselyum ağları yoluyla taşımada rol oynadığı bildirilmiştir (Shepherd ve diğ. [1993], Rees ve diğ. [1994], Allaway ve Ashford [2001], Ashford ve Allaway [2002]).

23 Roper ve diğ. (2013), Hickey ve diğ. (2016), Roper ve Dressaire (2019). Videolara YouTube'dan ulaşabilirsiniz: "Nuclear dynamics in a fungal chimera," www.youtube.com/watch?v=_FSuUQP_BBc [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]; "Nuclear traffic in a filamentous fungus," www.youtube.com/watch?v=AtXKcr05030 [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

24 Cerdá-Olmedo (2001); Ensminger (2001), Bölüm 9.

25 "En zekisi" için *bkz*. Cerdá-Olmedo (2001); kaçınma yanıtı için bkz. Johnson ve Gamow (1971), Cohen ve diğ. (1975).

26 Şapkalı mantarın gelişmesinden diğer organizmalarla ilişki kurmaya, miselyum yaşamının her yönü ışıktan etkilenir; korkulan çeltik yanıklığı mantarı bitki konaklarını yalnızca geceleri enfekte eder (Deng ve diğ. [2015]). Işığa duyarlı mantarlar için *bkz*. Purschwitz ve diğ. (2006), Rodriguez-Romero ve diğ. (2010), Corrochano ve Galland (2016); yüzey topografisinin algılanması için *bkz*. Hoch ve diğ. (1987), Brand ve Gow (2009); yerçekimi duyarlılığı için *bkz*. Moore (1996), Moore ve diğ. (1996), Kern (1999), Bahn ve diğ. (2007), Galland (2014).

27 Darwin ve Darwin (1880), s. 573. "Kök beyinler" lehine görüşler için *bkz*. Trewavas (2016), Calvo Garzón ve Keijzer (2011); beyin benzetmelerine karşı görüşler için *bkz*. Taiz ve diğ. (2019); "bitki zekâsı"yla ilgili genel bilgi için *bkz*. Pollan, "The Intelligent Plant" (Zeki Bitki) (2013).

28 Hif uçlarının davranışı için *bkz*. Held ve diğ. (2019).

29 Cadı halkaları için *bkz*. Gregory (1982).

30 Bazı araştırmacılar ani hif kasılmalarının ya da seğirmelerin enformasyon iletiminde kullanılıyor olabileceğini bildirmiştir. Fakat bunlar anbean kullanılabilecek kadar düzenli değildir. Bkz. McKerracher ve Heath (1986a ve 1986b), Jackson ve Heath (1992), Reynaga-Peña ve Bartnicki-García (2005). Bazıları ağdaki akış örüntülerini ve bazı durumlarda ritmik salınımlarla akışın yönünü değiştirerek miselyum ağlarında enformasyonun iletilebileceğini ileri sürüyor (Schmieder ve diğ. [2019], Roper ve Dressaire [2019]). Ümit vaat eden bu araştırmalar sayesinde miselyum ağlarını, jet avcı uçaklarından nükleer reaktör kontrol sistemlerine farklı sistemlerde kullanılmış birçok versiyonu olan "akışkan bilgisayar"ların bir çeşidi gibi

düşünebiliriz (Adamatzky [2019]). Ne var ki miselyum akışındaki değişiklikler birçok olayı açıklamak için hâlâ fazla yavaş. Miselyum ağlarından geçen düzenli metabolik aktivite sinyalleri, miselyum ağlarının kendi davranışlarını düzenlemeleri için akla yakın bir yol olmakla beraber yine birçok olayı açıklayamayacak kadar yavaştır (Tlalka ve diğ. [2003, 2007], Fricker ve diğ. [2007a ve 2007b, 2008]). Ağ tipi yaşamıyla en iyi bilinen organizma labirentte yol bulan cıvıkmantardır. Cıvıkmantarlar aslında mantar olmamalarına rağmen yayılmanın ve eşgüdümlü olarak biçim değiştirmenin yollarını geliştirdikleri için mantar miselyumlarının karşılaştığı güçlükler ve fırsatlar üzerinde düşünmeye elverişli bir model oluşturur. Mantar miselyumundan daha hızlı büyüdükleri için cıvıkmantarlarla çalışmak daha kolaydır. Cıvıkmantarlar, farklı bölümleri arasındaki iç iletişimi ağlarının dallarından aşağıya kasılma dalgaları şeklinde ilerleyen ritmik sinyaller kullanarak sağlar. Besin bulan dallar bir sinyal molekülü üretir ve bu da daha kuvvetli kasılmayı sağlar. Daha kuvvetli kasılmalar ağın o dalında daha fazla hücre içeriğinin akmasına neden olur. Belli bir kasılma sırasında kısa bir rotadan geçen madde miktarı, uzun rotadan geçene göre daha fazladır. Bir rotadan geçen madde miktarı ne kadar fazlaysa kasılma o kadar güçlenir. Bu geribeslenim döngüsü organizmanın kendini daha az "başarılı" rotalardan daha "başarılı" rotalara yönlendirmesini sağlar. Ağın farklı kısımlarından gelen sinyaller birleşir, birbirini etkiler ve güçlendirir. Cıvıkmantarlar çeşitli dallardan gelen enformasyonu bir araya getirmek için özel herhangi bir yere gereksinim duymaksızın karmaşık yol problemlerini bu şekilde çözebilir (Zhu ve diğ. [2013], Alim ve diğ. [2017], Alim [2018]).

31 Bir araştırmacı 1980'lerin ortalarında "mantar elektrobiyolojisi mevcut ana akım biyoloji araştırmalarıyla varacağımız son noktaya gelmiştir," yorumunu yapmıştı (Harold ve diğ. 1985). Oysa o günden bu yana mantarların elektriksel uyarılmaya şaşırtıcı yollardan tepki verdikleri bulundu. Miselyuma aralıklı elektrik akımı uygulamak mantar verimini önemli ölçüde artırabilir (Takaki ve diğ. [2014]). Bugüne dek kültivasyona direnmiş bir mikorizal tür olan kıymetli matsutake mantarının verimi, bu mantarın ortağı olan ağaçların etrafındaki toprağa 50 kilovolt elektrik verilerek yaklaşık iki katına çıkarılabilir. Araştırmacılar bu çalışmayı, matsutake toplayıcılarının yıldırım düşen alanın etrafında birkaç gün sonra bol miktarda mantar bulabildiklerini bildirmeleri üzerine yapmıştı (Islam ve Ohga [2012]). Bitkilerde aksiyon potansiyelleri için bkz. Brunet ve Arendt (2015); mantarlarda aksiyon potansiyelleriyle ilgili ilk raporlar için bkz. Slayman ve diğ. (1976); mantar elektrofizyolojisiyle ilgili genel bir tartışma için *bkz*. Gow ve Morris (2009); "kablo bakterileri" için *bkz*. Pfeffer ve diğ. (2012); bakteri kolonilerinde aksiyon potansiyeli benzeri dalgalar için *bkz*. Prindle ve diğ. (2015), Liu ve diğ. (2017), Martinez-Corral ve diğ. (2019) ve özet için *bkz*. Popkin (2017).

32 Olsson sinyalin ilerleme hızını uyarılmayla tepki arasındaki boşluğun süresini ölçerek hesaplamıştı. O nedenle bu tahmini hız mantarın uyaranı algılaması, uyaranın A noktasından B'ye ulaşması ve mikroelektrotlarla kaydedilen yanıtın oluşması için geçen süreyi kapsar. Dolayısıyla impulsun gerçek hızı bu tahmini değerin epey üzerinde olabilir. Mantar miselyumunda ölçülen en yüksek toplu akış hızı saatte 180 milimetre civarındadır (Whiteside ve diğ. [2019]). Olsson'un ölçtüğü aksiyon potansiyeli benzeri impulsların hızı saatte 1.800 milimetreydi.

33 Olsson ve Hansson (1995), Olsson (2009). Olsson'un aksiyon potansiyeli benzeri aktivitedeki değişimi kaydetmesiyle ilgili olarak *bkz.* doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4560923.v1 [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

34 Oné Pagán beyin için genel kabul görmüş bir tanım bulunmadığına dikkat çeker. Beyinleri, anatomileriyle ilgili özgül ayrıntılardan çok, *yaptıklarına* göre tanımlamanın daha mantıklı olduğunu savunur (Pagán [2019]). Mantar ağlarındaki gözeneklerin düzenlenmesi için *bkz.* Jedd ve Pieuchot (2012), Lai ve diğ. (2012).

35 Adamatzky (2018a ve 2018b).

36 Ağ bilişimi örnekleri için *bkz.* van Delft ve diğ. (2018), Adamatzky (2016).

37 Adamatzky (2018a ve 2018b).

38 Olsson'a niye hiç kimsenin 1990'lı yıllardaki çalışmalarını devam ettirmediğini sordum. "Çalışmalarımı konferanslarda sunduğumda insanlar gerçekten ama gerçekten ilgiliydiler," dedi Olsson "ama tuhaf olduğunu düşünüyorlardı." Olsson'un çalışmasıyla ilgili düşüncelerini sorduğum araştırmacıların hepsi etkilenmişti ve daha fazlasını öğrenmek istiyorlardı. Çalışmaya o zamandan beri defalarca atıfta bulunulmuştu. Fakat Olsson bu konu üzerinde daha fazla çalışmak için gereken maddi desteği alamadı. Çalışmadan muhtemelen bir şey çıkmayacağı, teknik dilde ifade edersek "fazla riskli" olduğu düşünülmüştü.

39 "Arkaik mit" için *bkz.* Pollan (2013); beynin davranışının altında yatan kadim hücresel süreçler için bkz. Manicka ve Levin (2019). "Hareket etme hipotezi"ne göre beyin, hayvanların etrafta gezinme gereksiniminin bir nedeni ve sonucu olarak evrilmiştir. Etrafta gezinmeyen organizmalar böyle bir güçlükle karşılaşmadıkları için, karşılaştıkları sorunları çözebilecek farklı tipte ağlar geliştirdiler (Solé ve diğ. [2019]).

40 Darwin (1871), alıntı Trewavas'ın içinde (2014), bölüm 2. "Asgari biliş" için *bkz.* Calvo Garzón ve Keijzer (2011); "biyolojik olarak somutlaşmış biliş" için *bkz.* Keijzer (2017); bitki bilişi için bkz. Trewavas (2016); "temel" biliş ve bilişin dereceleri için *bkz.* bkz. Manicka ve Levin (2019); mikrop zekâsı hakkında bir tartışma için *bkz.* Westerhoff ve diğ. (2014); farklı "beyin" tipleri üzerine bir tartışma için *bkz.* Solé ve diğ. (2019).

41 "Ağ nörobilimi" için *bkz.* Bassett ve Sporns (2017); Barbey (2018). Petri kabında, beyin "organoidler"i olarak bilinen, insan beyin dokusu kültürlerini

yetiştirmeyi mümkün kılan bilimsel ilerlemeler zekâyı anlamamızı daha da karmaşık hale getiriyor. Bu tekniklerin beraberinde getirdiği felsefî ve etik sorular ve bu soruların net yanıtlarının olmaması, kendi biyolojik benliklerimizin sınırlarının hâlâ netlikten uzak olduğunu hatırlatır. 2018'de önde gelen bazı nörobilim ve biyoetik uzmanları *Nature*'da bu soruların bir kısmını sordukları bir makale yayımladılar (Farahany ve diğ. [2018]). Sonraki yıllarda beyin dokusu kültür tekniklerinde kaydedilen gelişmeler, işlev gören insan beynini daha yakından taklit eden yapay "mini beyinler" üretmeyi mümkün hale getirdi. Araştırmacılar şöyle yazmışlardı: "İkame beyinler büyüyüp karmaşıklaştıkça, insanın hissetme yetisine benzer yetilere sahip olmaları da uzak bir ihtimal olmaktan çıkıyor. Bu kapasite haz, acı ya da sıkıntı duygularını (bir dereceye kadar) hissedebilmeyi, anıları depolamayı ve anımsamayı, hatta bir düzeyde irade algısına ya da benlik farkındalığına sahip olmayı içerebilir." Beyin organoidlerinin günün birinde bizi zekâ bakımından alt edebileceğinden endişe duyanlar da var (Thierry [2019]).

42 Yassısolucan deneyi için *bkz*. Shomrat ve Levin (2013); ahtapotların sinir sistemi için *bkz*. Hague ve diğ. (2013); Godfrey-Smith (2017), bölüm 3.

43 Bengtson ve diğ. (2017), Donoghue ve Antcliffe (2010). Bengtson ve meslektaşları temkinli davranarak ellerindeki örneklerin *gerçek* mantarlar olmayabileceğini, gözlemlenebilir her açıdan modern mantarlara benzeyen ayrı bir canlı soyu hattına ait olabileceğine dikkat çekiyorlar. Tereddütlerinin nedeni anlaşılabilir. Araştırmacıların da işaret ettiği gibi, bu miselyum fosilleri gerçek mantarlara aitse mantarların ilk olarak nerede ve nasıl geliştiklerine dair güncel anlayışımızı "altüst edeceklerdir." Mantarlar iyi fosilleşmez ve yaşam ağacından farklı bir dal olarak ilk ne zaman ayrıldıkları tartışmalıdır. "Moleküler saat" olarak adlandırılan DNA incelemesine dayalı yöntemler ilk mantarların yaklaşık bir milyar yıl önce ayrıldığını düşündürüyor. 2019'da araştırmacıların Kuzey Kutbu şeylinde buldukları fosilleşmiş miselyum yaklaşık bir milyar yıl öncesine tarihlendiriliyor (Loron ve diğ. [2019]; [2019]). Bu bulgudan önce kesinlikle mantara ait olduğu bilinen en eski fosiller 450 milyon yıl öncesine tarihlendiriliyordu (Taylor ve diğ. [2007]). En eski fosilleşmiş lamelli mantar ise yaklaşık 120 milyon yıl öncesine tarihlendirilmektedir (Heads ve diğ. [2017]).

44 Barbara McClintock için *bkz*. Keller (1984).

45 A.g.e.

46 Humboldt (1849), cilt 1, s. 20.

3. Yabancıların Yakınlığı

1 Rich (1994).

2 BIOMEX birkaç astrobiyoloji projesinden biridir. BIOMEX için *bkz*. de Vera ve diğ. (2019); EXPOSE birimi için *bkz*. Rabbow ve diğ. (2009).

3 "Sınırlar ve kısıtlamalar" alıntısı için *bkz*. Sancho ve diğ. (2008); uzaya

gönderilen likenler ve diğer organizmalarla ilgili bir derleme için *bkz*. Cottin ve diğ. (2017); astrobiyolojik araştırmalarda model olarak kullanılan likenler için bkz. Meeßen ve diğ. (2017); de la Torre Noetzel ve diğ. (2018).

4 Wulf (2015), Bölüm 22.

5 Schwendener ve ikilik hipoteziyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Sapp (1994), bölüm 1.

6 Sapp (1994), Bölüm 1; "duygusal bir aşk hikâyesi" için *bkz*. Ainsworth (1976), Bölüm 4. Beatrix Potter'ın biyografisini yazanların bazıları onun Schwendener'ın ikilik hipotezini desteklediğini ileri sürmüştür; Schwendener'ın Potter'ın fikrini değiştirmiş olması ihtimali var. Ne var ki 1897'de kırsalda postacılık yapan amatör doğabilimci Charles MacIntosh'a yazdığı bir mektupta Potter'ın tavrı açık: "Gördüğünüz gibi Schwendener'ın kuramına inanmıyoruz ve eski kitaplar likenlerin zaman içinde yapraksı türler üzerinden ciğerotlarını oluşturduğunu söylüyor. O yassı likenlerden birinin ve gerçek bir ciğerotunun sporlarını yetiştirip ikisinin çimlenmesini karşılaştırmayı çok isterdim. Kurutabildiğim için isimlerinin bir önemi yok. Hava şartları değiştiğinde bana biraz daha liken ve ciğerotu sporu bulabilirseniz minnettar kalırım." (Kroken [2007])

7 Ağaç, modern evrim teorilerinde kullanılan temel görüntülerden biridir ve Darwin'in *Türlerin Kökeni* eserinde yer alan tek çizimdir. Darwin bu görüntüyü kullanan ilk kişi değildi hiç kuşkusuz. Dallanan ağaç biçimi, teolojiden matematiğe insan düşüncesinde asırlar boyunca bir çerçeve oluşturmuştu. Bunlar arasında belki de en aşina olduklarımız, kökleri Eski Ahit'e kadar uzanan soyağaçlarıdır (Yesse'nin ağacı).

8 Schwendener'ın liken tasviriyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Sapp (1994), Bölüm 1 ve Honegger (2000); Albert Frank ve "simbiyoz" için *bkz*. Sapp (1994), Bölüm 1, Honegger (2000) ve Sapp (2004). Frank ilk olarak "symbiotismus" ("simbiyotizm" olarak tercüme edilebilir) sözcüğünü kullanmıştı.

9 Yeşil deniztavşanlarının -*Elysia viridis*- atalarının yuttuğu algler dokularında yaşamaya devam etmişti. Yeşil deniztavşanları enerjiyi tıpkı bir bitki gibi güneş ışığından elde eder. Yeni simbiyotik keşifler için *bkz*. Honegger (2000); "hayvan likenler" için *bkz*. Sapp (1994), Bölüm 1; "mikrolikenler" için *bkz*. Sapp (2016).

10 Huxley'den alıntı için *bkz*. Sapp (1994), s. 21.

11 Yüzde seksen oranındaki tahmin için *bkz*. Ahmadjian (1995); tropikal ormanlardan daha büyük bir alan için *bkz*. Moore (2013a), Bölüm 1; "'hashtag' işaretleri gibi asılı kalır" için *bkz*. Hillman (2018); seyyar likenler ve böceklerin üzerinde yaşayanlar dahil liken habitatlarının çeşitliliği için *bkz*. Seaward (2008); Knudsen ile yapılan söyleşi için *bkz*. aeon.co/videos/how-lsd-helped-a-scientist-find-beauty-in-a-peculiar-and-overlooked-form-of-life [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

12 "Her anıt" alıntısı için *bkz.* twitter.com/GlamFuzz [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]; Rushmore Dağı için *bkz.* Perrottet (2006); Paskalya Adaları'ndaki anıtlar için *bkz.* www.theguardian.com/world/2019/mar/01/easter-island-statues-leprosy [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

13 Likenlerin günlenmeye yaklaşımı için *bkz.* Chen ve diğ. (2000), Seaward (2008); Porada ve diğ. (2014); likenler ve toprak oluşumu için *bkz.* Burford ve diğ. (2003).

14 Panspermianın tarihçesi ve ilgili görüşler için *bkz.* Temple (2007), Steele ve diğ. (2018).

15 NASA, Lederberg'in gezegenlerarası enfeksiyon bulaşmasıyla ilgili endişelerine cevaben uzay araçlarının Dünya'dan ayrılmadan önce sterilizasyonuna yönelik yöntemler geliştirdi. Bu yöntemler bütünüyle başarılı olmadı: Uluslararası Uzay İstasyonu'nda serpilen gönüllü bir bakteri ve mantar topluluğu var (Novikova ve diğ. [2006]). Apollo 11, 1969'da Ay'a ilk seyahatinden döndüğünde astronotlar üç hafta boyunca dönüştürülmüş bir Airstream karavanda karantinaya alınmışlardı (Scharf [2016]).

16 Frederick Griffith'in 1920'lerde yaptığı ve 1940'ların başlarında Oswald Avery ile meslektaşlarının doğruladığı çalışmalardan beri bakterilerin içinde bulundukları ortamdan DNA alabildiğini biliyoruz. Lederberg bakterilerin, "konjügasyon" olarak adlandırılan bir süreçle, birbiriyle aktif olarak genetik madde alışverişi yapabildiğini gösterdi. Lederberg'in bulgularıyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Lederberg (1952), Sapp (2009), Bölüm 10 ve Gontier (2015b). Viral DNA'nın hayvan yaşamının tarihinde büyük etkisi olmuştur: Plasentalı memelilerin, yumurtlayan atalarından evrilmesinde viral genlerin rol oynadığı düşünülüyor (Gontier [2015b] ve Sapp [2016]).

17 Hayvanların genomlarında bakteri DNA'sı bulunmuştur (genel bir tartışma için *bkz.* Yong [2016], Bölüm 8). Bitki ve alg genomlarında bakteri ve mantar DNA'sı bulunur (Pennisi [2019a]). Liken oluşturan alglerde mantar DNA'sı bulunur (Beck ve diğ. [2015]). Yatay gen aktarımı mantarlarda yaygındır (Gluck-Thaler ve Slot [2015], Richards ve diğ. [2011], Milner ve diğ. [2019]). İnsan genomunun en az yüzde sekizi virüs kaynaklıdır (Horie ve diğ. [2010]).

18 Dünya'ya dışarıdan gelen yabancı DNA'nın evrimde "kestirme" yol yaratmasıyla ilgili olarak *bkz.* Lederberg ve Cowie (1958).

19 Uzayda yaşama elverişsiz koşullar için *bkz.* de la Torre Noetzel ve diğ. (2018).

20 Sancho ve diğ. (2008).

21 *Circinaria gyrosa* örneklerinin fotosentez aktivitesi 18 kilogray gama ışınıyla dahi sadece yüzde yetmiş oranında azalmıştı. Fotosentez aktivitesi 24 kilogray'de yüzde doksan beş azalmış ama sıfırlanmamıştı (Meeßen ve diğ. [2017]). Bu sonuçları bir bağlama oturtmak için, bugüne kadar saptanmış radyasyona en dirençli organizmalardan biriyle kıyaslama yapabiliriz;

derin denizlerdeki hidrotermal bacalardan izole edilmiş bir arke (ismiyle müsemma *Thermococcus gammatolerans*) 30 kilogray'e kadar dayanabilir (Jolivet ve diğ. [2003]). Uzay koşullarındaki likenlerle ilgili çalışmaların bir özeti için bkz. Cottin ve diğ. (2017), Sancho ve diğ. (2008), Brandt ve diğ. (2015); yüksek doz radyasyonun likenler üzerindeki etkileri için *bkz*. Meeßen ve diğ. (2017), Brandt ve diğ. (2017), de la Torre ve diğ. (2017); uzayda tardigradlar için *bkz*. Jönsson ve diğ. (2008).

22 Likenler bazı disiplinlere rutin olarak "bilgi verir." Likenler bazı endüstriyel kirlilik türlerine karşı o kadar duyarlıdır ki hava kalitesinin güvenilir göstergeleri olarak kullanılırlar; kentsel bölgelerde "liken çölleri" rüzgâr yönünde uzanır ve endüstriyel kirlilikten etkilenen bölgenin sınırlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Bazı durumlarda likenler gerçek anlamda gösterge olarak hizmet eder. Jeologlar kayaçların yaşını saptamak için likenlerden faydalanırlar (bu disiplin likenometri olarak adlandırılır). Okul laboratuvarlarında kimyasal ayraç olarak kullanılan kâğıdın içeriğindeki pH'a duyarlı bir boya olan litmus da liken kökenlidir.

23 Thijs Ettema ve grubunun Uppsala Üniversitesi'nde son zamanlarda yaptığı çalışmalar ökaryotların arkelerden gelişmiş olduğunu düşündürüyor. Olayların kesin sıralaması hâlâ tartışmalıdır (Eme ve diğ. [2017]). Uzun zamandır bakterilerin "organel" olarak adlandırılan hücreiçi yapılar taşımadığı düşünülüyordu. Bu görüş artık değişiyor. Görünüşe göre birçok bakteri, özelleşmiş işlevleri olan organel benzeri yapılara sahip. Bu konu üzerine yazılmış bir tartışma için *bkz*. Cepelewicz (2019).

24 Margulis (1999); Mazur (2009), "Intimacy of Strangers and Natural Selection" (Yabancıların Yakınlığı ve Doğal Seçilim).

25 "Kaynaşma ve birleşme" için *bkz*. Margulis (1996); endosimbiyozun kökenleri için *bkz*. Sapp (1994), bölüm 4 ve 11; Stanier'dan alıntı için *bkz*. Sapp (1994), s. 179; "seri endosimbiyoz teorisi için" *bkz*. Sapp (1994), s. 174; böceklerin içindeki bakterilerin içindeki bakteriler hakkında *bkz*. Bublitz ve diğ. (2019); Margulis'in özgün makalesi için (Sagan soyadıyla yayımlanmıştır) *bkz*. Sagan (1967).

26 "Oldukça benzeştiği" alıntısı için *bkz*. (1967); "dikkate değer örnekler" alıntısı için *bkz*. Margulis (1981), s. 167. 1879'da de Bary için simbiyozun en önemli etkisi evrimsel yenilikle sonuçlanabilmesiydi (Sapp [1994], s. 9). Kavramın Rus destekçileri Konstantin Mereschkowsky (1855–1921) ve Boris Mikhaylovich Kozo-Polyansky (1890–1957) simbiyozun yeni türlerin oluşmasına yol açma sürecini "simbiyogenez" ("birlikte yaşayarak oluşmak") olarak adlandırmıştı (Sapp [1994], s. 47–48). Kozo-Polyansky çalışmasına likenleri de dahil etmişti. "Likenleri alglerle mantarların basit bir toplamı olarak düşünmemek lazım. Onlar ister kimyaları olsun ister biçimleri, yapıları, yaşamları ya da dağılımları, her konuda ne alglerde ne de mantarlarda bulunan, kendine has birçok özelliğe sahiptir – bileşik liken,

bileşenlerinde görülmeyen yeni nitelikler gösterir" (Kozo-Polyansky, çev. [2010], s. 55–56).

27 Dawkins ve Dennett'tan alıntılar için *bkz*. Margulis (1996).

28 Genetikçi Richard Lewontin "Görünüşe göre evrimsel 'yaşam ağacı' yanlış bir metafor," demişti. "Belki de onu ayrıntılı bir makrame olarak düşünmeliyiz" [2001]). Ağaçlara da haksızlık etmeyelim. Bazı türlerin dalları birbiriyle kaynaşabilir. Buna "inoskülasyon" adı verilir (Latincede "öpmek" anlamına gelen *osculare* sözcüğünden türetilmiştir). Ama etrafınızdaki ağaçlara bir bakın. Dalların çatallanma şansı kaynaşma şansından fazladır. Çoğu ağacın dalları, günlük hayatın parçası olarak birbirine karışan mantar hiflerine benzemez. Ağacın evrim için uygun bir metafor olup olmadığı yıllardır tartışılıyor. Darwin'in de bu konuda endişeleri vardı; "yaşam mercanı"nın belki de daha uygun bir görüntü olabileceğini düşünüyordu ama sonunda bunun işleri "fazla karmaşık" hale getireceğini düşüncesi ağır bastı (Gontier [2015a]). 2009'da ağaç metaforu meselesini yüzeye çıkaran en acı örneklerden birinde, *New Scientist* dergisi kapağında "Darwin'in yanıldığı"nı ilan etmişti. Editör, köşesinde "Darwin'in ağacını kökünden sökmek" diye yırtınıyordu. Tahmin edilebileceği üzere bu ifadeler öfkeyle karşılandı (Gontier [2015a]). Bu tepki fırtınasının ortasında Daniel Dennett'ın gönderdiği mektup dikkati çeker: "Cafcaflı bir kapakla 'Darwin'in yanıldığı'nı ilan ederken aklınızdan ne geçiyordu acaba?" Dennett'ın niye kızdığı gayet açık. Darwin yanılmamıştı. Sadece evrim kuramını DNA, genler, simbiyotik birleşmeler ve yatay gen aktarımının bilinmediği bir dönemde geliştirmişti. Bu keşifler yaşam tarihiyle ilgili anlayışımızı dönüştürdü. Fakat Darwin'in, evrimin doğal seçilimle işlediğine dair temel tezinin doğruluğu tartışılmıyordu; tartışma konusu olan şey, evrimde birincil yönlendirici kuvvet olarak doğal seçilimin önemiydi (O'Malley [2015]). Simbiyoz ve yatay gen aktarımı, evrimsel yeniliğin oluşabilmesi için yeni yollar sağlar; onlar evrimin yeni *ortak yazarlarıdır*. Fakat editör yine de doğal seçilimdir. Bununla beraber, simbiyotik birleşmeler ve yatay gen aktarımının ışığında birçok biyolog yaşam ağacını, soy hatlarının dallanması, birleşmesi ve birbirine dolanmasıyla oluşmuş bir örgü –bir "şebeke" ya da "ağ", bir "rizom" ya da "örümcek ağı" şeklinde yeniden tasavvur etmeye başladı (Gontier [2015a] ve Sapp [2009], Bölüm 21). Bu şemalardaki çizgiler düğümlenerek ve birbirine karışarak farklı türleri, âlemleri, hatta üst âlemleri birbirine bağlar. Bağlantılar, canlı bile olduğu düşünülmeyen genetik varlıklar olan virüsler âlemine girip çıkan ilmekler oluşturur. Evrimi temsil eden yeni bir simgesel canlı için fazla uzağa gitmeye gerek yok. Yaşamı bu şekilde gören bir bakış açısı her şeyden çok mantar miselyumuna benzer.

29 Bazı likenlerde mantar ve alg hücrelerinden oluşmuş, "sorediyum" adı verilen özelleşmiş yapılar oluşur. Bazı durumlarda yeni çimlenmiş bir liken

mantarı, beklentilerini tam olarak karşılamayan bir fotobiyontla ekip kurar ve asıl beklediği gelene dek "pretallus" denen küçük bir "fotosentetik leke" olarak yaşar (Goward [2009c]). Bazı likenler spor üretmeden bileşenlerine ayrılıp yeniden bir araya gelebilir. Belli bazı likenler, doğru besin elementlerinin bulunduğu bir petri kabına koyulursa ortaklar birbirinden ayrılıp uzaklaşır. Ayrıldıktan sonra yeniden ilişki kurabilirler (ama bu ilişki genellikle kusursuz olmaz). Bu açıdan likenlerin ayrılması geri dönüşlüdür. En azından bazı durumlarda sapla saman birbirinden ayrılabilir. Ne var ki bugüne kadar sadece bir likenin (*Endocarpon pusillum*) ortakları birbirinden ayrılıp ayrı ayrı yetiştirildikten sonra bir araya getirildiğinde işlevsel sporların meydana gelmesi dahil liken oluşumunun bütün evrelerinden geçmiştir; bu süreç "spordan spora" yeniden sentez olarak adlandırılır (Ahmadjian ve Heikkilä [1970]).

30 Likenlerin simbiyotik doğası ilginç bazı teknik sorunlar çıkarır. Likenler uzun zamandır taksonomistlerin korkulu rüyası olagelmiştir. Mevcut durumda likenler sadece mantar ortağın adıyla anılır. Örneğin, *Xanthoria parietina* mantarıyla *Trebouxia irregularis* alginin oluşturduğu liken *Xanthoria parietina* olarak adlandırılır. Benzer şekilde, *Xanthoria parietina* mantarıyla *Trebouxia arboricola* alginin birleşimi *Xanthoria parietina* adıyla bilinir. Liken isimlendirmesinde parçanın bütünü temsil etmesi bir mecaz-ı mürseldir (Spribille [2018]). Güncel sistem likenin mantar bileşeninin likenin *kendisi* olduğunu düşündürür. Oysa likenler birkaç ortak arasındaki müzakereden doğar. "Likenleri mantar olarak görmek, likenleri görememektir" diye yakınır Goward (Goward [2009c]). Bu durum, kimyagerlerin –elmastan metana ya da metamfetamine– karbon içeren her bileşiği *karbon* olarak adlandırmasına benzer. Bir şeyi gözden kaçırdıklarını itiraf etmek zorunda kalırsınız. Semantik bir homurdanmadan fazlasıdır bu. Bir şeye isim vermek, varlığını kabul etmektir. Yeni bir tür bulunduğu zaman "tanımlanır" ve adlandırılır. Ve likenlerin isimleri vardır, hem de oldukça fazla. Likenbilimciler taksonomik açıdan sofu değildir. Sorun, verebildikleri isimlerin, tarif etmeyi hedefledikleri durumu ıskalamasıdır. Bu, yapısal bir meseledir. Biyoloji, likenlerin simbiyotik durumuna hitap edemeyen bir taksonomik sistem etrafında inşa edilmiştir. Bu sistemle likenlerin isimlendirilmesi mümkün değildir.

31 Sancho ve diğ. (2008).

32 de la Torre Noetzel ve diğ. (2018).

33 Likenlerdeki benzersiz bileşikler ve bunların insanlar tarafından kullanımı için *bkz*. Shukla ve diğ. (2010) ve Dünya Mantarlarının Durumu (2018); liken ilişkilerinin metabolik mirasları için *bkz*. Lutzoni ve diğ. (2001).

34 Derin Karbon Gözlemevi'nin raporu için *bkz*. Watts (2018).

35 Çöllerdeki likenler için *bkz*. Lalley ve Viles (2005), Dünya Mantarlarının Durumu (2018); kayalardaki likenler için *bkz*. de los Ríos ve diğ. (2005),

Burford ve diğ. (2003); Antarktika'nın Kuru Vadileri için *bkz*. Sancho ve diğ. (2008); sıvı azot için *bkz*. Oukarroum ve diğ. (2017); liken ömrü için *bkz*. Goward (1995).

36 Sancho ve diğ. (2008).

37 Fırlatılma şoku için *bkz*. Sancho ve diğ. (2008), Cockell (2008). Bir dizi çalışmada, bakterilerin likenlere kıyasla yüksek sıcaklıklara ve şok basınçlarına daha dayanıklı olduğu gösterildi. Atmosfere yeniden giriş için *bkz*. Sancho ve diğ. (2008).

38 Sancho ve diğ. (2008), Lee ve diğ. (2017).

39 Likenlerin kökenleri için *bkz*. Lutzoni ve diğ. (2018), Honegger ve diğ. (2012). Liken benzeri fosillerin kimliği ve hâlâ yaşayan soy hatlarıyla olan ilişkisi hakkında çok fazla tartışma var. Altı yüz milyon yıl öncesine ait olduğu belirlenen deniz likeni benzeri organizmalar bulunmuştur (Yuan ve diğ. [2005]); bazıları bu canlıların, likenlerin atalarının karaya çıkışında rol oynadığını savunuyor (Lipnicki [2015]). Likenlerin çoklu evrimi ve yeniden likenleşme süreci için *bkz*. Goward (2009c); liken bileşenlerinin ayrılması için *bkz*. Goward (2010); ihtiyari likenleşme için *bkz*. Selosse ve diğ. (2018).

40 Hom ve Murray (2014).

41 "Şarkıcı değil şarkı" için *bkz*. Doolittle ve Booth (2017).

42 *Hydropunctaria maura* daha önce *Verrucaria maura* ("siğilli gece yarısı") adıyla bilinirdi. Yeni oluşmuş bir adaya likenlerin gelmesiyle ilgili uzun süreli bir çalışma için bkz. Surtsey vakası, www.anbg.gov.au/lichen/case-studies/surtsey.html [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

43 "Bütünler" ve "parçaların toplamı" için *bkz*. Goward (2009a).

44 Spribille ve diğ. (2016).

45 Likenlerin yapısındaki mantarların çeşitliliğiyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Arnold ve diğ. (2009); kurt likenlerindeki diğer ortaklar için *bkz*. Tuovinen ve diğ. (2019, Jenkins ve Richards (2019).

46 "Ne dediğinizin bir önemi yok" için *bkz*. Hillman (2018). Goward bu yeni bulguları göz önüne alarak likenler için bir tanım geliştirdi: "Belirsiz sayıda mantar, alg ve bakteri taksonundan meydana gelen doğrusal olmayan bir sistemin, bileşenlerinin etkileşimiyle ortaya çıkan bir özellik olarak düşünülen tallusu [likenin ortak bedeni] vücuda getirme süreci şeklinde tanımlanan likenleşmenin sonucunda meydana gelen dayanıklı fiziksel yan ürünü" (Goward 2009b).

47 Likenlerin mikrop rezervuarları olması hakkında *bkz*. Grube ve diğ. (2015), Aschenbrenner ve diğ. (2016), Cernava ve diğ. (2019).

48 Likenlerle ilgili queer kuramı için *bkz*. Griffiths (2015).

49 Mikropların biyolojik bireyselliğin farklı tanımları konusunda nasıl kafa karıştırdığına dair daha detaylı bir analiz için *bkz*. Gilbert ve diğ. (2012). Mikroplar ve bağışıklık konusunda daha fazla bilgi için *bkz*. McFall-Ngai

(2007), Lee ve Mazmanian (2010). Bazıları canlı sistemin "ortak kaderi"ne dayanarak biyolojik bireyler için farklı tanımlar da ileri sürüyor. Örneğin Frédéric Bouchard "Biyolojik birey, bütünlüğü çevrenin seçilim baskıları karşısında sistemin ortak kaderine bağlı olan, işlevsel açıdan bütünleşik bir varlıktır," tanımını ileri sürüyor (Bouchard 2018).

50 Gordon ve diğ. (2013), Bordenstein ve Theis (2015).

51 Bağırsak bakterilerinin neden olduğu enfeksiyonlar için *bkz.* Van Tyne ve diğ. (2019).

52 Gilbert ve diğ. (2012).

4. Miselyum Zihni

1 Sabina, Gordon Wasson'ın bir kaydından, alıntı Schultes ve diğ.den yapılmıştır (2001), s. 156.

2 Psikedeliklerle ilgili genel bir özet için *bkz.* Winkelman (2017); kapsamlı bir tartışma için *bkz.* Pollan (2018).

3 Hughes ve diğ. (2016).

4 Karıncaların ölüm ısırığının zamanlaması ve yüksekliği için *bkz.* Hughes ve diğ. (2011), Hughes (2013); yön bulma için *bkz.* Chung ve diğ. (2017). *Ophiocordyceps* mantarının ve marangoz karıncaların pek çok türü vardır ama her karınca türü sadece bir mantar türünün konağıdır ve her mantar türü sadece bir karınca türünü kontrol eder (de Bekker ve diğ. [2014]). Farklı mantar-karınca eşleşmelerinde belli ölüm yerleri seçilir. Bazı mantarlar, böcek avatarlarının ağaç dallarını, bazıları ağacın gövdesini, bazılarıysa yaprakları ısırmasını sağlar (Andersen ve diğ. [2009], Chung ve diğ. [2017]).

5 Mantarın karıncanın biyokütlesine oranı için *bkz.* Mangold ve diğ. (2019); karınca vücudundaki mantar ağının görselleştirilmesi için *bkz.* Fredericksen ve diğ. (2017).

6 Mantar manipülasyonunun kimyasal yolla gerçekleştiği varsayımı için *bkz.* Fredericksen ve diğ. (2017); *Ophiocordyceps*'in ürettiği kimyasallar için *bkz.* de Bekker ve diğ. (2014); *Ophiocordyceps* ve ergot alkaloidleriyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Mangold ve diğ. (2019).

7 Fosilleşmiş yapraklardaki yara izleri için *bkz.* Hughes ve diğ. (2011).

8 McKeṇna'dan alıntı için *bkz.* Letcher (2006), s. 258.

9 Schultes ve diğ. (2001), s. 9. Hayvanlar âleminde sarhoşlukla ilgili –bazen eleştirel olmasa da– geniş kapsamlı tartışmalar için *bkz.* Siegel (2005) ve Samorini (2002).

10 *Amanita muscaria* ile ilgili bir tartışma için *bkz.* Letcher (2006), Bölüm 7–9. Salem'deki cadı avlarında davalıların konvülzif ergotizmin etkisi altında olduğu varsayımını ileri sürenler olduysa da (Caporael, 1976 ve Matossian, 1982) bu görüşlere güçlü bir biçimde karşı çıkıldı (1976). Orta çağda ve Rönesans döneminde Aziz Anthony ateşi olarak bilinen ergot

zehirlenmesine bağlı hayaller ve psikolojik-ruhsal acının çağdaş cehennem tahayyüllerine esin kaynağı olduğu düşünülür. Bosch için *bkz.* Dixon (1984). Çiftlik hayvanları da ergot zehirlenmesine hassastır. "Uyku veren ot", "sarhoş eden ot" ve "sendeleten çavdar otu" isimleri ergot zehirlenmesinin sığır, at ve koyunlar üzerindeki etkilerinden kaynaklanır (Clay [1988]). Bunun dışında güçlü tıbbi etkileri de olan ergot mantarları asırlardır ebeler tarafından doğum sonrası kanamaları durdurmak amacıyla kullanılmıştır. Wellcome Vakfı'nın kurucusu girişimci Henry Wellcome, tahılda üreyen çavdarmahmuzunun tıbbi etkileriyle ilgili raporları araştırmıştı. Wellcome'ın kayıtlarına göre, on altıncı yüzyılda İskoçya, Almanya ve Fransa'da yaşamış ebeler, çavdarmahmuzunun rahim kasılmalarını uyarma ve doğum sonrası kanamayı kontrol altına almada "kayda değer ve kesin etki" gösterdiğini düşünüyorlardı. Erkek hekimler, doğum sonrası ağır kanamaların tedavisinde hâlâ kullanılmakta olan ergometrin adlı ilacın esasını oluşturan çavdarmahmuzunun tedavi edici etkilerini bu şifacı ve ebe kadınlardan öğrenmişlerdi (Dugan [2011], s. 20–21). Albert Hofman mantarları, doğumda kullanılan ilaçlar olarak ünlendikleri için 1930'larda Sandoz Laboratuvarları'nda araştırmaya başlamış ve bu araştırma programı 1938'de LSD'nin sentezlenmesiyle sonuçlanmıştı. Ergot alkaloidlerinin tarihçesi ve kullanım alanlarıyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Wasson ve diğ. (2009), "A Challenging Question and My Answer" (Zor Bir Soru ve Benim Yanıtım).

11 Psilosibin mantarının Meksika'da kullanımının tarihi için *bkz.* Letcher (2006), bölüm 5; Schultes (1940); Schultes ve diğ. (2001), "Little Flowers of the Gods" (Tanrıların Küçük Çiçekleri). Sahagún alıntısı için *bkz.* Schultes (1940).

12 Letcher (2006), s. 76.

13 McKenna ve Tassili resimleri ve alıntı için *bkz.* McKenna (1992), bölüm 6; McKenna ve Tassili resimleriyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Metzner (2005), s. 42–43; daha eleştirel bir tartışma için *bkz.* Letcher (2006), s. 37–38.

14 2019'da yayımlanan bir makalede, Bolivya'da bir kazıda çıkarılan, tilki burnundan yapılmış, bin yıldan daha eski bir kesedeki kalıntılar analiz edilmişti. Araştırmacılar kokain (koka ağacından elde edilen), DMT, harmin ve bufotenin gibi psikoaktif bileşiklerin kalıntılarını bulmuşlardı. Analiz sonucunda, psilosibinin yıkım ürünü olan psikoaktif özellikteki psilosine dair kesin olmayan deliller elde edilmişti; bu doğruysa şayet, psilosibin mantarlarının ritüel demetinde bulunduğunu düşündürür (Miller ve diğ. [2019]). Elefsis Gizemleri (tahıl ve hasat tanrıçası Demeter ile kızı Persephone onuruna yapılan kutlama) Antik Yunan'daki önemli dini kutlamalardan biriydi. Kutlamalar sırasında inisiyeler "kykeon" denen bir sıvı içerlerdi. Ardından hayaletler ve huşu uyandıran esrimeler ve hayaller tecrübe ederlerdi. Birçoğu bu tecrübenin kendilerini kalıcı olarak değiştirdiğini

söylüyordu (Wasson ve diğ. [2009], bölüm 3). Kykeon'un terkibi bir sır olarak özenle saklanmış olsa da zihinde değişim yaratan bir fermente içecek olması muhtemeldir. Atinalı aristokratların evdeki akşam partilerinde konuklarıyla birlikte kykeon içtiklerinin ortaya çıkması bir skandalın patlak vermesiyle sonuçlanmıştı (Wasson ve diğ. [1986], s. 155). Elefsis törenlerine ait kayıt listeleri olmadığı için törenlere kimlerin katıldığı kesin olarak bilinmiyor. Ne var ki Atinalıların çoğu inisiyeydi; ayrıca Euripides, Sofokles, Pindaros ve Esilos gibi tanınmış simaların da törenlere katılmış oldukları düşünülüyor. Platon *Şölen* ve *Phaedrus* adlı eserlerinde, Elefsis törenlerine açıkça atıfta bulunarak gizem inisiyasyonlarını az çok detaylı biçimde anlatmıştı (Burkett [1987], s. 91–93). Aristoteles açıkça Elefsis'teki gizemlere değilse de gizem inisiyasyonlarına atıfta bulunmuştu ki MÖ dördüncü yüzyılın ortasında Elefsis törenlerinin önemi göz önüne alınırsa bu gönderme muhtemelen Elefsis Gizemleri'yle uyumludur. Hofmann, Gordon Wasson ve Carl Ruck ile kykeon'un tahılda gelişen çavdarmahmuzu mantarından yapıldığı, kazara tüketiminin yol açtığı korkunç belirtilerin önüne geçmek için bir şekilde saflaştırıldığı varsayımını ortaya atmıştı (Wasson ve diğ. [2009]). McKenna'nın tahminine göre Elefsis'teki rahipler psilosibin mantarları dağıtıyordu (McKenna [1992], bölüm 8). Kimileri de afyon kapsüllerinden bir ilaç hazırladıklarını ileri sürmüştür. Kadim dinsel törenlerde mantarların kullanımıyla ilgili başka örnekler de var. Orta Asya'da, zihin değiştirici etkisi olan "soma" adlı içecek etrafında bir dinsel kült gelişmişti. Soma esrime hali yaratıyordu; MÖ 1500'lerden kalma kadim bir metin olan Rigveda'da, soma için yazılmış ilahiler yer alır. Kykeon gibi somanın da içeriği bilinmiyor. Kimileri –özellikle Wasson– somanın kırmızı-beyaz benekli *Amanita muscaria* mantarı olduğunu iddia ediyordu (konuyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Letcher [2008], Bölüm 8). McKenna –beklendiği üzere– psilosibin mantarlarının daha muhtemel adaylar olduğunu ileri sürmüştü. Kimileri de somanın esrar olduğunu düşünüyor. Elimizde bu görüşlerden herhangi birine dair kesin delil yok.

15 Kurgusal canavarlarla ilgili referans için *bkz.* Yong (2017). 2018'de Japonya'nın Ryukyus Üniversitesi'nden araştırmacılar, bazı ağustosböceği türlerinin, vücutlarında yaşayan *Ophiocordyceps* mantarlarını evcilleştirmiş olduğunu keşfettiler (Matsuura ve diğ. [2018]). Bitki özsuyuyla beslenen birçok böcek gibi ağustosböcekleri de bazı elzem besin elementlerinin ve vitaminlerin üretimi için simbiyotik bakterilere bağımlıdır ve onlar olmadan yaşayamazlar. Fakat Japon ağustosböceklerinin bazı türlerinde bakterilerin yerini *Ophiocordyceps* almıştır. Hiç beklenmedik bir şeydir bu. *Ophiocordyceps* mantarları milyonlarca yıl süresince öldürme becerilerini geliştirmiş etkili katillerdir. Buna rağmen *Ophiocordyceps* ağustosböcekleriyle çok eskilere dayanan ortak geçmişinde her nasılsa bu böceklerin vazgeçilmez hayat ortağına dönüşmüştür. Dahası bu dönüşüm, üç farklı

ağustosböceği soyunda en az üç kez gerçekleşmiştir. Evcilleşmiş *Ophiocordyceps* bize "faydalı" ve "parazit" mikroplar arasında her zaman net bir ayrım yapılamayacağını hatırlatır.

16 Bağışıklık sistemini baskılayan ilaçlar için *bkz*. Dünya Mantarlarının Durumu (2018), "Faydalı Mantarlar"; gençlik iksiri için *bkz*. Adachi ve Chiba (2007).

17 Coyle ve diğ. (2018); "uçuk kaçık" keşif için *bkz*. twitter.com/mbeisen/status/1019655132940627969 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

18 Enfekte olmuş sineklerin davranışı için *bkz*. Hughes ve diğ. (2016), Cooley ve diğ. (2018); "uçan ölüm tuzlukları" için *bkz*. Yong (2018).

19 Kasson çalışması için *bkz*. Boyce ve diğ. (2019) ve Yong'un tartışması (2018). Böceklerin davranışlarını yönlendiren mantarların konaklarını kontrol etmek için insan zihninde de değişikliğe neden olan kimyasalları kullanıyor olabileceği daha önce başka çalışmalarda da bildirildi; Meksika yerlilerinin bazı törenlerinde *Ophiocordyceps* mantarlarının kuzenleri psilosibin mantarlarıyla birlikte yenir (Guzmán ve diğ. [1998]).

20 Katinonun karıncalarda saldırganlığı artırdığı bildirilmiştir ve enfekte olmuş ağustosböceklerinde gözlemlenen hiperaktif davranışlardan da katinon sorumlu olabilir (Boyce ve diğ. [2019]).

21 *Bkz*. Ovidius (1958), s. 186; Amazon şamanizmi için *bkz*. Viveiros de Castro (2004); Yukagirler için *bkz*. Willerslev (2007).

22 *Bkz*. Hughes ve diğ. (2016). Nöromikrobiyoloji nispeten yeni bir alan ve bağırsak mikroplarının hayvanların davranışları, bilişi ve psikolojik durumları üzerindeki etkileri konusunda bildiklerimiz hâlâ bölük pörçük (Hooks ve diğ. [2018]). Bununla birlikte bazı örüntüler ortaya çıkmaya başladı. Örneğin sağlıklı bir bağırsak mikroflorasına sahip farelerde işlevsel bir sinir sistemi gelişir (Bruce-Keller ve diğ. [2018]). Ergenlik çağındaki farelerin mikrobiyomu, işlevsel bir sinir sistemi gelişmeden önce devre dışı bırakılırsa bellekle ilgili sorunlar ve nesneleri tanımada zorluk gibi bilişsel kusurlar ortaya çıkar (de la Fuente-Nunez ve diğ. [2017]). En çarpıcı örnekler farklı fare soyları arasında mikrobiyota değiştokuşu yapılan çalışmalarda görüldü. "Uysal" fare soylarına, "normal"soylardan dışkı nakli yapıldığında fareler temkini elden bırakır. Benzer şekilde "normal" fare soylarına "uysal" soylardan alınan mikroplar ekildiği zaman fareler "abartılı bir ihtiyat ve tereddüt" sergiler (Bruce-Keller ve diğ. [2018]). Bağırsak mikrobiyotasındaki farklılıklar farelerin ağrı deneyimini unutma yetisini etkiler (Pennisi [2019b], Chu ve diğ. [2019]). Bağırsak bakterilerinin birçoğu sinir sistemi aktivitesini etkileyen, nörotransmitterler ve kısa zincirli yağ asitleri (KZYA'lar) gibi kimyasallar üretir. Vücudumuzdaki serotoninin (fazla olduğunda mutlu, az olduğunda çökkün hissetmemize neden olan nörotransmitter) yüzde 90'ından fazlası bağırsaklarımızda üretilir ve bağırsak mikropları serotonin üretimini düzenlemede önemli rol

oynar (Yano ve diğ. 2015). İki çalışmada depresyondaki iki hastadan alınan dışkı mikrobiyotasını mikropsuz fare ve sıçanlara nakletmenin etkisi araştırılmıştı. Hayvanlarda kaygı, keyif alınan davranışlara yönelik ilgi kaybı gibi depresyon belirtileri baş göstermişti. Bu çalışmalar, bağırsak mikrobiyotasındaki dengesizliklerin depresyona yol açabildiğini, farelerdeki ve insanlardaki depresyondan aynı dengesizliklerin sorumlu olabileceğini düşündürüyor (Zheng ve diğ. [2016], Kelly ve diğ. [2016]). İnsanlarda yapılan çalışmalar bazı probiyotik tedavilerin depresyon ve kaygı belirtileriyle negatif düşünceleri azalttığını göstermiştir (Mohajeri ve diğ. [2018], Valles-Colomer ve diğ. [2019]). Ne var ki nöromikrobiyoloji alanının çevresinde milyar dolarlık bir sanayi dönüyor ve bazı araştırmacılar bulguların abartıldığı görüşünde. Bağırsaklardaki mikrop toplulukları karmaşık bir yapı gösterir ve manipülasyonları zordur. İşin içine giren o kadar çok değişken var ki çok az araştırmada belli mikropların etkisiyle belli davranışlar arasında bir nedensellik ilişkisi tanımlanabilmiştir (Hooks ve diğ. [2018]).

23 "Genişletişmiş fenotip"in tam açıklaması için *bkz*. Dawkins (1982); "kesin sınırlı spekülasyon" için *bkz*. Dawkins (2004); böcek davranışlarının genişletilmiş fenotip açısından mantarlar tarafından manipülasyonuyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Andersen ve diğ. (2009), Hughes (2013 ve 2014), Cooley ve diğ. (2018).

24 Psikedelik araştırmaların 1950'li ve 60'lı yıllardaki "ilk dalga"sıyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Dyke (2008) ve Pollan (2018), Bölüm 3.

25 Johns Hopkins çalışması için *bkz*. Griffiths ve diğ. (2016); NYU çalışması için *bkz*. Ross ve diğ. (2016); Griffiths ile görüşme için *bkz*. *Fantastic Fungi: The Magic Beneath Us*, yönetmen Louis Schwartzberg; "tedavi etkisi"nin boyutlarının kaydını da içeren bir tartışma için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 1.

26 Psilosibinin neden olduğu mistik deneyimlerle ilgili bir çalışma için *bkz*. Griffiths ve diğ. (2008); psikedelik yardımlı psikoterapide huşu duygusunun rolü için bkz. Hendricks (2018).

27 Psilosibinin tütün bağımlılığının tedavisindeki rolü için *bkz*. Johnson ve diğ. (2014 ve 2015); psilosibinin uyardığı "açıklık" ve yaşamdan tatmin duygusu için *bkz*. MacLean ve diğ. (2011); psikedeliklerin bağımlılık tedavisindeki rolü hakkında genel bir tartışma için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 6, Kısım 2; doğal dünyayla bağlantı hissi için *bkz*. Lyons ve Carhart-Harris (2018), Studerus ve diğ. (2011). Amerikan yerlilerinde alkolizm tedavisi için psikedelik bir kaktüs olan peyotenin kullanılması eski bir gelenektir. 1950'lerle 70'ler arasında yapılan bir dizi çalışmada psilosibin ve LSD'nin ilaç bağımlılığı tedavisinde kullanılma olasılığı araştırılmıştı. Olumlu etkiler bildiren raporlar yayımlandı. 2012'de yapılan bir meta-analizde en özenli tasarlanmış kontrollü çalışmaların verileri bir araya getirildi. Bu meta-analizde tek doz LSD'nin alkol kötüye kullanımı üzerinde altı aya varan sürelerde faydalı etkisi olduğu bildiriliyordu (Krebs ve Johansen [2012]).

Bu etkinin "doğal ekolojisi"ni araştırmak amacıyla tasarlanmış çevrimiçi bir ankette, Matthew Johnson ve meslektaşları, yaşadıkları psilosibin ya da LSD deneyiminin ardından tütün kullanımını azalttığını ya da tamamen bıraktığını bildiren üç yüz kişinin anlattıklarını analiz etmişlerdi (Johnson ve diğ. [2017]).

28 "Başlangıçta katı materyalist" için *bkz*. Pollan (2018), bölüm 4; dini inancın özünü oluşturan maddesel olmayan gerçeklik için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 2. Johns Hopkins'teki seanslarda rehber ya da gözlemci konumunda olan kişiler dahi dünyaya bakışlarının beklenmedik şekilde değiştiğini bildirmişlerdi. Onlarca psilosibin seansını izleyen bir rehber yaşadığı deneyimi şöyle anlatmıştı: "Başlangıçta ateist taraftaydım ama işimde her gün bu inançla ters düşen şeyler görmeye başladım. Psilosibin alan insanlarla birlikte oturdukça dünyam giderek daha gizemli bir hal aldı" (Pollan [2018], Bölüm 1).

29 Nöronların büyümesi ve mimarisi üzerinde psikedeliklerin etkisi için *bkz*. Ly ve diğ. (2018).

30 Psilosibin ve VMA için *bkz*. Carhart-Harris ve diğ. (2012), Petri ve diğ. (2012); LSD'nin beyin bağlantısallığı üzerindeki etkileri için *bkz*. Carhart-Harris ve diğ. (2016b).

31 Hoffer'dan alıntı için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 3.

32 Johnson'dan alıntı için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 6; depresyonun "katı kötümserliği"nin tedavisinde psilosibinin rolü için *bkz*. Carhart-Harris ve diğ. (2012).

33 Ego çözülmesi ve "birleşme" hakkında bir tartışma için *bkz*. Pollan (2018), önsöz ve Bölüm 5.

34 "Zihnin serin gecesi" ve "şatafatlı" için *bkz*. McKenna ve McKenna (1976), s. 8–9.

35 Whitehead'den alıntı için *bkz*. Russell (1956), s. 39; "kesin sınırlı" spekülasyon için *bkz*. Dawkins (2004).

36 Mantarların ilk kez ne zaman "sihirli" hale geldiğini kesin olarak belirlemek kolay değil. En basit yaklaşım psilosibin yapma yetisinin, psilosibin üreten mantarların en yakın zamanlı ortak atasından köken aldığını kabul etmektir. Ne var ki bu yaklaşım işe yaramaz çünkü 1) psilosibin mantar soyları arasında yatay geçişle aktarıldı (Reynolds ve diğ. [2018]) ve 2) psilosibin biyosentezi evrim sürecinde bir defadan fazla ortaya çıktı (Awan ve diğ. [2018]). Ohio Eyalet Üniversitesi'nden araştırmacı Jason Slot, psilosibin yapımı için gereken genlerin ilk olarak *Gymnopilus* ve *Psilocybe* cinslerinin atasında kümelenmiş olduğu varsayımına dayanarak, yetmiş beş milyon yıl öncesine dair bir tahminde bulunmuştur. Psilosibin gen kümesinin oluştuğu diğer durumlar yatay gen aktarımıyla meydana gelmiş olduğu için Slot tahmininin doğru olduğunu düşünüyor.

37 Psilosibin gen kümesinde yatay gen aktarımı için *bkz*. Reynolds ve diğ.

(2018); psilosibin biyosentezinin çoklu kökeni için *bkz*. Awan ve diğ. (2018).

38 Böceklerle mantarlar arasındaki bazı ilişkilerde daha muğlak bir manipülasyon var. Örneğin "guguk mantarları" termit yumurtalarına benzeyen ve gerçek termit yumurtalarında bulunan bir feromon üreten topçuklar oluşturarak termitlerin sosyal davranışını sermayeleştirir. Termitler yuvalarına taşıdıkları sahte yumurtalarla ilgilenir. İçlerinden termit çıkmayınca "yumurtalar" atık yığınına atılır. Besin elementlerinden zengin kompostla çevrili guguk mantarları çimlenir ve böylece diğer mantarlarla rekabete girmeden yaşayabilir (Matsuura ve diğ. [2009]).

39 Psilosibin içeren mantarları toplayan yaprak kesen karıncalar için *bkz*. Masiulionis ve diğ. (2013); psilosibin içeren mantarları yiyen tatarcık sinekleri ve diğer böcekler ve psilosibinin bir "tuzak" olduğu varsayımı için *bkz*. Awan ve diğ. (2018). Psilosibin saf kristal halinde pahalıdır ve sıkı kurallar psilosibinle ilgili araştırma yapmayı zorlaştırır. Psilosibinin böceklerin ve diğer omurgasızların davranışlarına ket vurduğuna dair bazı deliller mevcut. 1960'larda yapılmış, oldukça bilinen bir dizi deneyde araştırmacılar, ağ örme biçimlerini incelemek için örümceklere çeşitli ilaçlar vermişlerdi. Yüksek dozlarda psilosibin ağ örme davranışını tamamen ortadan kaldırmıştı. Daha düşük dozların uygulandığı örümcekler "daha ağır çekiyorlarmışçasına" gevşek ağlar örmüşlerdi. LSD ise aksine örümceklerin "alışılmadık biçimde düzgün" ağlar örmesine neden olmuştu (Witt [1971]). Son zamanlarda yapılan araştırmalarda, psilosibinin uyardığı serotonin reseptörlerini bloke eden bir kimyasal olan metitepin verilen meyve sineklerinde iştah kaybı olduğu bulundu. Bazılarına göre bu bulgu, psilosibinin etkisiyle sineklerin iştahının açıldığını ve bunun da muhtemelen mantar sporlarının dağılmasında rol oynadığını gösteriyor olabilir (Awan ve diğ. [2018]). Evergreen Eyalet Üniversitesi'nden biyokimyacı ve mikolog Michael Beug, psilosibinin caydırıcılığı varsayımına karşı çıkıyor. Şapkalı mantarlar meyvedir. Nasıl ki bir elma ağacının meyvesinin dikkat çekici olma sebebi, tohumlarının saçılmasını kolaylaştırmaksa, mantarlar da sporlarının saçılmasını kolaylaştırmak için sporokarp üretir. Beug'un işaret ettiği gibi psilosibin, bu maddeyi üreten türlerin sporokarplarında yüksek derişimlerde ama psilosibin üreten mantar türlerinin çoğunun miselyumunda yok denecek kadar az bulunur (ama bu bütün türler için geçerli değil: *Psilocybe caerulescens* ve *Psilocybe hoogshagenii/semperviva* miselyumları önemli miktarda psilosibin içerir). Oysa savunmaya en fazla ihtiyacı olan sporokarp değil miselyumdur. Psilosibin mantarları niye miselyumunu korumasız bırakırken meyvesini savunma zahmetine girer (Pollan [2018], Bölüm 2)?

40 Başka memelilerin de herhangi bir olumsuz etki görülmeksizin psilosibin içeren mantarları yedikleri biliniyor. Kuzey Amerika Mikoloji Derneği'ne gönderilen zehirlenme raporlarından sorumlu biyokimyacı ve mikolog

Beug, bu tür pek çok hikâyeyle karşılaşmış. "Atlarda ve ineklerde kazara olabilir de olmayabilir de," diyor Beug. Fakat öyle durumlar var ki hayvanlar sanki bu mantarları arıyorlar. "Bazı köpekler, sahiplerini psilosibin içeren mantarları toplarken görünce ilgilenir; sonra da bu mantarları tekrar tekrar yer ve ortaya çıkan etkiler dışarıdan bakan birine tanıdık gelir." Beug bugüne dek sadece bir kez "defalarca mantar yedikten sonra mantardan hayli 'kafayı bulmuş' görünen" bir kediyle ilgili bir raporla karşılaşmış.

41 Schultes (1940).

42 Wasson'ın *Life* dergisindeki makalesiyle ilgili bir tartışma ve makalenin eriştiği kitle için bkz. Pollan (2018), Bölüm 2 ve Davis (1996), Bölüm 4.

43 "Annemizin kuyruğundan ayrılmıyordu" için *bkz*. McKenna (2012). Geniş okur kitlesine sahip bir yayın organında bu konuda yayımlanan muhtemelen ilk hikâyenin yazarı gazeteci Sidney Katz'dı. Kanada'da yayımlanan popüler bir dergi olan Maclean's, Katz'ın "Çılgın Bir Adam Olarak Geçirdiğim On İki Saat" başlıklı bir makalesini yayımlamıştı Bu konuyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Pollan (2018), Bölüm 3.

44 Leary'nin "hayaller âlemine yolculuğu" hakkında bir tartışma ve Harvard Psilosibin Projesi için *bkz*. Letcher (2006), s. 198–201 ve Pollan (2018), Bölüm 3. Leary'den alıntı için *bkz*. Leary (2005).

45 Letcher (2006), s. 201 ve 54–55; Pollan (2018), Bölüm 3.

46 Sihirli mantarlara olan ilginin artmasıyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Letcher (2006), "Underground, Overground" (Yeraltı, Yerüstü); kültivasyon tekniklerinin geliştirilmesi hakkında bir tartışma için *bkz*. Letcher (2006), "Muck and Brass"; yetiştirici kılavuzu için *bkz*. McKenna ve McKenna (1976).

47 *The Mushroom Cultivator* (Mantar Yetiştiricisi) ve Hollanda ile İngiltere'den sihirli mantarlarla ilgili sahneler için bkz. Letcher (2006), "Muck and Brass."

48 Orta Amerika çayırlarında mantarlar kendiliğinden kolayca yetişir ve elimizde buradaki insanların mantar yetiştirdiğini düşündürecek bulgu yoktur.

49 Psilosibin içeren liken için *bkz*. Schmull ve diğ. (2014); psilosibin mantarlarının küresel dağılımı için *bkz*. Stamets (1996 ve 2005); "bol bulunur" için *bkz*. Allen ve Arthur (2005); psilosibin mantarlarının bütün dünyada keşfiyle ilgili bir anlatı için *bkz*. Letcher (2006), s. 221–25; "parklar, toplu konutlar" için *bkz*. Stamets (2005).

50 Schultes ve diğ. (2001), s. 23.

51 *Bkz*. James (2002), s. 300.

5. Köklerden Önce

1 Tom Waits/Kathleen Brennan, "Green Grass," *Real Gone* albümünden (2004).

2 Karasal bitkilerin evrimi için *bkz*. Lutzoni ve diğ. (2018), Delwiche ve Cooper (2015), Pirozynski ve Malloch (1975); bitkilerin biyokütlesi için *bkz*. Bar-On ve diğ. (2018).

3 İlk biyolojik toprak kabukları için *bkz*. Beerling (2019), s. 15, Wellman ve Strother (2015); Ordovisyen yaşam için *bkz*. web.archive.org/web/20071221094614/ http://www.palaeos.com/Paleozoic/Ordovician/Ordovician.htm#Life [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

4 Bitkilerin atalarını karada yaşamaya teşvik eden etkenler için *bkz*. Beerling (2019), s. 155. Bu konuda görüş birliğine varılamamış olması belki de şaşırtıcı değil. Bu görüş ilk olarak Kris Pirozynski ve David Malloch tarafından 1975'te yayımlanan "Karasal bitkilerin kökeni: bir mikotropizma meselesi" başlıklı makalede ileri sürüldü. Makaledeki iddiaya göre "karasal bitkiler asla [mantarlardan] bağımsız yaşamadılar çünkü öyle olsaydı karada hiçbir zaman kolonize olamazlardı." O dönem için radikal bir görüştü bu çünkü yaşam tarihindeki en önemli evrimsel gelişmelerden birinde simbiyozun başlıca kuvvet olduğunu varsayıyordu. Lynn Margulis bu fikri benimseyip geliştirdi ve simbiyozu, "yaşam medcezirini okyanusun derinliklerinden karaya ve havaya doğru çeken ay" olarak tanımladı (Beerling [2019], s. 126– 27). Mantarlar ve karasal bitkilerin evrimindeki rolleri için *bkz*. Lutzoni ve diğ. (2018), Hoysted ve diğ. (2018), Selosse ve diğ. (2015), Strullu-Derrien ve diğ. (2018).

5 Mikorizal ilişkiler kuran bitki türlerinin oranı için *bkz*. Brundrett ve Tedersoo (2018). Karasal bitkilerin mikorizal ilişkiler kurmayan yüzde yedisi parazitlik ya da etçillik gibi alternatif stratejiler geliştirmişlerdir. Bu rakam yüzde yedinin bile altında olabilir: Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, geleneksel olarak "mikorizal olmadığı" düşünülen –örneğin lahana ailesinde yer alan– bitkilerin, mikorizal olmayan mantarlarla ilişki kurduğu ve bu ilişkilerin bitkilere mikorizal ilişkilerdeki gibi fayda sağladığı gösterildi (van der Heijden ve diğ. [2017], Cosme ve diğ. [2018], Hiruma ve diğ. [2018]).

6 Deniz yosunlarındaki mantarlar –"mikofikobiyoz"– için *bkz*. Selosse ve Tacon (1998); "yumuşak yeşil küreler" için *bkz*. Hom ve Murray (2014).

7 Günümüzde yaşayan ve "ciğerotları" olarak adlandırılan bitki grubunun karasal bitkileri oluşturmak üzere ayrılan en eski soy olduğu ve dört yüz milyon yıldan eskiye uzanıyor olabileceği düşünülüyor. Bitki yaşamının başlangıç dönemi hakkında bize en iyi fikir veren *Treubia* ve *Haplomitrium* cinsi ciğerotları olabilir (Beerling [2019], s. 25). Fosillerin yanı sıra başka deliller de mevcut. Bitkilerin mikorizal mantarlarla haberleşmek için kullandığı kimyasal sinyallerden sorumlu genetik aygıtın yaşayan bütün bitki gruplarında özdeş olması, bütün bitkilerin ortak atasında bulunduğunu ima eder (Wang ve diğ. [2010], Bonfante ve Selosse [2010], Delaux ve diğ. [2015]). En eski karasal bitkilerin hayatta kalan ataları

–ciğerotları– mikorizal mantarların en eski soylarıyla ilişki kurar (Pressel ve diğ. [2010]). Dahası, zamanlamayla ilgili son tahminler mantarların, modern karasal bitkilerin atalarından daha önce karaya çıkmış olduğunu düşündürüyor ve bu da ilk bitkilerin mantarlarla karşılaşmamış olmalarının neredeyse imkânsız olduğunu gösteriyor (Lutzoni ve diğ. [2018]).

8 Köklerin evrimi için *bkz*. Brundrett (2002), Brundrett ve Tedersoo (2018).

9 Daha ince ve fırsatçı köklerin evrimi için *bkz*. Ma ve diğ. (2018). İnce köklerin çapı tipik olarak 100-500 mikron arasında değişir. En eski mikorizal mantar soyları –arbüsküler mikorizal mantarlar– arasında yer alan taşıyıcı hifler 20-30 mikron, onların ince emici hifleriyse 2-7 mikron çapındadır (Leake ve diğ. [2004]).

10 Toprak biyokütlesinin üçte biri ila yarısı için *bkz*. Johnson ve diğ. (2013); toprağın üstteki on santimetrelik kısmında bulunan mikorizal mantarların uzunluğuyla ilgili tahminler için *bkz*. Leake ve Read (2017). Bu tahminler farklı ekosistemlerde bulunan mikorizal miselyumların uzunluğuna dayanır; mikorizanın ve arazi kullanımının çeşidi hesaplamalarda göz önüne alınmıştır (Leake ve diğ. [2004]).

11 Frank'ın mikorizal mantarlarla ilgili çalışmaları için *bkz*. Frank (2005); Frank'ın çalışmalarıyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Trappe (2005).

12 Frank'ın deneylerinin tarifi için *bkz*. Beerling (2019), s. 129. Konuşmalarında Frank'ı eleştirenlerin başında, daha sonra Harvard Hukuk Okulu dekanı olan botanikçi Roscoe Pound geliyordu; Pound Frank'ın savlarını, içinde "muhakkak bir bityeniği olduğu"nu söyleyerek eleştirmişti. Pound, mikorizal mantarların "ağaca ait besinleri alarak muhtemelen ona zarar verdiği" fikrini savunmaya devam eden daha "aklı başında" araştırmacıların tarafını tutuyordu. "Her halükârda," diye esip gürlüyordu Pound, simbiyoz "taraflardan birine üstünlük sağlar ve diğer tarafın, eğer tek başına kalmış olsaydı, en az bu kadar iyi durumda olmayacağını asla bilemeyiz" (Sapp [2004]).

13 Tolkien (2014), "Ve minik bahçıvan" için *bkz*. cilt II, "Lórien'a veda"; "fidanlar dikti" için *bkz*. cilt III, "Gri Limanlar."

14 Devoniyen dönemdeki hızlı evrim için *bkz*. Beerling (2019), s. 152 ve 155; karbondioksit miktarındaki düşme için *bkz*. Johnson ve diğ. (2013), Mills ve diğ. (2017). Atmosferdeki karbondioksit miktarının düşmesini tetiklediği düşünülen başka etkenlerle ilgili varsayımlar da mevcut: Örneğin volkanik ve diğer tektonik aktiviteler sonucunda yayılan karbondioksit ve sera gazları. Volkanik aktivitelerle yayılan karbondioksit miktarı düştüyse, atmosferdeki karbondioksit de düşerek küresel soğuma dönemini başlatmış olabilir (McKenzie ve diğ. [2016]).

15 Devoniyen dönemdeki bitki patlamasında rol oynayan mikorizal destek için *bkz*. Beerling (2019), s. 162; mikoriza aktivitesine bağlı aşınmayla ilgili bir tartışma için *bkz*. Taylor ve diğ. (2009).

16 Mills, COPSE (Karbon, Oksijen, Fosfor, Kükürt ve Evrim) modelini kullanarak bu elementlerin uzun evrimsel süreç boyunca devam eden döngüselliğini "kara canlıları, atmosfer, okyanuslar ve çökeltilerin basitleştirilmiş bir temsili"yle inceliyordu (Mills ve diğ. [2017]).

17 Mills ve diğ. (2017); Field'ın eski çağlardaki iklimlere mikorizanın tepkisiyle ilgili deneyleri için *bkz*. Field ve diğ. (2012).

18 Mikorizal evrimle ilgili genel bir tartışma için *bkz*. Brundrett ve Tedersoo (2018). Bitkilerin kara hayatına geçişine yardım eden, otlaklarda ve tropikal ormanlarda yaşayan mantar grubunun –arbüsküler mikorizal mantarlar– tek bir kez evrildiği düşünülüyor. Bitki hücrelerinde tüysü loblar oluşturan mantarlar arbüsküler mikorizal mantarlardır. Ilıman iklim ormanlarında baskın olan ektomikorizal mantarlar ise altmışın üzerinde farklı zamanda birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkmıştır (Hibbett ve diğ. [2000]). Trüfleri de içeren bu mantarlar, Frank'ın on dokuzuncu yüzyılın sonlarında gözlemlediği gibi kendilerini bitkilerin kök uçlarına miselyum kılıf halinde sarar. Orkideler kendi evrimsel tarihçelerinde kendilerine has bir mikorizal ilişki türü geliştirmiştir. Yabanmersini ailesine (fundagiller) mensup bitkiler de öyle (Martin ve diğ. [2017]). Field ve meslektaşları 2000'lerin sonlarında keşfedilmiş, *Mucoromycotina* adlı tamamen farklı bir mikorizal mantar grubu üzerinde çalışıyorlar. Bütün bitkiler âleminde görülen ve ilk karasal bitkiler kadar eski olduğu düşünülen bu mantar, yıllarca süren çalışmalara rağmen uzun zaman fark edilmemişti. Gözümüzden kaçan başkaları da olabilir (van der Heijden ve diğ.[2017], Cosme ve diğ. [2018], Hiruma ve diğ. [2018], Selosse ve diğ. [2018]).

19 Çilek deneyleri için *bkz*. Orrell (2018); mikorizal mantarların bitki-tozlaştırıcı etkileşimleri üzerindeki etkisiyle ilgili bir çalışma için *bkz*. Davis ve diğ. (2019).

20 Fesleğen için *bkz*. Copetta ve diğ. (2006); domates için *bkz*. Copetta ve diğ. (2011), Rouphael ve diğ. (2015); nane için *bkz*. Gupta ve diğ. (2002); marul için *bkz*. Baslam ve diğ. (2011); enginar için *bkz*. Ceccarelli ve diğ. (2010); sarı kantaron ve ekinezya için *bkz*. Rouphael ve diğ. (2015); ekmek için *bkz*. Torri ve diğ. (2013).

21 Rayner (1945).

22 "Zekânın sosyal işlevi" için *bkz*. Humphrey (1976).

23 "Karşılıklı ödüller" için *bkz*. Kiers ve diğ. (2011). Kiers ve meslektaşlarının sonuçları, yapay bir sistem kullanmış olmalarından ötürü bu denli kesindir. Bitkiler normal bitkiler değil, kök "organ kültürleri", yani filizleri ya da yaprakları olmadan büyüyen bedensiz köklerdi. Bununla birlikte, toprakta yetişen tam bitkilerde de bitkilerin ve mantarların besin elementlerini ya da karbonu daha uygun ortaklara aktarabildiği gösterildi (Bever ve diğ. [2009], Fellbaum ve diğ. [2014], Zheng ve diğ. [2015]). Bitkilerle mantarların bu akışı nasıl düzenledikleri iyi bilinmemekle birlikte bu durum ilişkinin genel bir özelliği gibi görünüyor (Werner ve Kiers [2015]).

24 Bütün bitki ve mantar türlerinin aralarındaki alışverişi kontrol etme becerisi aynı değildir. Bazı bitki türleri tercihen kendileri için daha uygun olan mantar ortaklara karbon temin etme becerisine sahiptir. Bazı türlerse bu yetenekten yoksundur (Grman [2012]). Bazı bitkiler diğerlerine göre, mantar ortaklarına daha bağımlıdır. Toz benzeri tohumlar üreten bazı türler ortamda bir mantar bulunmuyorsa çimlenmediği halde birçok bitki çimlenir. Bazı bitkiler gençken mantara hiçbir şey vermez ama yaşlandıkça onu ödüllendirmeye başlar; Field bu yaşam tarzını "şimdi al, sonra öde" yaklaşımı olarak adlandırıyor (Field ve diğ. [2015]).

25 Kaynakların eşitsizliğiyle ilgili bir çalışma için *bkz.* Whiteside ve diğ. (2019).

26 Kiers ve meslektaşları ağdaki taşıma hızını ölçtüler ve akış yönündeki düzenli değişimlerin ya da dalgalanmaların yanı sıra azami hızın saniyede elli mikrondan fazla –pasif difüzyon hızının kabaca elli katı– olduğunu gözlemlediler (Whiteside ve diğ. [2019]).

27 Şartların mikorizal ilişkilerdeki rolü için *bkz.* Hoeksema ve diğ. (2010), Alzarhani ve diğ. (2019); fosforun bitkilerin "seçiciliği" üzerindeki etkisi için *bkz.* Ji ve Bever (2016). Bitki ve mantarlarda, aynı türden bireyler arasında dahi önemli bir çeşitlilik (varyasyon) bulunur (Mateus ve diğ. [2019]).

28 Yeryüzündeki tahmini ağaç sayısı için *bkz.* Crowther ve diğ. (2015).

29 Mikorizal araştırmalardaki bilgi boşluklarıyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Lekberg ve Helgason (2018).

30 Bitkiyle mantar arasındaki alışverişe ve bunun nasıl kontrol edildiğine dair bir tartışma için *bkz.* Wipf ve diğ. (2019). Bir çalışmada aynı anda iki farklı bitki türüyle (keten ve sorgum) bağlantısı olan tek bir mantarın, sorgumdan daha fazla karbon temin edebilmesine rağmen ketene daha çok besin elementi verdiği bulundu. Oysa maliyet-yarar analizine göre mantarın sorguma daha çok besin elementi vermesi beklenirdi (Walder ve diğ. [2012], Hortal ve diğ. [2017]). Bazı bitki türleri daha da uçlaşarak mikorizal ortaklarına hiç karbon vermez. Bu gibi örneklerde ortaklar arasındaki alışveriş göründüğü kadarıyla kısasa kısas usulüyle karşılıklı ödül prensibine dayanmaz. Elbette hesaba katmadığımız başka fayda ve maliyetler söz konusu olabilir ama bu kadar çok değişkeni aynı anda ölçmek zor. O nedenle çalışmaların çoğu karbon ve fosfor gibi kolay incelenebilen az sayıda parametreye odaklanır. Bu yaklaşım bize ince detaylar verir ama bulguların gerçek hayattaki karmaşık senaryoları yansıtmasını zorlaştırır (Walder ve van der Heijden [2015], van der Heijden ve Walder [2016]).

31 Mikorizal mantarların, orman dinamikleri üzerinde kıtasal ölçekteki etkisi için *bkz.* Phillips ve diğ. (2013), Bennett ve diğ. (2017), Averill ve diğ. (2018), Zhu ve diğ. (2018), Steidinger ve diğ. (2019), Chen ve diğ. (2019); Laurentide Buz Tabakası'nın geri çekilmesinin izleyen ağaç göçü için *bkz.* Pither ve diğ. (2018).

32 Britanya Kolumbiyası Üniversitesi'ndeki çalışma için *bkz*. Pither ve diğ. (2018) ve Zobel'ın yorumu (2018); bitkilerin fundalıkları mikoriza aracılığıyla gasp etmesi hakkında bir çalışma için bkz. Collier ve Bidartondo (2009); bitkilerle mikorizal ortaklarının birlikte göç etmesi hakkında *bkz*. Peay (2016).

33 Rodriguez ve diğ. (2009).

34 Osborne ve diğ. (2018), Geml ve Wagner'ın yorumuyla (2018).

35 İnvolüsyon için *bkz*. Hustak ve Myers (2012).

36 İklim değişikliğine adaptasyonda bitki-mantar ilişkilerinin rolüyle ilgili bir tartışma için *bkz*. Pickles ve diğ. (2012), Giauque ve Hawkes (2013), Kivlin ve diğ. (2013), Mohan ve diğ. (2014), Fernandez ve diğ. (2017), Terrer ve diğ. (2016); "endişe verici bozulma" için *bkz*. Sapsford ve diğ. (2017), van der Linde ve diğ. (2018). Mikorizal ilişkiler yerüstü dünyasının örüntüsünü birkaç yoldan, örneğin topraktaki besin maddesi döngülerini etkileyerek belirler. Topraktaki besin maddesi döngüleri kimyasal hava sistemleri olarak düşünülebilir. Farklı mantar çeşitlerinin düzenlediği kimyasal "iklim" hangi bitkilerin nerede yetiştiğini belirler. Buna karşılık farklı bitkilerin etkisi de mikorizal mantarların davranışları üzerinde geribeslenim etkisi gösterir. Bitki hücrelerinin içinde büyüyen kadim soy olan arbüsküler mikorizal (AM) mantarlar kimyasal hava sistemlerini, defalarca evrilmiş olan ve bitki kökleri etrafında bir miselyum kılıf halinde büyüyen ektomikorizal (EM) mantarlardan tamamen farklı biçimde yönlendirir. AM mantarlardan farklı olarak EM mantarlar serbest yaşayan ayrıştırıcı mantarların soyundan gelir. Sonuç olarak organik maddeyi ayrıştırmada arbüsküler mikorizal mantarlardan daha başarılıdırlar. Bu durum ekosistem ölçeğinde büyük fark yaratır. EM mantarlar, ayrışmanın daha yavaş olduğu daha soğuk iklimlerde serpilirken AM mantarlar ayrışmanın daha hızlı olduğu daha sıcak ve nemli iklimlerde çoğalır. EM mantarlar, serbest yaşayan ayrıştırıcılarla rekabet etme eğilimindedir ve karbon döngüsünü yavaşlatır. AM mantarlar serbest yaşayan ayrıştırıcıların etkinliğini destekleme eğilimi gösterir ve karbon döngüsünü hızlandırır. EM mantarlar toprağın üst katmanlarında daha fazla karbonun serbest kalmasına neden olur. AM mantarlar toprağın alt katmanlarına daha fazla karbonun sızıp orada sabitlenmesine neden olur (Phillips ve diğ. [2013], Craig ve diğ. [2018], Zhu ve diğ. [2018], Steidinger ve diğ. [2019]). Mikorizal ilişkiler bitkilerin birbirleriyle olan etkileşimlerini de etkiler. Bazı durumlarda mikorizal mantarlar bitkiler arasındaki rekabete dayalı etkileşimleri rahatlatarak, daha az baskın olan bitki türlerinin konumunu sağlamlaştırır (van der Heijden ve diğ. [2008], Bennett ve Cahill [2016], Bachelot ve diğ. [2017], Chen ve diğ. [2019]). Diğer bitkilerle olan ilişkilerindeyse, bitkilerin rakiplerini elemelerini sağlayarak çeşitliliği azaltır. Kimi örneklerde mikorizal topluluklarla bitkiler arasındaki geribeslenim nesiller boyu devam eder; bu durum "miras etkileri"

olarak adlandırılır (Mueller ve diğ. [2019]). Öldürücü çam kabuk böceğinin Kuzey Amerika'nın Batı Kıyısı'na olan etkileriyle ilgili bir çalışmada, genç çam fidelerinin hayatta kalma başarısının, mikorizal topluluklarının geldiği yere göre değiştiği bulundu. Kabuk böcekleri tarafından öldürülmüş erişkin çamların bulunduğu yerlerden alınmış mikorizal mantarlarla bir arada yetiştirilen fidelerde ölüm oranları daha yüksekti. Mikorizal topluluklar çam kabuk böceklerinin etkilerinin ağaçlarda nesiller boyu devam etmesine neden olmuştur (Karst ve diğ. [2015]).

37 Howard (1945), Bölüm 1 ve 2.

38 Üretimin iki katına çıkmasıyla ilgili olarak *bkz*. Tilman ve diğ. (2002); tarım kaynaklı sera gazı emisyonları ve rekoltenin platoya ulaşmasıyla ilgili olarak bkz. Foley ve diğ. (2005), Godfray ve diğ. (2010); fosfor gübresi kullanmanın işlevsizliği için *bkz*. Elser ve Bennett (2011); ürün kaybı için *bkz*. King ve diğ. (2017); otuz futbol sahası büyüklüğü için *bkz*. Arsenault (2014); küresel gıda talebi için *bkz*. Tilman ve diğ. (2011).

39 Çin'deki geleneksel tarım uygulamalarıyla ilgili bir çalışma için *bkz*. King (1911); Howard'ın "toprağın yaşamı"yla ilgili endişesi için bkz. Howard (1940); tarımın topraktaki mikrop topluluklarına verdiği zarar için *bkz*. Wagg ve diğ. (2014), de Vries ve diğ. (2013), Toju ve diğ. (2018).

40 Agroscope çalışması için *bkz*. Banerjee ve diğ. (2019); toprağı sürmenin mikorizal topluluklara olan etkisi için *bkz*. Helgason ve diğ. (1998); organik ve inorganik uygulamaların mikorizal topluluklara olan etkilerinin bir karşılaştırması için *bkz*. Verbruggen ve diğ. (2010), Manoharan ve diğ. (2017), Rillig ve diğ. (2019).

41 "Ekosistem mühendisleri" için *bkz*. Banerjee ve diğ. (2018); mikorizal mantarların toprak kaybını önlemedeki rolü için *bkz*. Leifheit ve diğ. (2014), Mardhiah ve diğ. (2016), Delavaux ve diğ. (2017), Lehmann ve diğ. (2017), Powell ve Rillig (2018), Chen ve diğ. (2018); mikorizal mantarların, toprağın su emilimine olan etkisi için *bkz*. Martínez-García ve diğ. (2017); toprakta depolanan karbon için bkz. Swift (2001), Scharlemann ve diğ. (2014); mantarlarda bağlı halde bulunan toprak karbonunun analizi için *bkz*. Clemmensen ve diğ. (2013), Lehmann ve diğ. (2017); topraktaki organizmalara ilişkin tahmini değerler için *bkz*. Berendsen ve diğ. (2012); şimdiye kadar yaşamış bütün insanların tahmini sayısı için *bkz*. www.prb.org/howmanypeoplehaveeverlivedonearth/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

42 Mikorizal mantarların bitkilerin strese karşı direnci üzerindeki etkisi için *bkz*. Zabinski ve Bunn (2014), Delavaux ve diğ. (2017), Brito ve diğ. (2018), Rillig ve diğ. (2018), Chialva ve diğ. (2018). Başka çalışmalarda, bitki köklerinde yaşayan endofitik mantarlarla aşılamanın tarım ürünlerinin kuraklığa ve ısı stresine tahammülünü çarpıcı biçimde artırdığı bulundu (Redman ve Rodriguez [2017]).

43 Mikorizal ilişkilerin tarım ürünleri üzerindeki öngörülemeyen sonuçları için *bkz*. Ryan ve Graham (2018), ayrıca *bkz*. Rillig ve diğ. (2019), Zhang

ve diğ. (2019); Field'ın mikorizal mantarlara ürün yanıtıyla ilgili çalışmaları için *bkz.* Thirkell ve diğ. (2017); farklı varyetelerin mikorizaya verdiği yanıtlar arasındaki değişkenlik için *bkz.* Thirkell ve diğ. (2019).

44 Ticari mikorizal ürünlerin etkinliğiyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Hart ve diğ. (2018), Kaminsky ve diğ. (2018). Tarım ürünlerini korumak için kullanılan, endofit mantar içeren ürünlerin sayısı giderek artıyor. 2019'da ABD Çevre Koruma Dairesi, bitkilere arılarla dağıtılması tasarlanmış mantar kökenli bir böcek öldürücünün kullanımını onayladı (Fritts [2019]).

45 *Bkz.* Kiers ve Denison (2014).

46 *Bkz.* Howard (1940), bölüm 11.

47 Bateson (1987), bölüm 4.94; Merleau-Ponty (2002), kısım 1, "The Spatiality of One's Own Body and Motility"

6. Orman Çapında Ağlar

1 Humboldt (1845), cilt 1, s. 33. Buradaki çeviri Anna Westermeier'a ait. "Ağ benzeri, karmaşık bir dokuma" ifadesi (*Eine allgemeine Verkettung, nicht in einfacher linearer Richtung, sondern in netzartig verschlugenem Gewebe, [. . .], stellt sich allmählich dem forschenden Natursinn dar*) 1849 tarihli İngilizce çeviride bulunmuyor.

2 Bahsi geçen Rus botanikçi, *Monotropa* ile ilgili tahminlerini 1882'de yayımlayan F. Kamiensky'dir (Trappe [2015]); radyoaktif glikoz ile yapılan bir çalışma için *bkz.* Björkman (1960).

3 Humboldt'un "ağ benzeri, karmaşık bir dokuma" ifadesiyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Wulf (2015), Bölüm 18.

4 Read'in radyoaktif karbondioksitle yaptığı çalışma için *bkz.* Francis ve Read (1984). Ortak mikorizal ağlar hakkında klasik bir incelemenin yazarı olan Edward I. Newmann 1988'de şu yorumu yapmıştı: "Bu yaygın görülen bir durumsa ekosistemlerin işleyişi üzerinde derin etkileri olabilir." Newman ortak mikorizal ağların etkileriyle ilgili beş yol tanımlamıştı: 1) fideler büyük bir hif ağına çabucak bağlanıp erken dönemde bu ağdan faydalanmaya başlayabilir; 2) bir bitki hif bağlantılarıyla bir başka bitkiden, "alıcı"nın büyüme ve yaşama şansını artırmaya yeterli olabilecek miktarda organik madde (örneğin enerji bakımından zengin karbon bileşikleri) alabilir; 3) bitkiler mineral besin elementlerini topraktan ayrı ayrı almak yerine ortak bir miselyum ağından temin ediyorlarsa, aralarındaki rekabet dengesi değişebilir; 4) mineral besin maddeleri bitkiden bitkiye geçerek rekabetçi üstünlüğü azaltabilir ve 5) ölen köklerden serbest kalan besin elementleri, toprak çözeltisine hiç girmeden hif bağlantıları yoluyla doğrudan canlı köklere geçebilir (Newman [1988]).

5 Simard ve diğ. (1997). Simard, Britanya Kolumbiyası'ndaki bir ormanda üç ağaç türünün fidelerini yetiştirmişti. Bu türlerden ikisi –kâğıt huşu ve Douglas göknarı– aynı mikorizal mantarla ilişki kurarken, üçüncü tür olan batı kızıl sediri oldukça alakasız bir mikorizal mantar çeşidiyle ilişki kurar.

Bu da Simard'ın huş ile göknarın ortak bir ağı paylaştığından, buna karşılık sedirin mantar bağlantılarına dahil olmaksızın sadece ortak bir kök alanını paylaştığından emin olabileceği anlamına geliyordu (fakat bu yaklaşım, bitkilerin bağlantısız olduğunu kesinkes göstermez; çalışma daha sonra bu açıdan eleştiri almıştı). Read'in önceki çalışmalarından önemli bir farkla Simard ağaç fidelerini işaretlenmiş iki farklı radyoaktif karbon izotopuna çiftler halinde maruz bıraktı. Tek izotopla karbonun bitkiler arasındaki *çift yönlü* hareketini izlemek mümkün olmaz. Alıcı bitkinin verici bitkiden işaretli karbon aldığını bulabilirsiniz ama verici bitki de alıcıdan aynı miktarda karbon alıyor olabilir ve bunu bilemezsiniz. Simard'ın yaklaşımıysa bitkiler arasındaki net karbon hareketini ölçmesini sağlamıştı.

6 Read (1997).

7 Kök greftleri için *bkz*. Bader ve Leuzinger (2019); "daha fazla vurgu" için *bkz*. Read (1997). Kök greftleri son yirmi-otuz yılda nispeten az ilgi çekmiş olmasına rağmen "canlı çotuklar" gibi ilginç bazı ilginç durumlarda rol oynar. Kök greftleri aynı bireyin, aynı türden farklı bireylerin, hatta farklı türden bireylerin kökleri arasında oluşabilir.

8 Barabási (2001).

9 Dünya Çapında Ağ'la ilgili bir çalışma için *bkz*. Barabási ve Albert (1999); ağ biliminde 1990'ların ortalarından bu yana meydana gelen gelişmelerle ilgili genel bir tartışma için *bkz*. Barabási (2014); "daha fazla ortak nokta" için *bkz*. Barabási (2001); "kozmik ağ" ve evrenin ağ yapısı için *bkz*. Ferreira'nın erişilebilir özeti (2019), ayrıca Gott (2016), Bölüm 9, Govoni ve diğ. (2019), Umehata ve diğ. (2019), Hamden'ın yorumu (2019).

10 Bitkiler arasında biyolojik açıdan anlamlı kaynak aktarımı olduğu sonucuna varan çalışmaların bir özeti için *bkz*. Simard ve diğ. (2015). "280 kilo" için *bkz*. Klein ve diğ. (2016) ve van der Heijden'in yorumu (2016). Klein ve diğ.nin çalışması (2016) bir ormandaki karbon aktarımını ölçmesi bakımından sıradışıydı. Ağaçların aynı yaşta olması, kaynakla yutak arasında aşikâr derişim farkları olmadığı anlamına geliyordu.

11 Elde edilen faydanın pek az ya da değişken olduğunu bildiren çalışmalar için *bkz*. van der Heijden ve diğ. (2009), Booth (2004). Genel olarak, bitkilerin açıkça fayda sağladığı sonucuna varılan deneylerde ektomikorizal mantarlar olarak adlandırılan grupla ilişki kuran türler incelenmişti. Daha muğlak etkiler bulunan çalışmalardaysa en eski gruplardan biri olan arbüsküler mikorizal mantarlar incelenmişti.

12 Araştırma grupları arasındaki görüşlerin çeşitliliği ve delillerin yorumlanmasındaki farklılıklarla ilgili bir tartışma için *bkz*. Hoeksema (2015). Sorun kısmen, doğal topraklarda çalışmak şöyle dursun, kontrollü laboratuvar koşullarında dahi ortak mikorizal ağlar üzerinde deney yapmanın karmaşık olmasından kaynaklanır. Her şeyden önce iki bitkinin aynı mantar aracılığıyla bağlantılı olduğunu göstermek çok zordur. Canlı sistemlerden kaçak

olur. Bir bitkiye uygulanan radyoaktif işaretleyici sayısız yoldan başka bitkiye ulaşabilir. Dahası, ağlar üzerinde yapılan herhangi bir deney, ağ oluşturan bitkilerle oluşturmayan bitkileri karşılaştırmak zorundadır. Sorun, ağların varsayılan mod olmasıdır. Bazı araştırmacılar, bitkiler arasındaki ince örgü bariyerlerin konumunu değiştirerek mantar bağlantı yollarını keser. Bazılarıysa bitkileri birbirinden hendeklerle ayırır ama bu müdahalelelerin ikincil hasara yol açıp açmadığını bilmek zor.

13 Mikoheterotrofinin birden fazla kökeni için *bkz*. Merckx (2013). Darwin büyük bir orkide meraklısıydı ve orkidelerin böylesine küçük tohumlarla nasıl yaşabildiği üzerine kafa yormuştu. Kew Bahçeleri'nin müdürü Joseph Hooker'a 1863'te gönderdiği mektupta, elinde "somut bir gerçek olmasa da" çimlenen orkide tohumlarının "kriptogamlar [ya da mantarlar] üzerinde yaşayan yavru parazitler" olduğuna dair "sağlam bir inanç" beslediğini yazmıştı. Mantarların orkide tohumlarının çimlenmesinde kritik önem taşıdığı ancak otuz yıl sonra gösterilebildi (Beerling [2019], s. 141).

14 Kar bitkisi için *bkz*. Muir (1912), Bölüm 8; "binlerce görünmez ip" için *bkz*. Wulf (2015), Bölüm 23. Muir bu temayı "sayısız kopmayan ip" gibi başka ifadelerle de tekrarlamıştı; daha iyi bilinen bir cümlesi şudur: "Bir şeyi seçip ayırmaya çalıştığımız zaman onun evrendeki diğer her şeye bağlı olduğunu anlarız."

15 Kaynak-yutak dinamikleri bitkide fotosentezi düzenler. Fotosentez ürünleri birikince fotosentez hızı azalır. Mikorizal mantar ağları karbon yutağı işlevi görerek bitkide fotosentezi hızlandırır ve bu nedenle fotosentez ürünlerinin, normalde olduğu gibi birikerek süreci yavaşlatmasını önler (Gavito ve diğ. [2019]).

16 Simard'ın gölgede yetiştirdiği göknar fideleri için *bkz*. Simard ve diğ. (1997); ölen bitkiler için *bkz*. Eason ve diğ. (1991).

17 Karbon akış yönünün değişimi için *bkz*. Simard ve diğ. (2015).

18 Bu evrimsel bulmacayla ilgili bir tartışma için *bkz*. Wilkinson (1998), Gorzelak ve diğ. (2015).

19 Kaynak fazlasının "kamu yararına" paylaşılması için *bkz*. Walder ve van der Heijden (2015). Bir diğer olasılık, alıcı bitkilerin çok sayıda farklı mantar türünü barındırmasıdır. A bitkisi, koşullar değiştiğinde B bitkisinin mantar topluluğundan fayda sağlayabilir. Mantar topluluklarının çeşitliliği çevresel koşulların belirsizliğine karşı güvence sunar (Moeller ve Neubert [2016]).

20 Ortak mikorizal bağlantılar aracılığıyla gerçekleşen akraba seçilimi için *bkz*. Gorzelak ve diğ. (2015), Pickles ve diğ. (2017), Simard (2018). Bazı eğrelti türleri akraba seçilimi ya da yavru "bakımı" için ortak mikorizal ağları kullanır; bunu muhtemelen milyonlarca yıldır yapıyorlar (Beerling [2019], s. 138–40). Bu eğrelti türlerinin (*Lycopodium*, *Huperzia*, *Psilotum*, *Botrychium* ve *Ophioglossum* cinslerinde) yaşamı iki evrelidir. Sporlar

çimlenerek "gametofit" denen bir yapıya dönüşür. Gametofitler fotosentez yapmayan, yeraltındaki küçük yapılardır. Döllenme bu yapılarda olur. Gametofit döllendikten sonra yerüstündeki erişkin "sporofit" evresine geçer. Sporofit fotosentezin gerçekleştiği yerdir. Gametofitler sadece yeraltında yaşayabilir çünkü karbonu erişkin sporofitlerle paylaştığı mikorizal ağlardan temin eder. Bu bir "şimdi al, sonra öde" örneğidir.

21 Çift yönlü taşınma için *bkz*. Lindahl ve diğ. (2001), Schmieder ve diğ. (2019).

22 Ortak mikorizal ağlara bitki katılımının faydalarını gösteren çalışmalar için *bkz*. Booth (2004), McGuire (2007), Bingham ve Simard (2011), Simard ve diğ. (2015).

23 Ortak mikorizal ağa katılmanın faydası olmadığını gösteren bir çalışma için *bkz*. Booth (2004); ortak mikorizal ağlar tarafından rekabetin güçlendirilmesi için *bkz*. Weremijewicz ve diğ. (2016), Jakobsen ve Hammer (2015).

24 "Mantar hız şeridi" ve mantarlarda zehirlerin taşınması için *bkz*. Barto ve diğ. (2011 ve 2012), Achatz ve Rillig (2014).

25 Hormonlar için *bkz*. Pozo ve diğ. (2015); mikorizal mantar ağları yoluyla çekirdek taşınması için *bkz*. Giovannetti ve diğ. (2004 ve 2006); parazit bir bitkiyle konağı arasında RNA taşınması için *bkz*. Kim ve diğ. (2014); bitkilerle mantar patojenler arasında RNA aracılı etkileşim için *bkz*. Cai ve diğ. (2018).

26 Mantar ağlarının bakteriler tarafından kullanılması hakkında *bkz*. Otto ve diğ. (2017), Berthold ve diğ. (2016), Zhang ve diğ. (2018); "hif içi" bakterilerin mantar metabolizmasına olan etkisi için *bkz*. Vannini ve diğ. (2016), Bonfante ve Desirò (2017), Deveau ve diğ. (2018); *Morchella crassipes* mantarının bakteri yetiştirmesi hakkında *bkz*. Pion ve diğ. (2013), Lohberger ve diğ. (2019).

27 Babikova ve diğ. (2013).

28 Domates bitkileri arasında bilgi aktarımı için *bkz*. Song ve Zeng (2010); Douglas göknarı ve çam fideleri arasında stres sırasındaki sinyalleşme için *bkz*. Song ve diğ. (2015a); Douglas göknarıyla çam fideleri arasındaki aktarım için *bkz*. Song ve diğ. (2015b).

29 Beiler ve diğ. (2009 ve 2015). Diğer çalışmalarda hangi türlerin etkileşime girdiğine bakılarak ortak mikorizal ağların mimari yapısı incelenmiştir ama bu çalışmalarda ekosistemdeki ağaçların uzamsal düzenlenmesi açıkça belirtilmemiştir. Southworth ve diğ. (2005), Toju ve diğ. (2014 ve 2016), Toju ve Sato'nun (2018) çalışmaları bunlar arasında yer alır.

30 Beiler'ın orman planında ağaçlar arasında rasgele çizgiler çekerseniz her ağacın benzer sayıda bağlantı kurduğunu görürsünüz. İstisnai derecede çok ya da az sayıda bağlantısı olan ağaçlar nadirdir. Ağaç başına düşen ortalama bağlantı sayısı hesaplanabilir ve ağaçların çoğunun bağlantı sayısı

buna yakındır. Ağ dilinde bu karakteristik düğüm ağ "ölçeği"ni temsil eder. Oysa gerçek hayatta durum farklıdır. Beiler'ın planlarında, Barabási'nin Ağ haritasında ya da uçakların rotalarını gösteren ağlarda bağlantıların büyük çoğunluğundan, çok sayıda bağlantıya sahip birkaç merkez sorumludur. Bu tip ağlardaki düğümler birbirinden o kadar farklıdır ki karakteristik düğüm diyebileceğimiz bir şeye rastlanmaz. Ölçeği olmayan bu ağlar "ölçeksiz" olarak tarif edilir. Barabási'nin 1990'ların sonlarında ölçeksiz ağları keşfetmesi, karmaşık sistemlerin davranışlarının modellemesinde kullanılabilecek bir çerçeve oluşturulmasını sağladı. Çok bağlantılı merkezlerle az bağlantılı olanlar arasındaki fark için *bkz.* Barabási (2014), "The Sixth Link: The 80/20 Rule" (Altıncı Bağlantı: 80/20 Kuralı); ölçeksiz ağların güvenlik açığı için *bkz.* Albert ve diğ. (2000) ve Barabási (2001); doğadaki ölçeksiz ağlarla ilgili bir tartışma için *bkz.* Bascompte (2009).

31 Ortak mikorizal ağların farklı türleri ve birbirine zıt mimarileriyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Simard ve diğ. (2012); farklı arbüsküler mikorizal ağların kaynaşmasıyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Giovannetti ve diğ. (2015). İki ağacın birbiriyle bağlantılı olması, bağlantılarının aynı şekilde olmasını gerektirmez. Örneğin bazı kızılağaç çeşitleri, kızılağaç dışındaki bitkilerle ilişkilenme eğilimi göstermeyen çok az sayıda mantar türüyle ilişki kurar. Yani birbirleriyle kapalı, içedönük ağlar oluşturan kızılağaçların yalnızcılığa (izolasyonizm) eğilimi vardır. Ormanlık bir alanın genel mimarisi açısından bakıldığında bir kızılağaç meşceresi iç bağlantıları iyi ama *ara* bağlantıları zayıf bir "modül" olarak düşünülür (Kennedy ve diğ. [2015]). Bu fikre aşinayız. Bir kâğıda tanıdığınız kişileri gösteren bir ağ çizin. Her bağlantıyı bir ilişki olarak düşünün. İlişkilerinizin kaçı eşdeğer? Kız kardeşinizle, kuzeninizle, mesai arkadaşınızla, ev sahibinizle olan ilişkilerinizi sosyal ağınızda eşdeğer bağlantılar olarak saydığınızda ne kaybedersiniz? Ağ bilimcisi Nicholas Christakis ve James Fowler, bir sosyal ağdaki belli bir bağlantının ne denli etkili olduğunu o bağlantının "bulaşıcılığı" ile tarif eder. Kız kardeşinizle ve ev sahibinizle aranızda sosyal bir bağlantı olabilir ama bu bağlantıların etki düzeyi, yani bulaşıcılığı birbirinden farklıdır. Christakis and Fowler'ın "üç dereceli etki" kuramına göre sosyal etki üç ayrılık derecesinden sonra azalır (Christakis ve Fowler [2009], Bölüm 1).

32 Prigogine ve Stengers (1984), Bölüm 1.

33 Ekosistemlerin karmaşık adaptif sistemler olması hakkında *bkz.* Levin (2005); ekosistemlerin doğrusal olmayan dinamik davranışı için *bkz.* Hastings ve diğ. (2018).

34 Simard'ın ortak mikorizal ağlarla nöral ağlar arasında kurduğu koşutluklar için *bkz.* Simard (2018). Diğer alanlarda çalışan araştırmacılar da aynı görüşü paylaşıyor. Manicka ve Levin (2019), biyolojik sorgulama alanları arasında ayrım yapan "tematik silolar" sorununu aşmak için, beyin işlevini

incelemek amacıyla şimdiye dek kullanılan araçların biyolojinin başka arenalarına aktarılması gerektiğini savunuyor. Nörobilimde beyindeki sinir bağlantılarının haritasına "konnektom" denir. Bir ekosistemin mikorizal konnektomunu çıkarmak mümkün mü? "Elimde sınırsız imkân olsaydı," diyor Beiler, "bir ormandan örneklem alırdım. İşte o zaman ağı –kimin tam olarak kiminle ve *nerede* ilişkili olduğunu– çok kesin biçimde görebilir, sisteme geniş açıdan bir bütün olarak bakabilirsiniz." Nörobilimde benzer bir yaklaşımla yapılmış bir çalışma için *bkz*. Markram ve diğ. (2015).

35 Simard (2018).

36 "Birçok mantar köklerle gevşek bir etkileşim kurar," diyor Selosse. "Örneğin trüf mantarlarını ele alalım. Mantarın resmi 'konağı' olan ağacın köklerinde büyüyen trüf miselyumunu bulabilirsiniz elbette. Fakat bu ağacın etrafındaki, normalde mantarın konağı olmayan ve genellikle mikorizal ilişkiler kurmayan bitkilerin köklerinde de bulabilirsiniz. Bu rastlantısal ilişkiler kesinllikle mikorizal değildir ama yine de vardır." Farklı bitkileri birbirine bağlayan, mikorizal olmayan mantarlar hakkında daha fazla bilgi için bkz. Toju ve Sato (2018).

7. Radikal Mikoloji

1 Le Guin (2017).

2 Bu ilk bitkiler –likofitler ve pteridofitler– nispeten az miktarda "gerçek" odun üretiyordu; bu bitkilerin çoğunlukla "periderm" denen ağaç kabuğu benzeri bir dokudan oluştuğu düşünülüyor. (Nelsen ve diğ. [2016]).

3 Üç trilyon ağaç için *bkz*. Crowther ve diğ. (2015). En iyi güncel küresel biyokütle dağılım tahminlerine göre bitkiler Dünya'nın toplam biyokütlesinin yaklaşık yüzde seksenini oluşturuyor. Bu oranın yaklaşık yüzde yetmiş beşinin "odunsu" sap ve gövdeden oluştuğu, dolayısıyla küresel biyokütlenin yüzde altmışa yakınının odundan meydana geldiği tahmin ediliyor (Bar-On ve diğ. [2018]).

4 Odunun bileşimi ve lignin ile selülozun görece bolluğu için *bkz*. Moore (2013a), Bölüm 1.

5 Odunun ayrıştırılması ve enzimatik yanma için *bkz*. Moore ve diğ. (2011), Bölüm 10.7, Watkinson ve diğ. (2015), bölüm 5; seksen beş gigaton için *bkz*. Hawksworth (2009); 2018'in küresel karbon bütçesi için *bkz*. Quéré ve diğ. (2018). Diğer önemli ayrıştırıcı mantar grubu, odunu kahverengiye çevirdikleri için bu isimle anılan kahverengi çürüklük mantarlarıdır. Bu mantarlar büyük oranda odunun selüloz bileşenini sindirir ama ayrıca radikal kimyasıyla ligninin parçalanmasını da hızlandırabilir. Yaklaşımları beyaz çürüklük mantarlarınınkinden biraz farklıdır. Serbest radikalleri kullanarak lignin moleküllerini birbirinden ayırmak yerine, oluşturdukları radikallerin ligninle etkileşime girip onu bakteriyel bozunmaya açık hale getirmesine neden olurlar (Tornberg ve Olsson [2002]).

6 Bu kadar çok odunun nasıl böylesine uzun süre çürümeden kaldığı önemli bir tartışma konusu olmuştur. *Science*'ta 2012'de yayımlanan bir makalede, David Hibbett'ın öncülüğünü yaptığı bir ekip beyaz çürüklük mantarlarında lignin peroksidazların evriminin, Karbonifer dönemin sonunda toprağa gömülen karbon miktarında görülen "keskin azalma"yla yaklaşık aynı zamana denk geldiğini savunuyordu; bu bulgu, Karbonifer dönemde oluşan tortulların, mantarlarda henüz lignini parçalama yetisi evrilmediğinden ortaya çıkmış olabileceğini düşündürüyordu (Floudas ve diğ. [2012], Hittinger'ın yorumuyla [2012]). Bu bulgu, ilk Jennifer Robinson'ın (1990) ileri sürdüğü varsayımı destekliyordu. 2016'da Matthew Nelsen ve diğ. bu varsayımı birkaç yönden çürüten bir makale yayımladılar: 1) Karbonifer tortullarını oluşturan, gömülü karbonun büyük bölümünden sorumlu olan bitkilerin birçoğu lignin üretmiyordu. 2) Lignin parçalayan mantarlar ve bakteriler Karbonifer dönemden önce de yaşamış olabilir. 3) Önemli kömür katmanları tahminen, beyaz çürüklük mantarlarında lignin parçalayan enzimlerin evrilmesinden sonra oluşmuştu. 4) Karbonifer dönemden önce lignin parçalanması gerçekleşmemiş olsaydı atmosferdeki bütün karbondioksit bir milyon yıldan kısa bir sürede ortadan kalkardı. *Bkz.* Nelsen ve diğ. (2016), Montañez'in yorumuyla (2016). Durum henüz açıklığa kavuşmadı. Ayrıştırmaya karşı karbon gömülmesinin görece hızlarını ölçmek kolay olmadığı gibi, beyaz çürüklük mantarlarının lignini ve kristal selüloz gibi odunun diğer sert bileşenlerini parçalama yetisinin küresel ölçekte karbon gömülmesi düzeylerine etkisi olmadığını düşünmek de zor (Hibbett ve diğ. [2016]).

7 Kömürün mantarlar tarafından parçalanması için *bkz.* Singh (2006), s. 14–15; "kerosen mantarı" (*Candida keroseneae*) bir mayadır (Buddie ve diğ. [2011]).

8 Hawksworth (2009). Ayrıca *bkz.* "mikolojinin biyolojideki diğer disiplinlerle aynı düzeyde bir alan olarak tanınması gerektiği"ni savunan Rambold ve diğ. (2013).

9 Antik Çin'de mikoloji için *bkz.* Yun-Chang (1985); modern Çin'de mikolojinin durumu ve küresel mantar üretimi için *bkz.* Dünya Mantarlarının Durumu (2018); mantar zehirlenmelerine bağlı ölümler için *bkz.* (2010).

10 Dünya Mantarlarının Durumu (2018); Hawksworth (2009).

11 Yurttaş biliminin yakın tarihi ve insanların çeşitli alanlarda araştırma projelerine katılmasına olanak tanıyan dijital bir platform olan "zooniverse" (hayvan evreni) hakkında bir tartışma için *bkz.* Lintott (2019) ve West'in bu yazıyla ilgili incelemesi (2019); AIDS kriziyle ilgili olarak "vasıfsız uzmanlar" hakkında klasik bir tartışma için *bkz.* Epstein (1995); bilime modern kitle kaynaklı katılımla ilgili bir tartışma için *bkz.* Kelty (2010); ekolojide yurttaş bilimi için *bkz.* Silvertown (2009); evde yapılan deneysel "tutumlu" bilimin tarihçesiyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Werrett (2019). Darwin'in çalışması dikkate değer bir örnektir. Darwin neredeyse hayatı

boyunca çalışmalarının hemen hemen hepsini evde yapmıştı. Pencere kenarında orkideler, meyve bahçesinde elmalar, terasta yarış güvercinleri ve topraksolucanları yetiştirmişti. Darwin, evrim kuramını destekleyen delillerin birçoğunu amatör hayvan ve bitki yetiştiricileri ağlarından elde etmişti; koleksiyoncuların ve bahçecilikle uğraşan meraklıların kurduğu örgütlü ağlarla yoğun biçimde yazışıyordu (Boulter [2010]). Günümüzde dijital platformlar yeni olanaklar sunuyor. 2018'in sonlarında ana deprem tespit sistemlerinden kaçan düşük frekanslı bir sismik uğultu bütün dünyayı dolaştı. İzlediği güzergâh ve niteliği, Twitter üzerinden doğaçlama haberleşen akademisyen ve yurttaş sismologların bir araya getirdiği verilerle anlaşıldı (Sample [2018]).

12 Mikolojide "kendin yap" yaklaşımının tarihçesi için *bkz.* Steinhardt (2018).

13 McCoy (2016), s. xx.

14 Tarımsal atıkla ilgili sayısal veriler için *bkz.* Moore ve diğ. (2011), Bölüm 11.6; Mexico City'deki bebek bezleri için *bkz.* Espinosa-Valdemar ve diğ. (2011) – plastik kısmı bırakıldığında bile kütle kaybı yüzde yetmiş gibi etkileyici bir orana ulaşmıştı. Hindistan'daki tarımsal atıklar için *bkz.* Prasad (2018).

15 Kretase-Tersiyer yok oluşu sırasında mantarların çoğalması için *bkz.* Vajda ve McLoughlin (2004); Hiroshima sonrası matsutake mantarları için *bkz.* Tsing (2015), "Önsöz." Tsing notlarında bu hikâyenin kaynağını saptamanın zor olduğunu yazar.

16 Sigara izmaritleri üzerinde yetişen *Pleurotus* videosu için *bkz.* radicalmycology.com/publications/videos/mushrooms-can-digest-cigarette-filters/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

17 Özgül olmayan mantar enzimleri ve toksinleri parçalama potansiyeliyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Harms ve diğ. (2011).

18 Amerikan Mikoloji Derneği 2015'te Stamets'a ödül verdi. Derneğin yaptığı resmi açıklamada Stamets "Mikoloji alanına çok büyük ve sürekli etkisi olan mikoloji topluluğunun son derece kendine has, kendi kendini eğitmiş bir üyesi" olarak tanıtıldı (fungi.com/blogs/articles/paul-receives-the-gordon-and-tina-wasson-award [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]). 2018'de Tim Ferris ile yaptığı bir söyleşide Stamets ödülün "mikoloji alanına tarihte hiç kimsenin kazandırmadığı kadar çok öğrenci kazandırdığı" için verildiğini söylemişti (tim.blog/2018/10/15/the-tim-ferriss-show-transcripts-paul-stamets/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]).

19 DMMP için *bkz.* Stamets (2011), "Kısım II: Mikorestorasyon." *Psilocybe azurescens*'ten bu bölümde bahsedilmemiştir. Stamets bunu kişisel görüşmemiz sırasında söylemişti.

20 Mantarların toksinleri parçalama yetisi için *bkz.* Harms ve diğ. (2011); mikoremediasyonla ilgili daha kapsamlı bir tartışma için *bkz.* McCoy (2016), Bölüm 10.

21 Miselyum otobanları için *bkz*. Harms ve diğ. (2011); *E. coli*'nin mikofiltrasyonu için *bkz*. Taylor ve diğ. (2015); Finlandiya'da elektronik atıklardaki altını miselyum kullanarak geri kazanan şirket için *bkz*. www.vttresearch.com/media/news/filter-developed-by-vtt-helps-recover-80-of-gold-in-mobile-phone-scrap [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]. Bazı çalışmalarda, Çernobil'deki nükleer serpinti sonrası radyoaktif sezyum bakımından zengin mantarlar bulunduğu bildirilmişti (Oolbekkink ve Kuyper [1989], Kammerer ve diğ. [1994], Nikolova ve diğ. [1997]).

22 Mantarların ek ihtiyaçlarıyla ilgili bir tartışma için *bkz*. Harms ve diğ. (2011); zorluklar için *bkz*. McCoy (2016), Bölüm 10.

23 CoRenewal için *bkz*. corenewal.org [erişim tarihi 29 Ekim 2019]; Kaliforniya yangınlarından sonra mantarlarla yapılan çevre temizliği için *bkz*. newfoodeconomy.org/mycoremediation-radical-mycology-mushroom-natural-disaster-pollution-clean-up/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019]; Danimarka limanındaki *Pleurotus* çoğalması için *bkz*. www.sailing.org/news/87633.php#.XCkcIc9KiOE [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

24 Poliüretan sindiren mantar için *bkz*. Khan ve diğ. (2017); plastiği sindiren bir başka mantar örneği için bkz. Brunner ve diğ. (2018). Mushroom Mountain (Mantar Dağı) organizasyonundan mikolog Tradd Cotter, sıra dışı yerlerden mantar toplamak için kitle kaynaklı bir girişim yürütüyor; *bkz*. newfoodeconomy.org/mycoremediation-radical-mycology-mushroom-natural-disaster-pollution-clean-up/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

25 Mary Hunt için *bkz*. Bennett ve Chung (2001). "Kitle"yi oluşturanların "bilim insanı olmaması" gibi bir koşul yok. 2017'de *Nature*'da Dünya Mikrobiyom Projesi'nin yayımladığı bir çalışma sıradışı yöntemleriyle dikkati çekmişti. Araştırmacılar küresel mikrop çeşitliliğini inceleyen bir araştırma için dünyanın her yerindeki bilim insanlarına iyi muhafaza edilmiş örnekler göndermeleri için çağrı yapmışlardı (Raes [2017]).

26 Darwin, bir papaz olan kuzeniyle her yıl son varyeteleri çaprazlayarak en büyük armudu yetiştirmek için rekabet ederdi. Bu yarışma ailede eğlence konusu haline gelmişti. *Bkz*. Boulter (2010), s. 31.

27 Wu San Kwung için *bkz*. McCoy (2016), s. 71; "Paris" mantarları için *bkz*. Monaco (2017); Avrupa'da mantar yetiştiriciliğinin genel tarihçesi için bkz. Ainsworth (1976), Bölüm 4. Paris'te araba sahibi olanların sayısı azaldığı için, yeraltında mantar yetiştirme hikâyesinin farklı ve modern bir biçimi ortaya çıkmış, yeraltı otoparklarının bir kısmı yenebilir mantar çiftliklerine dönüştürülmüş; *bkz*. www.bbc.co.uk/news/av/business-49928362/turning-paris-s-underground-car-parks-into-mushrooms-farms [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

28 İnsan, mantarları hazırlayıp kullanan tek tür değil. Kuzey Amerika sincaplarının bazı türlerinin mantarları kurutup daha sonra kullanmak için zuladığını biliyoruz (O'Regan ve diğ. [2016]).

29 *Macrotermes* yuvalarının yaşı için bkz. Erens ve diğ. (2015); *Macrotermes* toplumlarının karmaşıklığı için *bkz*. Aanen ve diğ. (2002).

30 *Macrotermes*'te sindirim ve üretken metabolizmalar hakkında bir tartışma için *bkz*. Aanen ve diğ. (2002), Poulsen ve diğ. (2014), Yong (2014).

31 "Özel mülk" yiyen termitler için *bkz*. Margonelli (2018), bölüm 1; kâğıt para yiyen termitler için *bkz*. www.bbc.co.uk/news/world-south-asia-13194864 [erişim tarihi 29 Ekim 2019]; Stamets'ın böcek öldürücü mantar ürünleri için *bkz*. Stamets (2011), "Mycopesticides." 2019'da *Science*'ta yayımlanan bir çalışmada, genetik olarak değiştirilmiş bir *Metarhizium* suşunun Burkina Faso'da deneysel, "doğala yakın bir ortamda" neredeyse bütün sivrisinekleri ortadan kaldırdığını bildiriyordu. Araştırmacılar, genetik olarak değiştirilmiş *Metarhizium* suşunun sıtmanın yayılmasını önlemek için kullanılmasını öneriyorlardı (Lovett ve diğ. [2019]).

32 Toprağı "uyandırmak" hakkında *bkz*. Fairhead ve Scoones (2005); termit toprağının faydaları için bkz. Fairhead (2016); Fransız garnizonunun uğradığı tahribat için *bkz*. Fairhead ve Leach (2003).

33 Ruhsal hiyerarşiler için *bkz*. Fairhead (2016). Gine'nin bazı kesimlerinde insanlar evlerinin duvarlarını *Macrotermes* yuvalarından topladıkları toprakla sıvar (Fairhead [2016]).

34 Mantardan yapılan malzemeler için *bkz*. Haneef ve diğ. (2017), Jones ve diğ. (2019); portabello mantarları ve piller için *bkz*. Campbell ve diğ. (2015); mantardan elde edilen deri ikamesi için *bkz*. Suarato ve diğ. (2018).

35 Mantarlardan elde edilen, termite karşı dayanıklı malzemeler için *bkz*. phys.org/news/2018-06-scientists-material-fungus-rice-glass.html [erişim tarihi 29 Ekim, 2019]. 2014'te New York Modern Sanat Müzesi'nin PS1 galeri pavyonunda ve Hindistan'ın Koçi kentindeki Miselyum Kabuk Enstalasyonu gibi üst düzey sergilerde miselyumdan elde edilen yapı malzemeleri kullanılmıştı.

36 NASA'nın uzayda mantarlarla mimari yapılar inşa etme projesi için *bkz*. www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2018_Phase_I_Phase_II/Myco-architecture_off_planet/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019]; mantarlardan yapılan "kendi kendini onaran" beton için *bkz*. Luo ve diğ. (2018).

37 Odun-miselyum kompoziti yapmak için talaş ve mısır sulu bulamaç haline getirilir. Karışıma mantar miselyumu ekildikten sonra bulamaç plastik kalıplara dökülür. Miselyum substratın içinde "uzadıkça" birbirine kenetlenmiş miselyumla kısmen sindirilmiş odundan bir döküm yapı oluşur. Deri ve yumuşak köpüğün hikâyesi daha farklıdır. Miselyum ekilmiş substrat kalıplara dökülmek yerine levhaların üzerine yayılır. Büyüme koşullarını kontrol ederek miselyumun yukarı, havaya doğru büyümesi sağlanır. Bir haftadan kısa bir süre içinde oluşan süngerimsi tabaka hasat edilebilir. Sıkıştırılıp tabaklandıktan sonra deriye son derece benzeyen bir malzemeye dönüşür. Olduğu gibi kurutulursa köpük elde edilir.

38 Bayer'ın uzun vadeli hedefi miselyumun fiziksel yapıları oluştururkenki biyofiziğini anlamak. "Mantarları molekülleri yerli yerine koyan nanoteknoloji montajcıları olarak düşünüyorum," diyor. "Mikroliflerin üçboyutlu oryantasyonunun malzemelerin özelliklerini –mukavemetini, sağlamlığını ve esnekliğini– nasıl etkilediğini anlamaya çalışıyoruz." Bayer'ın hayali genetik olarak programlanabilir mantarlar geliştirmek. Bu düzeyde bir kontrolle "farklı bir malzemeyi üretebileceğiz. Bu yolla mantara gliserin gibi plastisiteyi artıran bir bileşiği bile salgılatabilirsiniz. O zaman doğal haliyle daha esnek ve su geçirmez bir şey elde edersiniz. O kadar çok şey yapabilirsiniz ki." Burada asıl vurgu *yapabilirsiniz* kelimesinde. Mantar genetiği çetrefillidir ve iyi anlaşılamamıştır. Bir geni yerleştirdikten sonra mantarın o geni ifade etmesi ile geni kararlı ve öngörülebilir biçimde ifade etmesi birbirinden farklı şeylerdir. Genetik komutlarla mantar davranışını programlamaksa bambaşka bir şeydir.

39 Mantarları mimari yapılarda kullanmanın emsali olmadığından sıfırdan başlayıp çok fazla araştırma yapmak gerekiyor. Bu Bayer için basit üretimden daha önemli bir odak noktası. Son on yıl içinde araştırmalara 30 milyon doların üstünde yatırım yapmışlar. Miselyumla bu şekilde çalışmak için yeni yöntemler, mantarı büyümeye ve farklı davranmaya teşvik etmek için yeni yollar bulmak gerekir.

40 FUNGAR için *bkz.* info.uwe.ac.uk/news/uwenews/ news.aspx?id=3970 ve www.theregister.co.uk/2019/09/17/like_computers_love_fungus/ [her ikisi için de erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

41 Tozlaştırıcıların önemi ve azalması hakkında *bkz.* Klein ve diğ. (2007), Potts ve diğ. (2010); varroa akarlarının yol açtığı sorunlar için *bkz.* Stamets ve diğ. (2018).

42 Mantar kökenli antiviral bileşikler için *bkz.* Linnakoski ve diğ. (2018); BioShield Projesi'yle ilgili bir tartışma için *bkz.* Stamets (2011), Bölüm 4. Stamets agarikon (*Laricifomes officinalis*), chaga (*Inonotus obliquus*), reishi (*Ganoderma spp.*), huş mantarı (*Fomitopsis betulina*) ve hindi kuyruğu mantarının (*Trametes versicolor*) bilinen en güçlü antiviral etkinliğe sahip mantar olduğunu söylemişti. Mantarlarla tedavi yöntemlerine ilişkin en zengin tarihî belgeler, tıbbi mantarlara en az iki bin yıldır farmakopesinde çok önemli bir yer veren Çin'e aittir. MÖ 200 civarına tarihlendirilen ve çok daha eskiye dayalı geleneksel sözlü anlatıların bir derlemesi olduğu düşünülen, şifalı bitkilerle ilgili bir klasik olan *Shennong Ben Cao*, bugün hâlâ tıbbi olarak kullanılan reishi (*Ganoderma lucidum*) ve *Polyporus umbellatus* gibi mantarları da içerir. En fazla saygı gösterilen mantarlardan biri olan reishi mantarının tasvirlerine pek çok resimde, oyma eser ve nakışta rastlanır (Powell [2014]).

43 Stamets ve diğ. (2018).

8. Mantarları Anlayabilmek

1 Haraway (2016), Bölüm 4.

2 İnsan mikrobiyomundaki mayalar için *bkz.* Huffnagle ve Noverr (2013). Maya genomunun dizi analizi için bkz. Goffeau ve diğ. (1996); mayayla ilgili Nobel Ödülleri için *bkz.* Dünya Mantarlarının Durumu (2018), "Faydalı Mantarlar."

3 Mayalı içki üretimiyle ilgili ilk uygulamalar için bkz. Money (2018), Bölüm 2.

4 Lévi-Strauss (1973), s. 473.

5 Mayanın evcilleştirilmesi hakkında *bkz.* Money (2018), Bölüm 1; Legras ve diğ. (2007); ekmekten önce bira için *bkz.* Wadley ve Hayden (2015), Dunn (2012). Tarımın gelişmesi insanların mantarlarla olan ilişkilerini etkiledi. Bitkilerde hastalık yapan birçok patojen mantarın tarım ürünlerine koşut evrildiği düşünülüyor. Günümüzde de evcilleştirme ve kültivasyon patojen mantarlara yeni fırsatlar sunmaktadır (Dugan [2008], s. 56).

6 *Sacred Herbal and Healing Beers* adlı mükemmel kitaptan ilham almıştım (Buhner [1998]).

7 Sümerler ve *Mısır'ın Ölüler Kitabı* için *bkz.* Katz (2003), Bölüm 2; Ch'orti' için *bkz.* Aasved (1988), s. 757; Dionysos için *bkz.* Kerényi (1976) ve Paglia (2001), Bölüm 3.

8 Biyoteknolojide mayaların kullanımıyla ilgili bir tartışma için *bkz.* Money (2018), Bölüm 5; Sc2.0 için *bkz.* syntheticyeast.org/sc2-0/introduction/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

9 Dokunaklı dizeler için *bkz.* Yun-Chang (1985); Yamaguchi Sodo alıntısı Tsing'den (2015), "Önsöz"; Magnus alıntısı, Letcher'den (2006), s. 50; Gerard alıntısı, Letcher'den (2006), s. 49.

10 Wasson ve Wasson (1957), cilt II, Bölüm 18. Wasson'lar dünyanın büyük bölümünü kategorilere ayırmışlardı. Anglo-Saksonlar ve İskandinavların yanı sıra, ABD (Wasson Amerikalıydı) mikofobikti. Slavlar ve Katalanlarla birlikte Rusya (Valentina Rus'tu) mikofilikti. Wasson'lar "her zaman mikofobik olan Yunanlar"ı küçümsüyorlardı. "Antik Yunan yazılarında başından sonuna mantarlar için kullanılmış hayranlık ifade eden tek bir sözcüğe bile rastlamayız." Durum bu kadar basit değil elbette. İkili bir sistem oluşturan Wasson'lar aynı zamanda bu sistemin keskin sınırlarını ilk yumuşatanlar olmuştu. Finlerin "gelenekten mikofobik" olduklarını gözlemlemişlerdi ama Rusların tatil için gittikleri bölgelerde yaşayanlar "birçok türü öğrenmiş ve sevmişti." Wasson'lar, bu değişimi geçiren Finlerin, oluşturdukları iki kutuplu sistemde nereye düştüğünü söylemiyorlardı.

11 Mantarların ve bakterilerin yeniden sınıflandırılması hakkında *bkz.* Sapp (2009), s. 47; mantar taksonomisinin tarihiyle ilgili bir tartışma için *bkz.* Ainsworth (1976), Bölüm 10.

12 Theophrastus için *bkz.* Ainsworth (1976), s. 35; mantarların yıldırım düşmesiyle olan ilişkisi ve Avrupalıların mantarları anlamasıyla ilgili genel bir

tartışma için *bkz*. Ainsworth (1976), Bölüm 2; "Mantarlar Takımı" ve mantar taksonomisinin genel tarihi için *bkz*. Ramsbottom (1953), Bölüm 3.

13 Money (2013).

14 Raverat (1952), s. 136.

15 Mantar sınıflamasını düzenlemeye yönelik kaydedilmiş ilk taksonomik girişimlerden biri, 1601'de mantarların insan vücuduyla olan ilişkilerine göre "yenebilir" ve "zehirli" başlıkları altında iki kategoriye ayrılmasıydı (Ainsworth [1976], s. 183). Bu hükümler nadiren anlamlıdır. Bira mayası ekmek ve alkol yapımında kullanılabilir ama kana karıştığı zaman hayatî tehlike yaratan bir enfeksiyona da neden olabilir.

16 "Mutualizm", kelime dağarcığına girdikten sonra yirmi-otuz yıl boyunca ilk anarşist düşünce ekolünü tarif eden, açıkça politik bir anlamda kullanılmıştı. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında Alman biyologlar "organizma" kavramına da doğrudan politik bir anlam yüklemişlerdi. Rudolf Virchow işbirliği içinde çalışan birbirinden bağımsız yurttaşların sağlıklı ulus-devleti oluşturması gibi, organizmanın da her biri bütünün iyiliği için işbirliği yapan bir hücreler topluluğu olduğunu düşünüyordu (Ball [2019], Bölüm 1).

17 "Sınırlarına yakın duruyordu" için *bkz*. Sapp (2004). Darwin'in doğal seçilim yoluyla evrim teorisi, Thomas Malthus'un gıda kaynakları ve insan nüfusuyla ilgili analizi ve Adam Smith'in piyasa teorisi arasındaki ilişki dikkate değer bir akademik ilgi odağı olmuştu. Örnek olarak *bkz*. Young (1985).

18 Sapp (1994), Bölüm 2.

19 Sapp (2004).

20 Needham için *bkz*. Haraway (2004), s. 106; Lewontin (2000), s. 3.

21 Hollanda Vrije Üniversitesi'nden Profesör Toby Kiers, "biyolojik pazar çerçevesi"ni bitki-mantar etkileşimlerine uygulamanın önde gelen destekçilerindendir. Hayvan davranışı üzerinde düşünmek için onlarca yıldır kullanılan biyolojik pazarlar yeni bir fikir değil. Fakat Kiers ve meslektaşları bu fikri beyni olmayan organizmalara ilk kez uyguladılar (örneğin *bkz*. Werner ve diğ. [2014], Wyatt ve diğ. [2014], Kiers ve diğ. [2016], Noë ve Kiers [2018]). Kiers'a göre ekonomi metaforları, yardımcı araştırma araçları olan ekonomi modellerini destekler. "Mesele beşeri ekonomik pazarlarla benzerlik kurmaya çalışmak değil," diyor Kiers, "bu yaklaşım sınanabilir tahminlerde bulunmamızı sağlar." Bitkilerle mantarlar arasında gerçekleşen baş döndürücü çeşitlilikteki alışverişi "karmaşıklık" ya da "bağlama bağımlılık" gibi belirsizliklere sürüklemektense, ekonomi modelleriyle yoğun etkileşim ağlarını parçalamak ve temel hipotezleri sınamak mümkün hale gelir. Kiers, bitkilerle mikorizal mantarların karbon ve fosfor alışverişini düzenlemek için "karşılıklı ödüller" kullandıklarını bulduktan sonra biyolojik pazarlarla ilgilenmeye başlamış. Bir mantardan daha çok fosfor

alan bitkiler ona daha fazla karbon temin eder; daha çok karbon alan mantarlar bitkiye daha fazla fosfor temin eder (Kiers ve diğ. [2011]). Kiers'a göre pazar modelleri bu "stratejik ticari davranışlar"ın nasıl evrildiğini ve farklı koşullarda nasıl değişebileceğini anlamamızı sağlayabilir. "Şimdiye dek, farklı deneyler düzenlememize yardım ederek bile çok faydalı bir araç oldu," diyor Kiers. "Diyebiliriz ki 'Kuram, biz ortak sayısını artırdıkça ticaret stratejisinin kaynaklara bağlı olarak belli biçimde değişeceğini ileri sürer.' Bu da bir deney düzenlememize olanak tanır: Hadi ortakların sayısını değiştirelim ve stratejinin gerçekten de fark yaratıp yaratmadığını görelim. Katı bir protokolden çok, yeni bir fikrin denenmesidir bu." Bu durumda pazar çerçeveleri bir araç, dünyayla ilgili soruları formüle etmemize ve yeni bakış açıları geliştirmemize yardım eden, insan etkileşimlerine dayalı bir öyküler kümesidir. Kropotkin'in yaptığı gibi, insan davranışlarını incelerken insan olmayan organizmaların davranışlarını esas almamız gerektiğini söylemek değildir. Bitkilerle mantarların akılcı kararlar veren kapitalist bireyler olduğunu söylemek de değildir. Öyle olsalardı bile davranışları belli bir beşeri ekonomik modele mükemmel uymazdı elbette. Herhangi bir iktisatçı, beşeri pazarların uygulamada "ideal" pazarlar olmadığını itiraf eder. İnsanın ekonomik hayatının dağınık ve karmaşık yapısı, onu barındırmak için inşa edilmiş modellerin sınırlarını aşar. Ve aslında mantarların yaşamı da biyolojik pazar teorisine tastamam uymaz. Öncelikle biyolojik pazarların varlığı, türedikleri beşeri kapitalist pazarlar gibi, kendi çıkarına göre davranan bireysel "tüccarlar"ı belirleyebilmesine bağlıdır. İşin aslı, bireysel "tüccar" derken ne kastettiğimiz belirsiz (Noë ve Kiers [2018]). "Tek" bir mikorizal mantar bir başkasıyla kaynaşıp, kendi ağı etrafında dolanan farklı tipte çekirdeklerle –farklı genomlarla– birleşebilir. Bu durumda neye birey denir? Tek bir çekirdeğe mi? İç bağlantıları olan tek bir ağa mı? Bir ağ kümesine mi? Kiers bu zorluklar hakkında açık konuşuyor: "Biyolojik pazar teorisi bitkilerle mantarlar arasındaki etkileşimleri incelememizde işe yaramazsa biz de onu kullanmaktan vazgeçeriz." Pazar çerçevelerinin bir araç olarak işe yarayıp yaramadığı önceden bilinemez. Bununla beraber biyolojik pazarlar, alanda çalışan bazı araştırmacılar için bir sorundur. Kiers, "Bu tartışma, ortada belli bir sebep olmamasına rağmen hiç gerek yokken duygusallaşabilir," diyor. Belki de sebep, biyolojik pazar çerçevelerinin sosyopolitik bir hassas noktaya dokunmasıdır. Beşeri ekonomi sistemleri çok sayıda ve çeşitlidir. Buna rağmen biyolojik pazar çerçeveleri olarak bilinen teoriler, serbest pazar kapitalizmiyle çarpıcı bir benzerlik gösterir. Farklı kültürel sistemlerin ekonomi modellerini birbiriyle değer açısından karşılaştırmanın bir faydası olur mu? Değer atfetmenin birçok yolu var. Belki daha önce göz önüne almadığımız başka değer birimleri de vardır.

22 İnternet ve Dünya Çapında Ağ, birçok teknolojinin ötesinde kendi kendini organize eden sistemlerdir (Barabási'nin ifadesiyle Dünya Çapında Ağ, "bir hücre ya da bir ekolojik sistemle, bir İsviçre saatiyle olduğundan daha fazla ortak noktaya" sahip görünür). Bununla birlikte bu ağlar, kendi kendine organize olamayan ve çalışmaya devam etmeleri için insanların sürekli ilgilenmesi gereken makinelerden ve protokollerden meydana gelir.

23 Sapp, biyologların kullandığı metaforların nasıl da kolayca bir parlama noktasına dönüşüverdiğini gösteren bir hikâye anlattı. Hayvanlar ve bitkiler gibi daha büyük ve karmaşık organizmaların genellikle, ortaklık kurdukları bakteri ya da mantarlara göre daha "başarılı" olarak nitelendirildiğini fark etmişti. Sapp bu görüşü pek önemsemiyor. "Başarıyı hangi ölçütle tanımlıyoruz? Son kez baktığımda dünya esasen mikroplardan oluşuyordu. Bu gezegen mikroplara ait. Mikroplar en başında buradaydı; en sonunda, "daha gelişmiş" karmaşık hayvanlar gittikten sonra da burada olacaklar. Atmosferi ve bildiğimiz haliyle yaşamı onlar yarattı; vücudumuzun büyük bölümü mikroplardan oluşuyor." Sapp, evrim biyoloğu John Maynard Smith'in bir metaforu değiştirerek mikropları nasıl da hafife aldığını fark etmişti. Bir mikrop bir ilişkiden kazançlı çıkıyorsa Maynard Smith onu bir "parazit mikrop", büyük organizmayıysa "konak" olarak adlandırıyordu. Ne var ki eğer büyük organizma mikrobun davranışını yönlendiriyorsa Maynard Smith onu parazit olarak adlandırmıyordu. Metaforları değiştirip büyük organizmayı "efendi", mikrobu "köle" olarak tanımlıyordu. Sapp'in endişesinin kaynağı, mikrobun ille de parazit ya da köle olmasıydı çünkü Maynard Smith'e göre mikrop asla konağın davranışını yönlendiren baskın bir ortak olarak düşünülemezdi. Mikrop hiçbir zaman kontrolü elinde tutan ortak olamazdı.

24 *Puhpowee* için *bkz*. Kimmerer (2013), "Learning the Grammar of Animacy" ve "Allegiance to Gratitude". İnsanın istisna olduğunu savunmak için "insanbiçimcilik" suçlamasının kullanılmasından usanan Hollandalı primatolog Frans de Waal, "insanlarla hayvanlar arasında gerçekten var olabilecek ortak özellikleri inkâr etme önyargısı" olarak tanımladığı *anthropodenial* sorunundan yakınır (de Waal [1999]).

25 Hustak ve Myers (2012).

26 Ingold, hayvanlar yerine mantarları "yaşam formunun paradigma örneği" olarak kabul etseydik insan düşüncesi nasıl farklı olurdu, diye sorar. Yaşamda "mantarlara ait bir model" benimsemenin içerimlerini araştırır ve insanların da en az mantarlar kadar ağlara gömülü yaşadığını savunur; tek fark, bizim "ilişki yolaklarımız"ı görmenin mantarlarınkini görmekten daha zor olmasıdır (Ingold [2003]).

27 "Kaynakları paylaşmak" için *bkz*. Waller ve diğ. (2018).

28 Deleuze ve Guattari (2005), s. 11.

29 Carrigan ve diğ. (2015). Alkol dehidrogenaz, alkol metabolizmasından sorumlu bir başka enzim olan asetaldehit dehidrogenazdan farklıdır. Asetaldehit dehidrogenaz insan toplulukları arasında çeşitlilik gösteren ve insanın alkolü metabolize etmesinde sorunlara neden olabilen bir enzimdir.

30 Sarhoş maymun hipotezi için *bkz*. Dudley (2014). Mantar hastalıklarının meyvelerin aromasını artırdığı, kuşların ve diğer hayvanların bu meyveleri daha fazla topladığı gösterilmiştir (Peris ve diğ. [2017]).

31 Wiens ve diğ. (2008), Money (2018), Bölüm 2.

32 ABD'de biyoyakıt üretiminin sonuçları için *bkz*. Money (2018), Bölüm 5; arazi kullanımındaki değişim ve biyoyakıtlar için *bkz*. Wright ve Wimberly (2013); devlet desteği ve karbon salımı için *bkz*. Lu ve diğ. (2018).

33 Stukeley (1752).

Sonsöz: Bu Kompost

1 Ladinsky (2002).

Kaynakça

Aanen DK, Eggleton P, Rouland-Lefevre C, Guldberg-Froslev T, Rosendahl S, Boomsma JJ. 2002. The evolution of fungus-growing termites and their mutualistic fungal symbionts. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 14887–892.

Aasved MJ. 1988. *Alcohol, drinking, and intoxication in preindustrial societies: Theoretical, nutritional, and religious considerations.* Doktora tezi, Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara.

Abadeh A, Lew RR. 2013. Mass flow and velocity profiles in *Neurospora* hyphae: partial plug flow dominates intra-hyphal transport. *Microbiology* 159: 2386–394.

Achatz M, Rillig MC. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae enhance transport of the allelochemical juglone in the field. *Soil Biology and Biochemistry* 78: 76–82.

Adachi K, Chiba K. 2007. FTY720 story. Its discovery and the following accelerated development of sphingosine 1-phosphate receptor agonists as immunomodulators based on reverse pharmacology. *Perspectives in Medicinal Chemistry* 1: 11–23.

Adamatzky A. 2016. *Advances in Physarum Machines.* Springer International Publishing.

Adamatzky A. 2019. A brief history of liquid computers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20180372.

Adamatzky A. 2018a. On spiking behaviour of oyster fungi *Pleurotus djamor*. *Scientific Reports* 8: 7873.

Adamatzky A. 2018b. Towards fungal computer. *Journal of the Royal Society Interface Focus* 8: 20180029.

Ahmadjian V. 1995. Lichens are more important than you think. *BioScience* 45: 123.

Ahmadjian V, Heikkilä H. 1970. The culture and synthesis of *Endocarpon pusillum* and *Staurothele clopima*. *The Lichenologist* 4: 259–67.

Ainsworth GC. 1976. *Introduction to the History of Mycology*. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.

Albert R, Jeong H, Barabási A-L. 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406: 378–82.

Alberti S. 2015. Don't go with the cytoplasmic flow. *Developmental Cell* 34: 381–82.

Alim K. 2018. Fluid flows shaping organism morphology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373: 20170112.

Alim K, Andrew N, Pringle A, Brenner MP. 2017. Mechanism of signal propagation in *Physarum polycephalum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 5136–141.

Allaway W, Ashford A. 2001. Motile tubular vacuoles in extramatrical mycelium and sheath hyphae of ectomycorrhizal systems. *Protoplasma* 215: 218–25.

Allen J, Arthur J. 2005. "Ethnomycology and Distribution of Psilocybin Mushrooms." In *Sacred Mushroom of Visions: Teonanacatl*. Metzner R, ed. Rochester, VT: Park Street Press, s. 49–68.

Alpert C. 2011. Unraveling the Mysteries of the Canadian Whiskey Fungus. *Wired*: www.wired.com/2011/05/ff-angelsshare/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Alpi A, Amrhein N, Bertl A, Blatt MR, Blumwald E, Cervone F, Dainty J, Michelis M, Epstein E, Galston AW ve diğ. 2007. Plant neurobiology: no brain, no gain? *Trends in Plant Science* 12: 135–36.

Aly A, Debbab A, Proksch P. 2011. Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Applied Microbiology and Biotechnology* 90: 1829–845.

Alzarhani KA, Clark DR, Underwood GJ, Ford H, Cotton AT, Dumbrell AJ. 2019. Are drivers of root-associated fungal community structure context specific? *The ISME Journal* 13: 1330–344.

Anderson JB, Bruhn JN, Kasimer D, Wang H, Rodrigue N, Smith ML. 2018. Clonal evolution and genome stability in a 2500-year-old fungal individual. *Proceedings of the Royal Society B* 285: 20182233.

Andersen SB, Gerritsma S, Yusah KM, Mayntz D, Hywel Jones NL, Billen J, Boomsma JJ, Hughes DP. 2009. The life of a dead ant: the expression of an adaptive extended phenotype. *The American Naturalist* 174: 424–33.

Araldi-Brondolo SJ, Spraker J, Shaffer JP, Woytenko EH, Baltrus DA, Gallery RE, Arnold EA. 2017. Bacterial endosymbionts: master modulators of fungal phenotypes. *Microbiology spectrum* 5: FUNK-0056-2016.

Arnaud-Haond S, Duarte CM, Diaz-Almela E, Marbà N, Sintes T, Serrão EA. 2012. Implications of extreme life span in clonal organisms: millenary clones

in meadows of the threatened seagrass *Posidonia oceanica*. *PLOS ONE* 7: e30454.

Arnold EA, Mejía L, Kyllo D, Rojas EI, Maynard Z, Robbins N, Herre E. 2003. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100: 15649–654.

Arnold EA, Miadlikowska J, Higgins LK, Sarvate SD, Gugger P, Way A, Hofstetter V, Kauff F, Lutzoni F. 2009. A phylogenetic estimation of trophic transition networks for ascomycetous fungi: are lichens cradles of symbiotrophic fungal diversification? *Systematic Biology* 58: 283–97.

Arsenault C. 2014. Only 60 Years of Farming Left if Soil Degradation Continues. *Scientific American*: www.scientificamerican.com/article/only-60-years-of-farming-left-if-soil-degradation-continues/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Aschenbrenner IA, Cernava T, Berg G, Grube M. 2016. Understanding microbial multi-species symbioses. *Frontiers in Microbiology* 7: 180.

Asenova E, Lin H-Y, Fu E, Nicolau DV, Nicolau DV. 2016. Optimal fungal space searching algorithms. *IEEE Transactions on NanoBioscience* 15: 613–18.

Ashford AE, Allaway WG. 2002. The role of the motile tubular vacuole system in mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 244: 177–87.

Averill C, Dietze MC, Bhatnagar JM. 2018. Continental-scale nitrogen pollution is shifting forest mycorrhizal associations and soil carbon stocks. *Global Change Biology* 24: 4544–553.

Awan AR, Winter JM, Turner D, Shaw WM, Suz LM, Bradshaw AJ, Ellis T, Dentinger B. 2018. Convergent evolution of psilocybin biosynthesis by psychedelic mushrooms. *bioRxiv*: 374199.

Babikova Z, Gilbert L, Bruce TJ, Birkett M, Caulfield JC, Woodcock C, Pickett JA, Johnson D. 2013. Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecology Letters* 16: 835–43.

Bachelot B, Uriarte M, McGuire KL, Thompson J, Zimmerman J. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity and natural enemies promote coexistence of tropical tree species. *Ecology* 98: 712–20.

Bader MK-F, Leuzinger S. 2019. Hydraulic coupling of a leafless kauri tree remnant to conspecific hosts. *iScience* 19: 1238–43.

Bahn Y-S, Xue C, Idnurm A, Rutherford JC, Heitman J, Cardenas ME. 2007. Sensing the environment: lessons from fungi. *Nature Reviews Microbiology* 5: 57–69.

Bain N, Bartolo D. 2019. Dynamic response and hydrodynamics of polarized crowds. *Science* 363: 46–49.

Ball P. 2019. *How to Grow a Human*. Londra, Birleşik Krallık: William Collins.

Banerjee S, Schlaeppi K, van der Heijden MG. 2018. Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning. *Nature Reviews Microbiology* 16: 567–76.

Banerjee S, Walder F, Büchi L, Meyer M, Held AY, Gattinger A, Keller T, Charles R, van der Heijden MG. 2019. Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *The ISME Journal* 13: 1722–736.

Barabási A-L. 2014. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York, NY: Basic Books.

Barabási A-L. 2001. The Physics of the Web. *Physics World* 14: 33–38.

physicsworld.com/a/the-physics-of-the-web/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Barabási A-L, Albert R. 1999. Emergence of scaling in random networks. *Science* 286: 509–12.

Barbey AK. 2018. Network neuroscience theory of human intelligence. *Trends in Cognitive Sciences* 22: 8–20.

Bar-On YM, Phillips R, Milo R. 2018. The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 6506–511.

Barto KE, Hilker M, Müller F, Mohney BK, Weidenhamer JD, Rillig MC. 2011. The fungal fast lane: common mycorrhizal networks extend bioactive zones of allelochemicals in soils. *PLOS ONE* 6: e27195.

Barto KE, Weidenhamer JD, Cipollini D, Rillig MC. 2012. Fungal superhighways: do common mycorrhizal networks enhance below ground communication? *Trends in Plant Science* 17: 633–37.

Bascompte J. 2009. Mutualistic networks. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 429–36.

Baslam M, Garmendia I, Goicoechea N. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 5504–515.

Bass D, Howe A, Brown N, Barton H, Demidova M, Michelle H, Li L, Sanders H, Watkinson SC, Willcock S ve diğ. 2007. Yeast forms dominate fungal diversity in the deep oceans. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 3069–77.

Bassett DS, Sporns O. 2017. Network neuroscience. *Nature Neuroscience* 20: 353–64.

Bassett E, Keith MS, Armelagos G, Martin D, Villanueva A. 1980. Tetracycline-labeled human bone from ancient Sudanese Nubia (A.D. 350). *Science* 209: 1532–534.

Bateson B. 1928. *William Bateson, Naturalist*. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.

Bateson G. 1987. *Steps to an Ecology of Mind*. Northvale, NJ: Jason Aronson Inc.

Bebber DP, Hynes J, Darrah PR, Boddy L, Fricker MD. 2007. Biological solutions to transport network design. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 2307–315.

Beck A, Divakar P, Zhang N, Molina M, Struwe L. 2015. Evidence of ancient horizontal gene transfer between fungi and the terrestrial alga *Trebouxia*. *Organisms Diversity & Evolution* 15: 235–48.

Beerling D. 2019. *Making Eden*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Beiler KJ, Durall DM, Simard SW, Maxwell SA, Kretzer AM. 2009. Architecture of the wood-wide web: *Rhizopogon* spp. genets link multiple Douglas-fir cohorts. *New Phytologist* 185: 543–53.

Beiler KJ, Simard SW, Durall DM. 2015. Topology of tree-mycorrhizal fungus interaction networks in xeric and mesic Douglas-fir forests. *Journal of Ecology* 103: 616–28.

Bengtson S, Rasmussen B, Ivarsson M, Muhling J, Broman C, Marone F, Stampanoni M, Bekker A. 2017. Fungus-like mycelial fossils in 2.4-billion-year-old vesicular basalt. *Nature Ecology & Evolution* 1: 0141.

Bennett JA, Cahill JF. 2016. Fungal effects on plant–plant interactions contribute to grassland plant abundances: evidence from the field. *Journal of Ecology* 104: 755–64.

Bennett JA, Maherali H, Reinhart KO, Lekberg Y, Hart MM, Klironomos J. 2017. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics. *Science* 355: 181–84.

Bennett JW, Chung KT. 2001. Alexander Fleming and the discovery of penicillin. *Advances in Applied Microbiology* 49: 163–84.

Berendsen RL, Pieterse CM, Bakker PA. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science* 17: 478–86.

Bergson H. 1911. *Creative Evolution*. New York, NY: Henry Holt and Company.

Berthold T, Centler F, Hübschmann T, Remer R, Thullner M, Harms H, Wick LY. 2016. Mycelia as a focal point for horizontal gene transfer among soil bacteria. *Scientific Reports* 6: 36390.

Bever JD, Richardson SC, Lawrence BM, Holmes J, Watson M. 2009. Preferential allocation to beneficial symbiont with spatial structure maintains mycorrhizal mutualism. *Ecology Letters* 12: 13–21.

Bingham MA, Simard SW. 2011. Mycorrhizal networks affect ectomycorrhizal fungal community similarity between conspecific trees and seedlings. *Mycorrhiza* 22: 317–26.

Björkman E. 1960. *Monotropa Hypopitys* L.—an Epiparasite on Tree Roots. *Physiologia Plantarum* 13: 308–27.

Boddy L, Hynes J, Bebber DP, Fricker MD. 2009. Saprotrophic cord systems: dispersal mechanisms in space and time. *Mycoscience* 50: 9–19.

Bonfante P. 2018. The future has roots in the past: the ideas and scientists that shaped mycorrhizal research. *New Phytologist* 220: 982–95.

Bonfante P, Desirò A. 2017. Who lives in a fungus? The diversity, origins and

functions of fungal endobacteria living in Mucoromycota. *The ISME Journal* 11: 1727–735.

Bonfante P, Selosse M-A. 2010. A glimpse into the past of land plants and of their mycorrhizal affairs: from fossils to evo-devo. *New Phytologist* 186: 267–70.

Bonifaci V, Mehlhorn K, Varma G. 2012. *Physarum* can compute shortest paths. *Journal of Theoretical Biology* 309: 121–33.

Booth MG. 2004. Mycorrhizal networks mediate overstorey-understorey competition in a temperate forest. *Ecology Letters* 7: 538–46.

Bordenstein SR, Theis KR. 2015. Host biology in light of the microbiome: ten principles of holobionts and hologenomes. *PLOS Biology* 13: e1002226.

Bouchard F. 2018. "Symbiosis, Transient Biological Individuality, and Evolutionary Process." *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology* içinde, haz. Dupré J, Nicholson J, Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press, s. 186–98.

Boulter M. 2010. *Darwin's Garden: Down House and the Origin of Species.* Berkeley, CA: Counterpoint.

Boyce GR, Gluck-Thaler E, Slot JC, Stajich JE, Davis WJ, James TY, Cooley JR, Panaccione DG, Eilenberg J, Licht HH ve diğ. 2019. Psychoactive plant- and mushroom-associated alkaloids from two behavior modifying cicada pathogens. *Fungal Ecology* 41: 147–64.

Brand A, Gow NA. 2009. Mechanisms of hypha orientation of fungi. *Current Opinion in Microbiology* 12: 350–57.

Brandt A, de Vera JP, Onofri S, Ott S. 2014. Viability of the lichen *Xanthoria elegans* and its symbionts after 18 months of space exposure and simulated Mars conditions on the ISS. *International Journal of Astrobiology* 14: 411–25.

Brandt A, Meeßen J, Jänicke RU, Raguse M, Ott S. 2017. Simulated space radiation: impact of four different types of high-dose ionizing radiation on the lichen *Xanthoria elegans*. *Astrobiology* 17: 136–44.

Bringhurst R. 2009. *Everywhere Being Is Dancing*. Berkeley, CA: Counterpoint.

Brito I, Goss MJ, Alho L, Brígido C, van Tuinen D, Félix MR, Carvalho M. 2018. Agronomic management of AMF functional diversity to overcome biotic and abiotic stresses—the role of plant sequence and intact extraradical mycelium. *Fungal Ecology* 40: 72–81.

Bruce-Keller AJ, Salbaum MJ, Berthoud H-R. 2018. Harnessing gut microbes for mental health: getting from here to there. *Biological Psychiatry* 83: 214–23.

Bruggeman FJ, van Hèeswijk WC, Boogerd FC, Westerhoff HV. 2000. Macromolecular Intelligence in Microorganisms. *Biological Chemistry* 381: 965–72.

Brundrett MC. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 154: 275–304.

Brundrett MC, Tedersoo L. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220: 1108–115.

Brunet T, Arendt D. 2015. From damage response to action potentials: early evolution of neural and contractile modules in stem eukaryotes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 371: 20150043.

Brunner I, Fischer M, Rüthi J, Stierli B, Frey B. 2018. Ability of fungi isolated from plastic debris floating in the shoreline of a lake to degrade plastics. *PLOS ONE* 13: e0202047.

Bublitz DC, Chadwick GL, Magyar JS, Sandoz KM, Brooks DM, Mesnage S, Ladinsky MS, Garber AI, Bjorkman PJ, Orphan VJ ve diğ. 2019. Peptidoglycan Production by an Insect-Bacterial Mosaic. *Cell* 179: 1–10.

Buddie AG, Bridge PD, Kelley J, Ryan MJ. 2011. *Candida keroseneae* sp. nov., a novel contaminant of aviation kerosene. *Letters in Applied Microbiology* 52: 70–75.

Büdel B, Vivas M, Lange OL. 2013. Lichen species dominance and the resulting photosynthetic behavior of Sonoran Desert soil crust types (Baja California, Mexico). *Ecological Processes* 2: 6.

Buhner SH. 1998. *Sacred Herbal and Healing Beers*. Boulder, CO: Siris Books.

Buller, AHR. 1931. *Researches on Fungi*, cilt 4. Londra, Birleşik Krallık: Longmans, Green, and Co.

Büntgen U, Egli S, Schneider L, von Arx G, Rigling A, Camarero JJ, Sangüesa-Barreda G, Fischer CR, Oliach D, Bonet JA ve diğ. 2015. Long-term irrigation effects on Spanish holm oak growth and its black truffle symbiont. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 202: 148–59.

Burford EP, Kierans M, Gadd GM. 2003. Geomycology: fungi in mineral substrata. *Mycologist* 17: 98–107.

Burkett W. 1987. *Ancient Mystery Cults*. Cambride, MA: Harvard University Press.

Burr C. 2012. *The Emperor of Scent*. New York, NY: Random House.

Bushdid C, Magnasco M, Vosshall L, Keller A. 2014. Humans can discriminate more than 1 trillion olfactory stimuli. *Science* 343: 1370–372.

Cai Q, Qiao L, Wang M, He B, Lin F-M, Palmquist J, Huang S-D, Jin H. 2018. Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes. *Science* 360: 1126–129.

Calvo Garzón P, Keijzer F. 2011. Plants: Adaptive behavior, root-brains, and minimal cognition. *Adaptive Behavior* 19: 155–71.

Campbell B, Ionescu R, Favors Z, Ozkan CS, Ozkan M. 2015. Bio-derived, binderless, hierarchically porous carbon anodes for Li-ion batteries. *Scientific Reports* 5: 14575.

Caporael L. 1976. Ergotism: the satan loosed in Salem? *Science* 192: 21–26.

Carhart-Harris RL, Bolstridge M, Rucker J, Day CM, Erritzoe D, Kaelen M, Bloomfield M, Rickard JA, Forbes B, Feilding A ve diğ. 2016a. Psilocybin with psychological support for treatment-resistant depression: an open-label feasibility study. *The Lancet Psychiatry* 3: 619–27.

Carhart-Harris RL, Erritzoe D, Williams T, Stone J, Reed LJ, Colasanti A, Tyacke RJ, Leech R, Malizia AL, Murphy K ve diğ. 2012. Neural correlates of the psychedelic state as determined by fMRI studies with psilocybin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 2138–143.

Carhart-Harris RL, Muthukumaraswamy S, Roseman L, Kaelen M, Droog W, Murphy K, Tagliazucchi E, Schenberg EE, Nest T, Orban C ve diğ. 2016b. Neural correlates of the LSD experience revealed by multimodal neuroimaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 4853–858.

Carrigan MA, Uryasev O, Frye CB, Eckman BL, Myers CR, Hurley TD, Benner SA. 2015. Hominids adapted to metabolize ethanol long before human-directed fermentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 458–63.

Casadevall A. 2012. Fungi and the rise of mammals. *Pathogens* 8: e1002808.

Casadevall A, Cordero RJ, Bryan R, Nosanchuk J, Dadachova E. 2017. Melanin, Radiation, and Energy Transduction in Fungi. *Microbiology Spectrum* 5: FUNK-0037-2016.

Casadevall A, Kontoyiannis DP, Robert V. 2019. On the Emergence of *Candida auris*: Climate Change, Azoles, Swamps, and Birds. *mBio* 10: e01397-19.

Ceccarelli N, Curadi M, Martelloni L, Sbrana C, Picciarelli P, Giovannetti M. 2010. Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant. *Plant and Soil* 335: 311–23.

Cepelewicz J. 2019. Bacterial Complexity Revises Ideas About "Which Came First?" *Quanta*: www.quantamagazine.org/bacterial-organelles-revise-ideas-about-which-came-first-20190612/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Cerdá-Olmedo E. 2001. *Phycomyces* and the biology of light and color. *FEMS Microbiology Reviews* 25: 503–12.

Cernava T, Aschenbrenner I, Soh J, Sensen CW, Grube M, Berg G. 2019. Plasticity of a holobiont: desiccation induces fasting-like metabolism within the lichen microbiota. *The ISME Journal* 13: 547–56.

Chen J, Blume H, Beyer L. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization—a review. *Catena* 39: 121–46.

Chen L, Swenson NG, Ji N, Mi X, Ren H, Guo L, Ma K. 2019. Differential soil fungus accumulation and density dependence of trees in a subtropical forest. *Science* 366: 124–28.

Chen M, Arato M, Borghi L, Nouri E, Reinhardt D. 2018. Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi—from ecology to application. *Frontiers in Plant Science* 9: 1270.

Chialva M, di Fossalunga A, Daghino S, Ghignone S, Bagnaresi P, Chiapello M, Novero M, Spadaro D, Perotto S, Bonfante P. 2018. Native soils with their microbiotas elicit a state of alert in tomato plants. *New Phytologist* 220: 1296–308.

Chrisafis A. 2010. French truffle farmer shoots man he feared was trying to steal "black diamonds." *The Guardian*: www.theguardian.com/world/2010/dec/22/french-truffle-farmer-shoots-trespasser [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Christakis NA, Fowler JH. 2009. *Connected: The Surprising Power of Our Social Networks and How They Shape Our Lives*. Londra, Birleşik Krallık: HarperPress.

Chu C, Murdock MH, Jing D, Won TH, Chung H, Kressel AM, Tsaava T, Addorisio ME, Putzel GG, Zhou L ve diğ. 2019. The microbiota regulate neuronal function and fear extinction learning. *Nature* 574: 543–48.

Chung T-Y, Sun P-F, Kuo J-I, Lee Y-I, Lin C-C, Chou J-Y. 2017. Zombie ant heads are oriented relative to solar cues. *Fungal Ecology* 25: 22–28.

Cixous, H. 1991. *The Book of Promethea*. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.

Claus R, Hoppen H, Karg H. 1981. The secret of truffles: A steroidal pheromone? *Experientia* 37: 1178–179.

Clay K. 1988. Fungal Endophytes of Grasses: A Defensive Mutualism between Plants and Fungi. *Ecology* 69: 10–16.

Clemmensen K, Bahr A, Ovaskainen O, Dahlberg A, Ekblad A, Wallander H, Stenlid J, Finlay R, Wardle D, Lindahl B. 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science* 339: 1615–618.

Cockell CS. 2008. The interplanetary exchange of photosynthesis. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 38: 87–104.

Cohen R, Jan Y, Matricon J, Delbrück M. 1975. Avoidance response, house response, and wind responses of the sporangiophore of *Phycomyces*. *The Journal of General Physiology* 66: 67–95.

Collier FA, Bidartondo MI. 2009. Waiting for fungi: the ectomycorrhizal invasion of lowland heathlands. *Journal of Ecology* 97: 950–63.

Collinge A, Trinci A. 1974. Hyphal tips of wild-type and spreading colonial mutants of *Neurospora crassa*. *Archive of Microbiology* 99: 353–68.

Cooke M. 1875. *Fungi: Their Nature and Uses*. New York, NY: D. Appleton and Company.

Cooley JR, Marshall DC, Hill KBR. 2018. A specialized fungal parasite (*Massospora cicadina*) hijacks the sexual signals of periodical cicadas (Hemiptera: Cicadidae: *Magicicada*). *Scientific Reports* 8: 1432.

Copetta A, Bardi L, Bertolone E, Berta G. 2011. Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Biosystems* 145: 106–15.

Copetta A, Lingua G, Berta G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza* 16: 485–94.

Corbin A. 1986. *The Foul and the Fragrant: Odor and the French Social Imagination*. Leamington Spa, Birleşik Krallık: Berg Publishers Ltd.

Cordero RJ. 2017. Melanin for space travel radioprotection. *Environmental Microbiology* 19: 2529–532.

Corrales A, Mangan SA, Turner BL, Dalling JW. 2016. An ectomycorrhizal nitrogen economy facilitates monodominance in a neotropical forest. *Ecology Letters* 19: 383–92.

Corrochano LM, Galland P. 2016. "Photomorphogenesis and Gravitropism in Fungi." *Growth, Differentiation, and Sexuality* içinde, haz. Wendland J, Springer International Publishing, s. 235–66.

Cosme M, Fernández I, van der Heijden MG, Pieterse C. 2018. Non-mycorrhizal Plants: The Exceptions that Prove the Rule. *Trends in Plant Science* 23: 577–87.

Costello EK, Lauber CL, Hamady M, Fierer N, Gordon JI, Knight R. 2009. Bacterial community variation in human body habitats across space and time. *Science* 326: 1694–697.

Cottin H, Kotler J, Billi D, Cockell C, Demets R, Ehrenfreund P, Elsaesser A, d'Hendecourt L, van Loon JJ, Martins Z ve diğ. 2017. Space as a tool for astrobiology: review and recommendations for experimentations in earth orbit and beyond. *Space Science Reviews* 209: 83–181.

Coyle MC, Elya CN, Bronski MJ, Eisen MB. 2018. Entomophthovirus: An insect-derived iflavirus that infects a behavior manipulating fungal pathogen of dipterans. *bioRxiv*: 371526.

Craig ME, Turner BL, Liang C, Clay K, Johnson DJ, Phillips RP. 2018. Tree mycorrhizal type predicts within-site variability in the storage and distribution of soil organic matter. *Global Change Biology* 24: 3317–330.

Crowther T, Glick H, Covey K, Bettigole C, Maynard D, Thomas S, Smith J, Hintler G, Duguid M, Amatulli G ve diğ. 2015. Mapping tree density at a global scale. *Nature* 525: 201–68.

Currie CR, Poulsen M, Mendenhall J, Boomsma JJ, Billen J. 2006. Coevolved crypts and exocrine glands support mutualistic bacteria in fungus-growing ants. *Science* 311: 81–83.

Currie CR, Scott JA, Summerbell RC, Malloch D. 1999. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature* 398: 701–04.

Dadachova E, Casadevall A. 2008. Ionizing radiation: how fungi cope, adapt, and exploit with the help of melanin. *Current Opinion in Microbiology* 11: 525–31.

Dance A. 2018. Inner Workings: The mysterious parentage of the coveted black truffle. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 10188–190.

Darwin C, Darwin F. 1880. *The Power of Movement in Plants*. Londra, Birleşik Krallık: John Murray.

Davis J, Aguirre L, Barber N, Stevenson P, Adler L. 2019. From plant fungi to bee parasites: mycorrhizae and soil nutrients shape floral chemistry and bee pathogens. *Ecology* 100: e02801.

Davis W. 1996. *One River: Explorations and Discoveries in the Amazon Rain Forest.* New York, NY: Simon and Schuster.

Dawkins R. 1982. *The Extended Phenotype*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press, Türkçesi: *Genişletilmiş Fenotip*, çev. Çağatay Tarhan, İstanbul: Alfa Yayınları, 2018.

Dawkins R. 2004. Extended Phenotype—But Not Too Extended. A Reply to Laland, Turner and Jablonka. *Biology and Philosophy* 19: 377–96.

de Bekker C, Quevillon LE, Smith PB, Fleming KR, Ghosh D, Patterson AD, Hughes DP. 2014. Species-specific ant brain manipulation by a specialized fungal parasite. *BMC Evolutionary Biology* 14: 166.

de Gonzalo G, Colpa DI, Habib M, Fraaije MW. 2016. Bacterial enzymes involved in lignin degradation. *Journal of Biotechnology* 236: 110–19.

de Jong E, Field JA, Spinnler HE, Wijnberg JB, de Bont JA. 1994. Significant biogenesis of chlorinated aromatics by fungi in natural environments. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 264–70.

de la Fuente-Nunez C, Meneguetti B, Franco O, Lu TK. 2017. Neuromicrobiology: how microbes influence the brain. *ACS Chemical Neuroscience* 9: 141–50.

de la Torre R, Miller AZ, Cubero B, Martín-Cerezo LM, Raguse M, Meeßen J. 2017. The effect of high-dose ionizing radiation on the astrobiological model lichen *Circinaria gyrosa*. *Astrobiology* 17: 145–53.

de la Torre Noetzel R, Miller AZ, de la Rosa JM, Pacelli C, Onofri S, Sancho L, Cubero B, Lorek A, Wolter D, de Vera JP. 2018. Cellular responses of the lichen *Circinaria gyrosa* in Mars-like conditions. *Frontiers in Microbiology* 9: 308.

Delaux PM, Radhakrishnan GV, Jayaraman D, Cheema J, Malbreil M, Volkening JD, Sekimoto H, Nishiyama T, Melkonian M, Pokorny L ve diğ. 2015. Algal ancestor of land plants was preadapted for symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 13390–395.

Delavaux CS, Smith-Ramesh L, Kuebbing SE. 2017. Beyond nutrients: a meta-analysis of the diverse effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plants and soils. *Ecology* 98: 2111–119.

Deleuze G, Guattari F. 2005. *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia.* Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

de los Ríos A, Sancho L, Grube M, Wierzchos J, Ascaso C. 2005. Endolithic growth of two *Lecidea* lichens in granite from continental Antarctica detected by molecular and microscopy techniques. *New Phytologist* 165: 181–90.

Delwiche C, Cooper E. 2015. The evolutionary origin of a terrestrial flora. *Current Biology* 25: R899–R910.

Deng Y, Qu Z, Naqvi NI. 2015. Twilight, a novel circadian-regulated gene, integrates phototropism with nutrient and redox homeostasis during fungal development. *PLOS Pathogens* 11: e1004972.

Deveau A, Bonito G, Uehling J, Paoletti M, Becker M, Bindschedler S, Hacquard S, Hervé V, Labbé J, Lastovetsky O ve diğ. 2018. Bacterial-fungal interactions: ecology, mechanisms and challenges. *FEMS Microbiology Reviews* 42: 335–52.

de Vera JP, Alawi M, Backhaus T, Baqué M, Billi D, Böttger U, Berger T, Bohmeier M, Cockell C, Demets R ve diğ. 2019. Limits of life and the habitability of Mars: The ESA Space Experiment BIOMEX on the ISS. *Astrobiology* 19: 145–57.

de Vries FT, Thébault E, Liiri M, Birkhofer K, Tsiafouli MA, Bjørnlund L, Jørgensen H, Brady M, Christensen S, de Ruiter PC ve diğ. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 14296–301.

de Waal FBM. 1999. Anthropomorphism and Anthropodenial: Consistency in Our Thinking about Humans and Other Animals. *Philosophical Topics* 27: 255–80.

Diamant L. 2004. *Chaining the Hudson: The Fight for the River in the American Revolution.* New York, NY: Fordham University Press.

di Fossalunga A, Lipuma J, Venice F, Dupont L, Bonfante P. 2017. The endobacterium of an arbuscular mycorrhizal fungus modulates the expression of its toxin–antitoxin systems during the life cycle of its host. *The ISME Journal* 11: 2394–398.

Ditengou FA, Müller A, Rosenkranz M, Felten J, Lasok H, van Doorn M, Legué V, Palme K, Schnitzler J-P, Polle A. 2015. Volatile signalling by sesquiterpenes from ectomycorrhizal fungi reprogrammes root architecture. *Nature Communications* 6: 6279.

Dixon LS. 1984. Bosch's "St. Anthony Triptych"—An Apothecary's Apotheosis. *Art Journal* 44: 119–31.

Donoghue PC, Antcliffe JB. 2010. Early life: origins of multicellularity. *Nature* 466: 41.

Doolittle FW, Booth A. 2017. It's the song, not the singer: an exploration of holobiosis and evolutionary theory. *Biology & Philosophy* 32: 5–24.

Dressaire E, Yamada L, Song B, Roper M. 2016. Mushrooms use convectively created airflows to disperse their spores. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 2833–838.

Dudley R. 2014. *The Drunken Monkey: Why We Drink and Abuse Alcohol.* Berkeley, CA: University of California Press.

Dugan FM. 2011. *Conspectus of World Ethnomycology.* St. Paul, MN: American Phytopathological Society.

Dugan FM. 2008. *Fungi in the Ancient World.* St. Paul, MN: American Phytopathological Society.

Dunn R. 2012. A Sip for the Ancestors. *Scientific American*: blogs. scientificamerican.com/guest-blog/a-sip-for-the-ancestors-the-true-story-

of-civilizations-stumbling-debt-to-beer-and-fungus/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Dupré J, Nicholson DJ. 2018. "A manifesto for a processual biology." *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology* içinde, haz. Dupré J, Nicholson DJ. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press, s. 3–48.

Dyke E. 2008. *Psychedelic Psychiatry: LSD from Clinic to Campus*. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press.

Eason W, Newman E, Chuba P. 1991. Specificity of interplant cycling of phosphorus: The role of mycorrhizas. *Plant and Soil* 137: 267–74.

Elser J, Bennett E. 2011. A broken biogeochemical cycle. *Nature*: www.nature.com/articles/478029a [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Eltz T, Zimmermann Y, Haftmann J, Twele R, Francke W, Quezada-Euan JJG, Lunau K. 2007. Enfleurage, lipid recycling and the origin of perfume collection in orchid bees. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 2843–848.

Eme L, Spang A, Lombard J, Stairs CW, Ettema TJG. 2017. Archaea and the origin of eukaryotes. *Nature Reviews Microbiology* 15: 711–23.

Engelthaler DM, Casadevall A. 2019. On the Emergence of *Cryptococcus gattii* in the Pacific Northwest: ballast tanks, tsunamis, and black swans. *mBio* 10: e02193–19.

Ensminger PA. 2001. *Life Under the Sun*. New Haven, CT: Yale Scholarship Online.

Epstein S. 1995. The construction of lay expertise: AIDS activism and the forging of credibility in the reform of clinical trials. *Science, Technology, Human Values* 20: 408–37.

Erens H, Boudin M, Mees F, Mujinya B, Baert G, Strydonck M, Boeckx P, Ranst E. 2015. The age of large termite mounds—radiocarbon dating of *Macrotermes falciger* mounds of the Miombo woodland of Katanga, DR Congo. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 435: 265–71.

Espinosa-Valdemar R, Turpin-Marion S, Delfín-Alcalá I, Vázquez-Morillas A. 2011. Disposable diapers biodegradation by the fungus *Pleurotus ostreatus*. *Waste Management* 31: 1683–688.

Fairhead J, Leach M. 2003. "Termites, Society and Ecology: Perspectives from West Africa." *Insects in Oral Literature and Traditions* içinde, haz. Motte-Florac E, Thomas J. Leuven, Belçika: Peeters.

Fairhead J, Scoones I. 2005. Local knowledge and the social shaping of soil investments: critical perspectives on the assessment of soil degradation in Africa. *Land Use Policy* 22: 33–41.

Fairhead JR. 2016. Termites, mud daubers and their earths: a multispecies approach to fertility and power in West Africa. *Conservation and Society* 14: 359–67.

Farahany NA, Greely HT, Hyman S, Koch C, Grady C, Paşca SP, Sestan N, Arlotta P, Bernat JL, Ting J ve diğ. 2018. The ethics of experimenting with human brain tissue. *Nature* 556: 429–32.

Fellbaum CR, Mensah JA, Cloos AJ, Strahan GE, Pfeffer PE, Kiers TE, Bücking H. 2014. Fungal nutrient allocation in common mycorrhizal networks is regulated by the carbon source strength of individual host plants. *New Phytologist* 203: 646–56.

Ferguson BA, Dreisbach T, Parks C, Filip G, Schmitt C. 2003. Coarse-scale population structure of pathogenic *Armillaria* species in a mixed-conifer forest in the Blue Mountains of northeast Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 612–23.

Fernandez CW, Nguyen NH, Stefanski A, Han Y, Hobbie SE, Montgomery RA, Reich PB, Kennedy PG. 2017. Ectomycorrhizal fungal response to warming is linked to poor host performance at the boreal-temperate ecotone. *Global Change Biology* 23: 1598–609.

Ferreira, B., There's growing evidence that the universe is connected by giant structures, *Vice* (2019), www.vice.com/en_us/article/zmj7pw/theres-growing-evidence-that-the-universe-is-connected-by-giant-structures [erişim tarihi 16 Kasım 2019].

Field KJ, Cameron DD, Leake JR, Tille S, Bidartondo MI, Beerling DJ. 2012. Contrasting arbuscular mycorrhizal responses of vascular and non-vascular plants to a simulated Palaeozoic CO2 decline. *Nature Communications* 3: 835.

Field KJ, Leake JR, Tille S, Allinson KE, Rimington WR, Bidartondo MI, Beerling DJ, Cameron DD. 2015. From mycoheterotrophy to mutualism: mycorrhizal specificity and functioning in *Ophioglossum vulgatum* sporophytes. *New Phytologist* 205: 1492–502.

Fisher MC, Hawkins NJ, Sanglard D, Gurr SJ. 2018. Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security. *Science* 360: 739–42.

Fisher MC, Henk DA, Briggs CJ, Brownstein JS, Madoff LC, McCraw SL, Gurr SJ. 2012. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature* 484: 186–94.

Floudas D, Binder M, Riley R, Barry K, Blanchette RA, Henrissat B, Martínez AT, Otillar R, Spatafora JW, Yadav JS ve diğ. 2012. The Paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science* 336: 1715–719.

Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin SF, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK ve diğ. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570–74.

Francis R, Read DJ. 1984. Direct transfer of carbon between plants connected by vesicular–arbuscular mycorrhizal mycelium. *Nature* 307: 53–56.

Frank AB. 2005. On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (A. B. Frank'ın 1885 tarihli klasik makalesinin İngilizce tercümesi). *Mycorrhiza* 15: 267–75.

Fredericksen MA, Zhang Y, Hazen ML, Loreto RG, Mangold CA, Chen DZ,

Hughes DP. 2017. Three-dimensional visualization and a deep-learning model reveal complex fungal parasite networks in behaviorally manipulated ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 12590–595.

Fricker MD, Boddy L, Bebber DP. 2007a. "Network Organisation of Mycelial Fungi." *Biology of the Fungal Cell* içinde, haz. Howard RJ, Gow NAR. Springer International Publishing, s. 309–30.

Fricker MD, Heaton LL, Jones NS, Boddy L. 2017. The Mycelium as a Network. *Microbiology Spectrum* 5: FUNK-0033-2017.

Fricker MD, Lee J, Bebber D, Ṭlalka M, Hynes J, Darrah P, Watkinson S, Boddy L. 2008. Imaging complex nutrient dynamics in mycelial networks. *Journal of Microscopy* 231: 317–31.

Fricker MD, Tlalka M, Bebber D, Tagaki S, Watkinson SC, Darrah PR. 2007b. Fourier-based spatial mapping of oscillatory phenomena in fungi. *Fungal Genetics and Biology* 44: 1077–84.

Fries N. 1943. Untersuchungen über Sporenkeimung und Mycelentwicklung bodenbewohneneder Hymenomyceten. *Symbolae Botanicae Upsaliensis* 6: 633–664.

Fritts R. 2019. A new pesticide is all the buzz. *Ars Technica*: arstechnica.com/science/2019/10/now-available-in-the-us-a-pesticide-delivered-by-bees/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Fröhlich-Nowoisky J, Pickersgill DA, Després VR, Pöschl U. 2009. High diversity of fungi in air particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 12814–819.

Fukusawa Y, Savoury M, Boddy L. 2019. Ecological memory and relocation decisions in fungal mycelial networks: responses to quantity and location of new resources. *The ISME Journal* 10.1038/s41396-018-0189-7.

Galland P. 2014. The sporangiophore of *Phycomyces blakesleeanus*: a tool to investigate fungal gravireception and graviresponses. *Plant Biology* 16: 58–68.

Gavito ME, Jakobsen I, Mikkelsen TN, Mora F. 2019. Direct evidence for modulation of photosynthesis by an arbuscular mycorrhiza-induced carbon sink strength. *New Phytologist* 223: 896–907.

Geml J, Wagner MR. 2018. Out of sight, but no longer out of mind—towards an increased recognition of the role of soil microbes in plant speciation. *New Phytologist* 217: 965–67.

Giauque H, Hawkes CV. 2013. Climate affects symbiotic fungal endophyte diversity and performance. *American Journal of Botany* 100: 1435–444.

Gilbert CD, Sigman M. 2007. Brain states: top-down influences in sensory processing. *Neuron* 54: 677–96.

Gilbert JA, Lynch SV. 2019. Community ecology as a framework for human microbiome research. *Nature Medicine* 25: 884–89.

Gilbert SF, Sapp J, Tauber AI. 2012. A symbiotic view of life: we have never been individuals. *The Quarterly Review of Biology* 87: 325–41.

Giovannetti M, Avio L, Fortuna P, Pellegrino E, Sbrana C, Strani P. 2006. At the Root of the Wood Wide Web. *Plant Signaling & Behavior* 1: 1–5.

Giovannetti M, Avio L, Sbrana C. 2015. "Functional Significance of Anastomosis in Arbuscular Mycorrhizal Networks." *Mycorrhizal Networks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing, s. 41–67.

Giovannetti M, Sbrana C, Avio L, Strani P. 2004. Patterns of below-ground plant interconnections established by means of arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist* 164: 175–81.

Gluck-Thaler E, Slot JC. 2015. Dimensions of horizontal gene transfer in eukaryotic microbial pathogens. *PLOS Pathogens* 11: e1005156.

Godfray CH, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM, Toulmin C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812–18.

Godfrey-Smith P. 2017. *Other Minds: The Octopus and the Evolution of Intelligent Life.* Londra, Birleşik Krallık: William Collins, Türkçesi: *Başka Zihinler: Ahtapot, Deniz ve Bilincin Derinlerdeki Kökleri*, çev: Belgin Selen Haktanır, İstanbul: Siyah Kitap, 2020.

Goffeau A, Barrell B, Bussey H, Davis R, Dujon B, Feldmann H, Galibert F, Hoheisel J, Jacq C, Johnston M ve diğ. 1996. Life with 6000 Genes. *Science* 274: 546–67.

Gogarten PJ, Townsend JP. 2005. Horizontal gene transfer, genome innovation and evolution. *Nature Reviews Microbiology* 3: 679–87.

Gond SK, Kharwar RN, White JF. 2014. Will fungi be the new source of the blockbuster drug taxol? *Fungal Biology Reviews* 28: 77–84.

Gontier N. 2015a. "Historical and Epistemological Perspectives on What Horizontal Gene Transfer Mechanisms Contribute to Our Understanding of Evolution." *Reticulate Evolution* içinde, haz Gontier N. Springer International Publishing.

Gontier N. 2015b. "Reticulate Evolution Everywhere." *Reticulate Evolution* içinde, haz. Gontier N. Springer International Publishing.

Gordon J, Knowlton N, Relman DA, Rohwer F, Youle M. 2013. Superorganisms and holobionts. *Microbe* 8: 152–53.

Goryachev AB, Lichius A, Wright GD, Read ND. 2012. Excitable behavior can explain the "ping-pong" mode of communication between cells using the same chemoattractant. *BioEssays* 34: 259–66.

Gorzelak MA, Asay AK, Pickles BJ, Simard SW. 2015. Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. *AoB PLANTS* 7: plv050.

Gott JR. 2016. *The Cosmic Web: Mysterious Architecture of the Universe.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Govoni F, Orrù E, Bonafede A, Iacobelli M, Paladino R, Vazza F, Murgia M, Vacca V, Giovannini G, Feretti L ve diğ. 2019. A radio ridge connecting two galaxy clusters in a filament of the cosmic web. *Science* 364: 981–84.

Gow NAR, Morris BM. 2009. The electric fungus. *Botanical Journal of Scotland* 47: 263–77.

Goward T. 1995. Here for a Long Time, Not a Good Time. *Nature Canada* 24: 9. www.waysofenlichenment.net/public/pdfs/Goward_1995_Here_for_a_good_time_not_a_long_time.pdf [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Goward T. 2009a. Twelve Readings on the Lichen Thallus IV—Re-emergence. *Evansia* 26: 1–6. www.waysofenlichenment.net/ways/readings/essay4 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Goward T. 2009b. Twelve Readings on the Lichen Thallus V—Conversational. *Evansia* 26: 31–37. www.waysofenlichenment.net/ways/readings/essay5 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Goward T. 2009c. Twelve Readings on the Lichen Thallus VII—Species. *Evansia* 26: 153–62. www.waysofenlichenment.net/ways/readings/essay7 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Goward T. 2010. Twelve Readings on the Lichen Thallus VIII—Theoretical. *Evansia* 27: 2–10. www.waysofenlichenment.net/ways/readings/essay8 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Gregory PH. 1982. Fairy rings; free and tethered. *Bulletin of the British Mycological Society* 16: 161–63.

Griffiths D. 2015. Queer Theory for Lichens. *UnderCurrents* 19: 36–45.

Griffiths R, Johnson M, Carducci M, Umbricht A, Richards W, Richards B, Cosimano M, Klinedinst M. 2016. Psilocybin produces substantial and sustained decreases in depression and anxiety in patients with life-threatening cancer: A randomized double-blind trial. *Journal of Psychopharmacology* 30: 1181–197.

Griffiths R, Richards W, Johnson M, McCann U, Jesse R. 2008. Mystical-type experiences occasioned by psilocybin mediate the attribution of personal meaning and spiritual significance 14 months later. *Journal of Psychopharmacology* 22: 621–32.

Grman E. 2012. Plant species differ in their ability to reduce allocation to non-beneficial arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology* 93: 711–18.

Grube M, Cernava T, Soh J, Fuchs S, Aschenbrenner I, Lassek C, Wegner U, Becher D, Riedel K, Sensen CW ve diğ. 2015. Exploring functional contexts of symbiotic sustain within lichen-associated bacteria by comparative omics. *The ISME Journal* 9: 412–24.

Gupta M., Prasad A, Ram M, Kumar S. 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* 81: 77–79.

Guzmán G, Allen JW, Gartz J. 1998. A worldwide geographical distribution of the neurotropic fungi, an analysis and discussion. *Annali del Museo Civico di Rovereto: Sezione Archeologia, Storia, Scienze Naturali.* 14: 189–280. www.

museocivico.rovereto.tn.it/UploadDocs/104_art09-Guzman%20&%20C.pdf [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Hague T, Florini M, Andrews P. 2013. Preliminary in vitro functional evidence for reflex responses to noxious stimuli in the arms of *Octopus vulgaris*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 447: 100–5.

Hall IR, Brown GT, Zambonelli A. 2007. *Taming the Truffle*. Portland, OR: Timber Press.

Hamden E. 2019. Observing the cosmic web. *Science* 366: 31–32.

Haneef M, Ceseracciu L, Canale C, Bayer IS, Heredia-Guerrero JA, Athanassiou A. 2017. Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports* 7: 41292.

Hanson KL, Nicolau DV, Filipponi L, Wang L, Lee AP, Nicolau DV. 2006. Fungi use efficient algorithms for the exploration of microfluidic networks. *Small* 2: 1212–220.

Haraway DJ. 2004. *Crystals, Fabrics, and Fields*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.

Haraway DJ. 2016. *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*. Durham, NC: Duke University Press.

Harms H, Schlosser D, Wick LY. 2011. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nature Reviews Microbiology* 9: 177–92.

Harold FM, Kropf DL, Caldwell JH. 1985. Why do fungi drive electric currents through themselves? *Experimental Mycology* 9: 183–86.

Hart MM, Antunes PM, Chaudhary V, Abbott LK. 2018. Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk? *Functional Ecology* 32: 126–35.

Hastings A, Abbott KC, Cuddington K, Francis T, Gellner G, Lai Y-C, Morozov A, Petrovskii S, Scranton K, Zeeman M. 2018. Transient phenomena in ecology. *Science* 361: eaat6412.

Hawksworth D. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 12: 1422–432.

Hawksworth D. 2009. "Mycology: A Neglected Megascience." *Applied Mycology* içinde, haz. Rai M, Bridge PD. Oxford, Birleşik Krallık: CABI, s. 1–16.

Hawksworth DL, Lücking R. 2017. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiology Spectrum* 5: FUNK-00522016.

Heads SW, Miller AN, Crane LJ, Thomas JM, Ruffatto DM, Methven AS, Raudabaugh DB, Wang Y. 2017. The oldest fossil mushroom. *PLOS ONE* 12: e0178327.

Hedger J. 1990. Fungi in the tropical forest canopy. *Mycologist* 4: 200–2.

Held M, Edwards C, Nicolau D. 2009. Fungal intelligence; Or on the behaviour of microorganisms in confined micro-environments. *Journal of Physics: Conference Series* 178: 012005.

Held M, Edwards C, Nicolau DV. 2011. Probing the growth dynamics of *Neurospora crassa* with microfluidic structures. *Fungal Biology* 115: 493–505.

Held M, Kašpar O, Edwards C, Nicolau DV. 2019. Intracellular mechanisms of fungal space searching in microenvironments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116: 13543–552.

Held M, Lee AP, Edwards C, Nicolau DV. 2010. Microfluidics structures for probing the dynamic behaviour of filamentous fungi. *Microelectronic Engineering* 87: 786–89.

Helgason T, Daniell T, Husband R, Fitter A, Young J. 1998. Ploughing up the wood-wide web? *Nature* 394: 431–31.

Hendricks PS. 2018. Awe: a putative mechanism underlying the effects of classic psychedelic-assisted psychotherapy. *International Review of Psychiatry* 30: 1–12.

Hibbett D, Blanchette R, Kenrick P, Mills B. 2016. Climate, decay, and the death of the coal forests. *Current Biology* 26: R563–R567.

Hibbett D, Gilbert L, Donoghue M. 2000. Evolutionary instability of ectomycorrhizal symbioses in basidiomycetes. *Nature* 407: 506–08.

Hickey PC, Dou H, Foshe S, Roper M. 2016. Anti-jamming in a fungal transport network. arXiv:1601:06097v1 (physics.bio-ph).

Hickey PC, Jacobson D, Read ND, Glass LN. 2002. Live-cell imaging of vegetative hyphal fusion in *Neurospora crassa*. *Fungal Genetics and Biology* 37: 109–19.

Hillman B. 2018. *Extra Hidden Life, Among the Days*. Middletown, CT: Wesleyan University Press.

Hiruma K, Kobae Y, Toju H. 2018. Beneficial associations between Brassicaceae plants and fungal endophytes under nutrient-limiting conditions: evolutionary origins and host-symbiont molecular mechanisms. *Current Opinion in Plant Biology* 44: 145–54.

Hittinger C. 2012. Endless rots most beautiful. *Science* 336: 1649–650.

Hoch HC, Staples RC, Whitehead B, Comeau J, Wolf ED. 1987. Signaling for growth orientation and cell differentiation by surface topography in *Uromyces*. *Science* 235: 1659–662.

Hoeksema J. 2015. "Experimentally Testing Effects of Mycorrhizal Networks on Plant-Plant Interactions and Distinguishing Among Mechanisms." *Mycorrhizal NetWorks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing, s. 255–77.

Hoeksema JD, Chaudhary VB, Gehring CA, Johnson NC, Karst J, Koide RT, Pringle A, Zabinski C, Bever JD, Moore JC ve diğ. 2010. A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Ecology Letters* 13: 394–407.

Hom EF, Murray AW. 2014. Niche engineering demonstrates a latent capacity for fungal-algal mutualism. *Science* 345: 94–98.

Honegger R. 2000. Simon Schwendener (1829–1919) and the dual hypothesis of lichens. *The Bryologist* 103: 307–13.

Honegger R, Edwards D, Axe L. 2012. The earliest records of internally stratified cyanobacterial and algal lichens from the Lower Devonian of the Welsh Borderland. *New Phytologist* 197: 264–75.

Honegger R, Edwards D, Axe L, Strullu-Derrien C. 2018. Fertile *Prototaxites taiti*: a basal ascomycete with inoperculate, polysporous asci lacking croziers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373: 20170146.

Hooks KB, Konsman J, O'Malley MA. 2018. Microbiota-gut-brain research: a critical analysis. *Behavioral and Brain Sciences* 42: e60.

Horie M, Honda T, Suzuki Y, Kobayashi Y, Daito T, Oshida T, Ikuta K, Jern P, Gojobori T, Coffin JM ve diğ. 2010. Endogenous non-retroviral RNA virus elements in mammalian genomes. *Nature* 463: 84–87.

Hortal S, Plett K, Plett J, Cresswell T, Johansen M, Pendall E, Anderson I. 2017. Role of plant–fungal nutrient trading and host control in determining the competitive success of ectomycorrhizal fungi. *The ISME Journal* 11: 2666–676.

Howard A. 1940. *An Agricultural Testament*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press. www.journeytoforever.org/farm_library/howardAT/ATtoc.html#contents [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Howard A. 1945. *Farming and Gardening for Health and Disease*. Londra, Birleşik Krallık: Faber and Faber. journeytoforever.org/farm_library/howardSH/SHtoc.html [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Howard R, Ferrari M, Roach D, Money N. 1991. Penetration of hard substrates by a fungus employing enormous turgor pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 88: 11281–284.

Hoysted GA, Kowal J, Jacob A, Rimington WR, Duckett JG, Pressel S, Orchard S, Ryan MH, Field KJ, Bidartondo MI. 2018. A mycorrhizal revolution. *Current Opinion in Plant Biology* 44: 1–6.

Hsueh Y-P, Mahanti P, Schroeder FC, Sternberg PW. 2013. Nematode-Trapping Fungi Eavesdrop on Nematode Pheromones. *Current Biology* 23: 83–86.

Huffnagle GB, Noverr MC. 2013. The emerging world of the fungal microbiome. *Trends in Microbiology* 21: 334–41.

Hughes DP. 2013. Pathways to understanding the extended phenotype of parasites in their hosts. *Journal of Experimental Biology* 216: 142–47.

Hughes DP, Araújo J, Loreto R, Quevillon L, de Bekker C, Evans H. 2016. From so simple a beginning: the evolution of behavioural manipulation by fungi. *Advances in Genetics* 94: 437–69.

Hughes DP. 2014. On the Origins of Parasite-Extended Phenotypes. *Integrative and Comparative Biology* 54: 210–17.

Hughes DP, Wappler T, Labandeira CC. 2011. Ancient death-grip leaf scars reveal ant–fungal parasitism. *Biology Letters* 7: 67–70.

Humboldt A von. 1849. *Cosmos: A Sketch of Physical Description of the Universe*. Londra, Birleşik Krallık: Henry G. Bohn.

Humboldt A von. 1845. *Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Stuttgart and Tübingen, GER: J.G. Cotta'schen Buchhandlungen. archive.org/details/b29329693_0001 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Humphrey N. 1976. "The Social Function of Intellect." *Growing Points in Ethology* içinde, haz. Bateson P, Hindle RA. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press, s. 303–17.

Hustak C, Myers N. 2012. Involutionary momentum: affective ecologies and the sciences of plant/insect encounters. *Differences* 23: 74–118.

Hyde K, Jones E, Leano E, Pointing S, Poonyth A, Vrijmoed L. 1998. Role of fungi in marine ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 7: 1147–161.

Ingold T. 2003. "Two Reflections on Ecological Knowledge." *Nature Knowledge: Ethnoscience, Cognition, and Utility* içinde, haz. Sanga G, Ortalli G. Oxford, Birleşik Krallık: Berghahn Books, s. 301–11.

Islam F, Ohga S. 2012. The response of fruit body formation on *Tricholoma matsutake in situ* condition by applying electric pulse stimulator. *ISRN Agronomy* 2012: 1–6.

Jackson S, Heath I. 1992. UV microirradiations elicit Ca2+-dependent apex-directed cytoplasmic contractions in hyphae. *Protoplasma* 170: 46–52.

Jacobs LF, Arter J, Cook A, Sulloway FJ. 2015. Olfactory orientation and navigation in humans. *PLOS ONE* 10: e0129387.

Jacobs R. 2019. *The Truffle Underground*. New York, NY: Clarkson Potter.

Jakobsen I, Hammer E. 2015. "Nutrient Dynamics in Arbuscular Mycorrhizal Networks." *Mycorrhizal Networks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing, s. 91–131.

James W. 2002. *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature (Yüzüncü Yıl Baskısı)*. Londra, Birleşik Krallık: Routledge.

Jedd G, Pieuchot L. 2012. Multiple modes for gatekeeping at fungal cell-to-cell channels. *Molecular Microbiology* 86: 1291–294.

Jenkins B, Richards TA. 2019. Symbiosis: wolf lichens harbour a choir of fungi. *Current Biology* 29: R88–R90.

Ji B, Bever JD. 2016. Plant preferential allocation and fungal reward decline with soil phosphorus: implications for mycorrhizal mutualism. *Ecosphere* 7: e01256.

Johnson D, Gamow R. 1971. The avoidance response in *Phycomyces*. *The Journal of General Physiology* 57: 41–49.

Johnson MW, Garcia-Romeu A, Cosimano MP, Griffiths RR. 2014. Pilot study of the 5-HT 2AR agonist psilocybin in the treatment of tobacco addiction. *Journal of Psychopharmacology* 28: 983–92.

Johnson MW, Garcia-Romeu A, Griffiths RR. 2015. Long-term follow-up of psilocybin-facilitated smoking cessation. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse* 43: 55–60.

Johnson MW, Garcia-Romeu A, Johnson PS, Griffiths RR. 2017. An online survey of tobacco smoking cessation associated with naturalistic psychedelic use. *Journal of Psychopharmacology* 31: 841–50.

Johnson NC, Angelard C, Sanders IR, Kiers TE. 2013. Predicting community and ecosystem outcomes of mycorrhizal responses to global change. *Ecology Letters* 16: 140–53.

Jolivet E, L'Haridon S, Corre E, Forterre P, Prieur D. 2003. *Thermococcus gammatolerans* sp. nov., a hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent that resists ionizing radiation. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 53: 847–51.

Jones MP, Lawrie AC, Huynh TT, Morrison PD, Mautner A, Bismarck A, John S. 2019. Agricultural by-product suitability for the production of chitinous composites and nanofibers. *Process Biochemistry* 80: 95–102.

Jönsson KI, Rabbow E, Schill RO, Harms-Ringdahl M, Rettberg P. 2008. Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Current Biology* 18: R729–R731.

Jönsson KI, Wojcik A. 2017. Tolerance to X-rays and heavy ions (Fe, He) in the tardigrade *Richtersius coronifer* and the bdelloid rotifer *Mniobia russeola*. *Astrobiology* 17: 163–67.

Kaminsky LM, Trexler RV, Malik RJ, Hockett KL, Bell TH. 2018. The inherent conflicts in developing soil microbial inoculants. *Trends in Biotechnology* 37: 140–51.

Kammerer L, Hiersche L, Wirth E. 1994. Uptake of radiocaesium by different species of mushrooms. *Journal of Environmental Radioactivity* 23: 135–50.

Karst J, Erbilgin N, Pec GJ, Cigan PW, Najar A, Simard SW, Cahill JF. 2015. Ectomycorrhizal fungi mediate indirect effects of a bark beetle outbreak on secondary chemistry and establishment of pine seedlings. *New Phytologist* 208: 904–14.

Katz SE. 2003. *Wild Fermentation*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing Company.

Kavaler L. 1967. *Mushrooms, Moulds and Miracles: The Strange Realm of Fungi*. Londra, Birleşik Krallık: George G. Harrap & Co.

Keijzer FA. 2017. Evolutionary convergence and biologically embodied cognition. *Journal of the Royal Society Interface Focus* 7: 20160123.

Keller EF. 1984. *A Feeling for the Organism*. New York, NY: Times Books.

Kelly JR, Borre Y, O'Brien C, Patterson E, Aidy El S, Deane J, Kennedy PJ, Beers S, Scott K, Moloney G ve diğ. 2016. Transferring the blues: Depression-associated gut microbiota induces neurobehavioural changes in the rat. *Journal of Psychiatric Research* 82: 109–18.

Kelty C. 2010. Outlaw, hackers, victorian amateurs: diagnosing public participation in the life sciences today. *Journal of Science Communication* 9.

Kendi IX. 2017. *Stamped from the Beginning*. New York, NY: Nation Books.

Kennedy PG, Walker JKM, Bogar LM. 2015. "Interspecific Mycorrhizal Networks and Non-networking Hosts: Exploring the Ecology of the Host Genus *Alnus*." *Mycorrhizal Networks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing, s. 227–54.

Kerényi C. 1976. *Dionysus: Archetypal Image of Indestructible Life*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Kern VD. 1999. Gravitropism of basidiomycetous fungi—On Earth and in microgravity. *Advances in Space Research* 24: 697–706.

Khan S, Nadir S, Shah Z, Shah A, Karunarathna SC, Xu J, Khan A, Munir S, Hasan F. 2017. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis*. *Environmental Pollution* 225: 469–80.

Kiers ET, Denison RF. 2014. Inclusive fitness in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 369: 20130367.

Kiers TE, Duhamel M, Beesetty Y, Mensah JA, Franken O, Verbruggen E, Fellbaum C, Fellbaum CR, Kowalchuk GA ve diğ. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science* 333: 880–82.

Kiers TE, West SA, Wyatt GA, Gardner A, Bücking H, Werner GD. 2016. Misconceptions on the application of biological market theory to the mycorrhizal symbiosis. *Nature Plants* 2: 16063.

Kim G, LeBlanc ML, Wafula EK, dePamphilis CW, Westwood JH. 2014. Genomic-scale exchange of mRNA between a parasitic plant and its hosts. *Science* 345: 808–11.

Kimmerer RW. 2013. *Braiding Sweetgrass*. Minneapolis, MN: Milkweed Editions, Türkçesi: *Bitkilerin Ruhu*, çev. Ayşe Başcı, İstanbul: Mundi Kitap, 2022.

King A. 2017. Technology: The Future of Agriculture. *Nature* 544: S21–S23.

King FH. 1911. *Farmers of Forty Centuries*. Emmaus, PA: Organic Gardening Press. soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010122king/ffc.html [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Kivlin SN, Emery SM, Rudgers JA. 2013. Fungal symbionts alter plant responses to global change. *American Journal of Botany* 100: 1445–457.

Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 303–13.

Klein T, Siegwolf RT, Körner C. 2016. Belowground carbon trade among tall trees in a temperate forest. *Science* 352: 342–44.

Kozo-Polyanksy BM. 2010. *Symbiogenesis: A New Principle of Evolution*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Krebs TS, Johansen P-Ø. 2012. Lysergic acid diethylamide (LSD) for alcoholism: meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Psychopharmacology* 26: 994–1002.

Kroken S. 2007. "Miss Potter's First Love"—A Rejoinder. *Inoculum* 58: 14.

Kusari S, Singh S, Jayabaskaran C. 2014. Biotechnological potential of plant-associated endophytic fungi: hope versus hype. *Trends in Biotechnology* 32: 297–303.

Ladinsky D. 2002. *Love Poems from God*. New York, NY: Penguin.

Ladinsky D. 2010. *A Year with Hafiz: Daily Contemplations*. New York, NY: Penguin.

Lai J, Koh C, Tjota M, Pieuchot L, Raman V, Chandrababu K, Yang D, Wong L, Jedd G. 2012. Intrinsically disordered proteins aggregate at fungal cell-to-cell channels and regulate intercellular connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 15781–786.

Lalley J, Viles H. 2005. Terricolous lichens in the northern Namib Desert of Namibia: distribution and community composition. *The Lichenologist* 37: 77–91.

Lanfranco L, Fiorilli V, Gutjahr C. 2018. Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 220: 1031–46.

Latty T, Beekman M. 2011. Irrational decision-making in an amoeboid organism: transitivity and context-dependent preferences. *Proceedings of the Royal Society B* 278: 307–12.

Leake J, Johnson D, Donnelly D, Muckle G, Boddy L, Read D. 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany* 82: 1016–45.

Leake J, Read D. 2017. "Mycorrhizal Symbioses and Pedogenesis Throughout Earth's History." *Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage* içinde, haz. Johnson N, Gehring C, Jansa J. Oxford, Birleşik Krallık: Elsevier, s. 9–33.

Leary T. 2005. "The Initiation of the 'High Priest'." *Sacred Mushroom of Visions: Teonanacatl* içinde, haz. Metzner R. Rochester, VT: Park Street Press, 160–78.

Lederberg J. 1952. Cell genetics and hereditary symbiosis. *Physiological Reviews* 32: 403–30.

Lederberg J, Cowie D. 1958. Moondust; the study of this covering layer by space vehicles may offer clues to the biochemical origin of life. *Science* 127: 1473–475.

Ledford H. 2019. Billion-year-old fossils set back evolution of earliest fungi. *Nature*: www.nature.com/articles/d41586-019-01629-1 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Lee NN, Friz J, Fries MD, Gil JF, Beck A, Pellinen-Wannberg A, Schmitz B, Steele A, Hofmann BA. 2017. "The Extreme Biology of Meteorites: Their Role in Understanding the Origin and Distribution of Life on Earth and in the Universe." *Adaptation of Microbial Life to Environmental Extremes* içinde, haz. Stan-Lotter H, Fendrihan S. Springer International Publishing, s. 283–325.

Lee Y, Mazmanian SK. 2010. Has the microbiota played a critical role in the evolution of the adaptive immune system? *Science* 330: 1768–773.

Legras J, Merdinoglu D, Couet J, Karst F. 2007. Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history. *Molecular Ecology* 16: 2091–102.

Le Guin U. 2017. "Deep in Admiration." *Arts of Living on a Damaged Planet: Ghosts of the Anthropocene* içinde, haz. Tsing A, Swanson H, Gan E, Bubandt N. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, s. M15–M21.

Lehmann A, Leifheit EF, Rillig MC. 2017. "Mycorrhizas and Soil Aggregation." *Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage* içinde, haz. Johnson N, Gehring C, Jansa J. Oxford, Birleşik Krallık: Elsevier, s. 241–62.

Leifheit EF, Veresoglou SD, Lehmann A, Morris KE, Rillig MC. 2014. Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation—a meta-analysis. *Plant and Soil* 374: 523–37.

Lekberg Y, Helgason T. 2018. *In situ* mycorrhizal function—knowledge gaps and future directions. *New Phytologist* 220: 957–62.

Leonhardt Y, Kakoschke S, Wagener J, Ebel F. 2017. Lah is a transmembrane protein and requires Spa10 for stable positioning of Woronin bodies at the septal pore of *Aspergillus fumigatus*. *Scientific Reports* 7: 44179.

Letcher A. 2006. *Shroom: A Cultural History of the Magic Mushroom*. Londra, Birleşik Krallık: Faber and Faber.

Levin M. 2012. Morphogenetic fields in embryogenesis, regeneration, and cancer: non-local control of complex patterning. *Biosystems* 109: 243–61.

Levin M. 2011. The wisdom of the body: future techniques and approaches to morphogenetic fields in regenerative medicine, developmental biology and cancer. *Regenerative Medicine* 6: 667–73.

Levin SA. 2005. Self-organization and the emergence of complexity in ecological systems. *BioScience* 55: 1075–79.

Lévi-Strauss C. 1973. *From Honey to Ashes: Introduction to a Science of Mythology, 2*. New York, NY: Harper & Row.

Lewontin R. 2001. *It Ain't Necessarily So: The Dream of the Human Genome and Other Illusions*. New York, NY: New York Review of Books.

Lewontin R. 2000. *The Triple Helix: Gene, Organism, and Environment*. Cambridge, MA: Harvard University Press, Türkçesi: *Üçlü Sarmal: Gen, Organizma ve Çevre*, çev. Ergi Deniz Özsoy, İstanbul: Say Yayınları, 2013

Li N, Alfiky A, Vaughan MM, Kang S. 2016. Stop and smell the fungi: fungal volatile metabolites are overlooked signals involved in fungal interaction with plants. *Fungal Biology Reviews* 30: 134–44.

Li Q, Yan L, Ye L, Zhou J, Zhang B, Peng W, Zhang X, Li X. 2018. Chinese black truffle (*Tuber indicum*) alters the ectomycorrhizosphere and endoectomycosphere microbiome and metabolic profiles of the host tree *Quercus aliena*. *Frontiers in Microbiology* 9: 2202.

Lindahl B, Finlay R, Olsson S. 2001. Simultaneous, bidirectional translocation of 32P and 33P between wood blocks connected by mycelial cords of *Hypholoma fasciculare*. *New Phytologist* 150: 189–94.

Linnakoski R, Reshamwala D, Veteli P, Cortina-Escribano M, Vanhanen H, Marjomäki V. 2018. Antiviral agents from fungi: diversity, mechanisms and potential applications. *Frontiers in Microbiology* 9: 2325.

Lintott C. 2019. *The Crowd and the Cosmos: Adventures in the Zooniverse*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Lipnicki LI. 2015. The role of symbiosis in the transition of some eukaryotes from aquatic to terrestrial environments. *Symbiosis* 65: 39–53.

Liu J, Martinez-Corral R, Prindle A, Lee D-YD, Larkin J, Gabalda-Sagarra M, Garcia-Ojalvo J, Süel GM. 2017. Coupling between distant biofilms and emergence of nutrient time-sharing. *Science* 356: 638–42.

Lohberger A, Spangenberg JE, Ventura Y, Bindschedler S, Verrecchia EP, Bshary R, Junier P. 2019. Effect of organic carbon and nitrogen on the interactions of *Morchella* spp. and bacteria dispersing on their mycelium. *Frontiers in Microbiology* 10: 124.

Löpez-Franco R, Bracker CE. 1996. Diversity and dynamics of the Spitzenkörper in growing hyphal tips of higher fungi. *Protoplasma* 195: 90–111.

Loron CC, François C, Rainbird RH, Turner EC, Borensztajn S, Javaux EJ. 2019. Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada. *Nature* 570: 232–35.

Lovett B, Bilgo E, Millogo S, Ouattarra A, Sare I, Gnambani E, Dabire RK, Diabate A, Leger RJ. 2019. Transgenic *Metarhizium* rapidly kills mosquitoes in a malaria-endemic region of Burkina Faso. *Science* 364: 894–97.

Lu C, Yu Z, Tian H, Hennessy DA, Feng H, Al-Kaisi M, Zhou Y, Sauer T, Arritt R. 2018. Increasing carbon footprint of grain crop production in the US Western Corn Belt. *Environmental Research Letters* 13: 124007.

Luo J, Chen X, Crump J, Zhou H, Davies DG, Zhou G, Zhang N, Jin C. 2018. Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete. *Construction and Building Materials* 164: 275–85.

Lutzoni F, Nowak MD, Alfaro ME, Reeb V, Miadlikowska J, Krug M, Arnold EA, Lewis LA, Swofford DL, Hibbett D ve diğ. 2018. Contemporaneous radiations of fungi and plants linked to symbiosis. *Nature Communications* 9: 5451.

Lutzoni F, Pagel M, Reeb V. 2001. Major fungal lineages are derived from lichen symbiotic ancestors. *Nature* 411: 937–40.

Ly C, Greb AC, Cameron LP, Wong JM, Barragan EV, Wilson PC, Burbach KF, Zarandi S, Sood A, Paddy MR ve diğ. 2018. Psychedelics promote structural and functional neural plasticity. *Cell Reports* 23: 3170–182.

Lyons T, Carhart-Harris RL. 2018. Increased nature relatedness and decreased authoritarian political views after psilocybin for treatment-resistant depression. *Journal of Psychopharmacology* 32: 811–19.

Ma Z, Guo D, Xu X, Lu M, Bardgett RD, Eissenstat DM, McCormack LM, Hedin LO. 2018. Evolutionary history resolves global organization of root functional traits. *Nature* 555: 94–97.

MacLean KA, Johnson MW, Griffiths RR. 2011. Mystical experiences occasioned by the hallucinogen psilocybin lead to increases in the personality domain of openness. *Journal of Psychopharmacology* 25: 1453–461.

Mangold CA, Ishler MJ, Loreto RG, Hazen ML, Hughes DP. 2019. Zombie ant death grip due to hypercontracted mandibular muscles. *Journal of Experimental Biology* 222: jeb200683.

Manicka S, Levin M. 2019. The Cognitive Lens: a primer on conceptual tools for analysing information processing in developmental and regenerative morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20180369.

Manoharan L, Rosenstock NP, Williams A, Hedlund K. 2017. Agricultural management practices influence AMF diversity and community composition with cascading effects on plant productivity. *Applied Soil Ecology* 115: 53–59.

Mardhiah U, Caruso T, Gurnell A, Rillig MC. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. *Applied Soil Ecology* 99: 137–40.

Margonelli L. 2018. *Underbug: An Obsessive Tale of Termites and Technology*. New York, NY: Farrar, Straus and Giroux.

Margulis L. 1996. "Gaia Is a Tough Bitch." *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution* içinde, haz. John Brockman. New York, NY: Touchstone, Türkçesi: *Üçüncü Kültür: Bilimsel Devrimin Ötesi*, çev. Yelda Türedi, İstanbul: Alfa Yayınları, 2015.

Margulis L. 1981. *Symbiosis in Cell Evolution: Life and Its Environment on the Early Earth*. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company.

Margulis L. 1999. *The Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*. Londra, Birleşik Krallık: Phoenix, Türkçesi: *Ortakyaşam Gezegeni: Evrime Yeni Bir Bakış*, çev. Ela Uluhan, İstanbul: Varlık Yayınları, 2001.

Markram H, Muller E, Ramaswamy S, Reimann MW, Abdellah M, Sanchez C, Ailamaki A, Alonso-Nanclares L, Antille N, Arsever S ve diğ. 2015. Reconstruction and simulation of neocortical microcircuitry. *Cell* 163: 456–92.

Marley G. 2010. *Chanterelle Dreams, Amanita Nightmares: The Love, Lore, and Mystique of Mushrooms*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing Company.

Márquez LM, Redman RS, Rodriguez RJ, Roossinck MJ. 2007. A virus in a fungus in a plant: three-way symbiosis required for thermal tolerance. *Science* 315: 513–15.

Martin FM, Uroz S, Barker DG. 2017. Ancestral alliances: Plant mutualistic symbioses with fungi and bacteria. *Science* 356: eaad4501.

Martinez-Corral R, Liu J, Prindle A, Süel GM, Garcia-Ojalvo J. 2019. Metabolic basis of brain-like electrical signalling in bacterial communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20180382.

Martínez-García LB, De Deyn GB, Pugnaire FI, Kothamasi D, van der Heijden MG. 2017. Symbiotic soil fungi enhance ecosystem resilience to climate change. *Global Change Biology* 23: 5228–236.

Masiulionis VE, Weber RW, Pagnocca FC. 2013. Foraging of *Psilocybe* basidiocarps by the leaf-cutting ant *Acromyrmex lobicornis* in Santa Fé, Argentina. *SpringerPlus* 2: 254.

Mateus ID, Masclaux FG, Aletti C, Rojas EC, Savary R, Dupuis C, Sanders IR. 2019. Dual RNA-seq reveals large-scale non-conserved genotype × genotype-specific genetic reprograming and molecular crosstalk in the mycorrhizal symbiosis. *The ISME Journal* 13: 1226–238.

Matossian MK. 1982. Ergot and the Salem Witchcraft Affair: An outbreak of a type of food poisoning known as convulsive ergotism may have led to the 1692 accusations of witchcraft. *American Scientist* 70: 355–57.

Matsuura K, Yashiro T, Shimizu K, Tatsumi S, Tamura T. 2009. Cuckoo fungus mimics termite eggs by producing the cellulose-digesting enzyme β-Glucosidase. *Current Biology* 19: 30–36.

Matsuura Y, Moriyama M, Łukasik P, Vanderpool D, Tanahashi M, Meng X-Y, McCutcheon JP, Fukatsu T. 2018. Recurrent symbiont recruitment from fungal parasites in cicadas. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: E5970–E5979.

Maugh TH. 1982. The scent makes sense. *Science* 215: 1224.

Maxman A. 2019. CRISPR might be the banana's only hope against a deadly fungus. *Nature*: www.nature.com/articles/d41586-019-02770-7 [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Mazur S. 2009. Lynn Margulis: Intimacy of Strangers & Natural Selection. *Scoop*: www.scoop.co.nz/stories/HL0903/S00194/lynn-margulis-intimacy-of-strangers-natural-selection.htm [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Mazzucato L, Camera LG, Fontanini A. 2019. Expectation-induced modulation of metastable activity underlies faster coding of sensory stimuli. *Nature Neuroscience* 22: 787–796.

McCoy P. 2016. *Radical Mycology: A Treatise on Working and Seeing with Fungi.* Portland, OR: Chthaeus Press.

McFall-Ngai M. 2007. Adaptive Immunity: Care for the community. *Nature* 445: 153.

McGann JP. 2017. Poor human olfaction is a 19th-century myth. *Science* 356: eaam7263.

McGuire KL. 2007. Common ectomycorrhizal networks may maintain monodominance in a tropical rain forest. *Ecology* 88: 567–74.

McKenna D. 2012. *Brotherhood of the Screaming Abyss*. Clearwater, MN: North Star Press of St. Cloud Inc.

McKenna T. 1992. *Food of the Gods: The Search for the Original Tree of Knowledge*. New York, NY: Bantam Books.

McKenna T, McKenna D (Oss OT, Oeric ON). 1976. *Psilocybin: Magic Mushroom Grower's Guide.* Berkeley, CA: AND/OR Press.

McKenzie RN, Horton BK, Loomis SE, Stockli DF, Planavsky NJ, Lee C-TA. 2016. Continental arc volcanism as the principal driver of icehouse-greenhouse variability. *Science* 352: 444–47.

McKerracher L, Heath I. 1986a. Fungal nuclear behavior analysed by ultraviolet microbeam irradiation. *Cell Motility and the Cytoskeleton* 6: 35–47.

McKerracher L, Heath I. 1986b. Polarized cytoplasmic movement and inhibition of saltations induced by calcium-mediated effects of microbeams in fungal hyphae. *Cell Motility and the Cytoskeleton* 6: 136–45.

Meeßen J, Backhaus T, Brandt A, Raguse M, Böttger U, de Vera JP, de la Torre R. 2017. The effect of high-dose ionizing radiation on the isolated photobiont of the astrobiological model lichen *Circinaria gyrosa*. *Astrobiology* 17: 154–62.

Mejía LC, Herre EA, Sparks JP, Winter K, García MN, Bael SA, Stitt J, Shi Z, Zhang Y, Guiltinan MJ ve diğ. 2014. Pervasive effects of a dominant foliar endophytic fungus on host genetic and phenotypic expression in a tropical tree. *Frontiers in Microbiology* 5: 479.

Merckx V. 2013. "Mycoheterotrophy: An Introduction." *Mycoheterotrophy—The Biology of Plants Living on Fungi* içinde, haz. Merckx V. Springer International Publishing, s. 1–18.

Merleau-Ponty M. 2002. *Phenomenology of Perception.* Londra, Birleşik Krallık: Routledge Classics.

Meskkauskas A, McNulty LJ, Moore D. 2004. Concerted regulation of all hyphal tips generates fungal fruit body structures: experiments with computer visualizations produced by a new mathematical model of hyphal growth. *Mycological Research* 108: 341–53.

Metzner R. 2005. "Introduction: Visionary Mushrooms of the Americas." *Sacred Mushroom of Visions: Teonanacatl* içinde, haz. Metzner R. Rochester, VT: Park Street Press, s. 1–48.

Miller MJ, Albarracin-Jordan J, Moore C, Capriles JM. 2019. Chemical evidence for the use of multiple psychotropic plants in a 1.000-year-old ritual bundle from South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116: 11207–212.

Mills BJ, Batterman SA, Field KJ. 2017. Nutrient acquisition by symbiotic fungi governs Palaeozoic climate transition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373: 20160503.

Milner DS, Attah V, Cook E, Maguire F, Savory FR, Morrison M, Müller CA, Foster PG, Talbot NJ, Leonard G ve diğ. 2019. Environment-dependent fitness gains can be driven by horizontal gene transfer of transporter-encoding genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116: 201815994.

Moeller HV, Neubert MG. 2016. Multiple friends with benefits: an optimal mutualist management strategy? *The American Naturalist* 187: E1–E12.

Mohajeri HM, Brummer RJ, Rastall RA, Weersma RK, Harmsen HJ, Faas M, Eggersdorfer M. 2018. The role of the microbiome for human health: from basic science to clinical applications. *European Journal of Nutrition* 57: 1–14.

Mohan JE, Cowden CC, Baas P, Dawadi A, Frankson PT, Helmick K, Hughes E, Khan S, Lang A, Machmuller M ve diğ. 2014. Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review. *Fungal Ecology* 10: 3–19.

Moisan K, Cordovez V, van de Zande EM, Raaijmakers JM, Dicke M, Lucas-Barbosa D. 2019. Volatiles of pathogenic and non-pathogenic soil-borne fungi affect plant development and resistance to insects. *Oecologia* 190: 589–604.

Monaco E. 2017. The Secret History of Paris's Catacomb Mushrooms. *Atlas Obscura*: www.atlasobscura.com/articles/paris-catacomb-mushrooms [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Mondo SJ, Lastovetsky OA, Gaspar ML, Schwardt NH, Barber CC, Riley R, Sun H, Grigoriev IV, Pawlowska TE. 2017. Bacterial endosymbionts influence host sexuality and reveal reproductive genes of early divergent fungi. *Nature Communications* 8: 1843.

Money NP. 2013. Against the naming of fungi. *Fungal Biology* 117: 463–65.

Money NP. 2004a. The fungal dining habit: a biomechanical perspective. *Mycologist* 18: 71–76.

Money NP. 2016. *Fungi: A Very Short Introduction.* Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Money NP. 1999. Fungus punches its way in. *Nature* 401: 332–33.

Money NP. 1998. More g's than the Space Shuttle: ballistospore discharge. *Mycologia* 90: 547.

Money NP. 2018. *The Rise of Yeast*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Money NP. 2004b. Theoretical biology: mushrooms in cyberspace. *Nature* 431: 32.

Money NP. 2007. *Triumph of the Fungi: A Rotten History*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Montañez I. 2016. A Late Paleozoic climate window of opportunity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 2334–336.

Montiel-Castro AJ, González-Cervantes RM, Bravo-Ruiseco G, Pacheco-López G. 2013. The microbiota-gut-brain axis: neurobehavioral correlates, health and sociality. *Frontiers in Integrative Neuroscience* 7: 70.

Moore D. 2013a. *Fungal Biology in the Origin and Emergence of Life*. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.

Moore D. 1996. Graviresponses in fungi. *Advances in Space Research* 17: 73–82.

Moore D. 2005. Principles of mushroom developmental biology. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 7: 79–101.

Moore, D. 2013b. *Slayers, Saviors, Servants, and Sex: An Exposé of Kingdom Fungi*. Springer International Publishing.

Moore D, Hock B, Greening JP, Kern VD, Frazer L, Monzer J. 1996. Gravimorphogenesis in agarics. *Mycological Research* 100: 257–73.

Moore D, Robson GD, Trinci APJ. 2011. *21st Century Guidebook to Fungi*. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.

Mousavi SA, Chauvin A, Pascaud F, Kellenberger S, Farmer EE. 2013. GLUTAMATE RECEPTOR-LIKE genes mediate leaf-to-leaf wound signalling. *Nature* 500: 422–26.

Muday GK, Brown-Harding H. 2018. Nervous system-like signaling in plant defense. *Science* 361: 1068–69.

Mueller RC, Scudder CM, Whitham TG, Gehring CA. 2019. Legacy effects of tree mortality mediated by ectomycorrhizal fungal communities. *New Phytologist* 224: 155–65.

Muir J. 1912. *The Yosemite*. New York, NY: The Century Company. vault. sierraclub.org/john_muir_exhibit/writings/the_yosemite/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Myers N. 2014. Conversations on plant sensing: notes from the field. *NatureCulture* 3: 35–66.

Naef R. 2011. The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: a review. *Flavour and Fragrance Journal* 26: 73–87.

Nakagaki T, Yamada H, Tóth A. 2000. Maze-solving by an amoeboid organism. *Nature* 407: 470.

Nelson ML, Dinardo A, Hochberg J, Armelagos GJ. 2010. Mass spectroscopic characterization of tetracycline in the skeletal remains of an ancient population from Sudanese Nubia 350–550 CE. *American Journal of Physical Anthropology* 143: 151–54.

Nelsen MP, DiMichele WA, Peters SE, Boyce KC. 2016. Delayed fungal evolution did not cause the Paleozoic peak in coal production. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 2442–447.

Newman EI. 1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research* 18: 243–70.

Nikolova I, Johanson KJ, Dahlberg A. 1997. Radiocaesium in fruitbodies and mycorrhizae in ectomycorrhizal fungi. *Journal of Environmental Radioactivity* 37: 115–25.

Niksic M, Hadzic I, Glisic M. 2004. Is *Phallus impudicus* a mycological giant? *Mycologist* 18: 21–22.

Noë R, Hammerstein P. 1995. Biological markets. *Trends in Ecology & Evolution* 10: 336–39.

Noë R, Kiers TE. 2018. Mycorrhizal Markets, Firms, and Co-ops. *Trends in Ecology & Evolution* 33: 777–89.

Nordbring-Hertz B. 2004. Morphogenesis in the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys oligospora*—an extensive plasticity of infection structures. *Mycologist* 18: 125–33.

Nordbring-Hertz B, Jansson H, Tunlid A. 2011. "Nematophagous Fungi." In *Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester, Birleşik Krallık: John Wiley & Sons Ltd.

Novikova N, Boever P, Poddubko S, Deshevaya E, Polikarpov N, Rakova N, Coninx I, Mergeay M. 2006. Survey of environmental biocontamination on board the International Space Station. *Research in Microbiology* 157: 5–12.

Oettmeier C, Brix K, Döbereiner H-G. 2017. *Physarum polycephalum*—a new take on a classic model system. *Journal of Physics D: Applied Physics* 50: 41.

Oliveira AG, Stevani CV, Waldenmaier HE, Viviani V, Emerson JM, Loros JJ, Dunlap JC. 2015. Circadian control sheds light on fungal bioluminescence. *Current Biology* 25: 964–68.

Olsson S. 2009. "Nutrient Translocation and Electrical Signalling in Mycelia." *The Fungal Colony* içinde, haz. Gow NAR, Robson GD, Gadd GM. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press, s. 25–48.

Olsson S, Hansson B. 1995. Action potential–like activity found in fungal mycelia is sensitive to stimulation. *Naturwissenschaften* 82: 30–31.

O'Malley MA. 2015. Endosymbiosis and its implications for evolutionary theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 10270–277.

Oolbekkink GT, Kuyper TW. 1989. Radioactive caesium from Chernobyl in fungi. *Mycologist* 3: 3–6.

O'Regan HJ, Lamb AL, Wilkinson DM. 2016. The missing mushrooms: Searching for fungi in ancient human dietary analysis. *Journal of Archaeological Science* 75: 139–43.

Orrell P. 2018. *Linking Above and Below-Ground Interactions in Agro-Ecosystems: An Ecological Network Approach.* PhD thesis, University of Newcastle, Newcastle, Birleşik Krallık. theses.ncl.ac.uk/jspui/handle/10443/4102 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Osborne OG, De-Kayne R, Bidartondo MI, Hutton I, Baker WJ, Turnbull CG, Savolainen V. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi promote coexistence and niche divergence of sympatric palm species on a remote oceanic island. *New Phytologist* 217: 1254–266.

Ott J. 2002. Pharmaka, philtres, and pheromones. Getting high and getting off. *MAPS* XII: 26–32.

Otto S, Bruni EP, Harms H, Wick LY. 2017. Catch me if you can: dispersal and foraging of *Bdellovibrio bacteriovorus* 109J along mycelia. *The ISME Journal* 11: 386–93.

Ouellette NT. 2019. Flowing crowds. *Science* 363: 27–28.

Oukarroum A, Gharous M, Strasser RJ. 2017. Does *Parmelina tiliacea* lichen photosystem II survive at liquid nitrogen temperatures? *Cryobiology* 74: 160–62.

Ovidius. 1958. *Ovid: The Metamorphoses*, çev. Gregory H. New York, NY: Viking Press, Türkçesi: Dönüşümler, çev. İsmet Zeki Eyuboğlu, İstanbul: Payel Yayınevi, 1994.

Pagán OR. 2019. The brain: a concept in flux. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20180383.

Paglia C. 2001. *Sexual Personae: Art and Decadence from Nefertiti to Emily Dickinson*. New Haven, CT: Yale University Press.

Pan X, Pike A, Joshi D, Bian G, McFadden MJ, Lu P, Liang X, Zhang F, Raikhel AS, Xi Z. 2017. The bacterium *Wolbachia* exploits host innate immunity to establish a symbiotic relationship with the dengue vector mosquito *Aedes aegypti*. *The ISME Journal* 12: 277–88.

Patra S, Banerjee S, Terejanu G, Chanda A. 2015. Subsurface pressure profiling: a novel mathematical paradigm for computing colony pressures on substrate during fungal infections. *Scientific Reports* 5: 12928.

Peay KG. 2016. The mutualistic niche: mycorrhizal symbiosis and community dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 47: 1–22.

Peay KG, Kennedy PG, Talbot JM. 2016. Dimensions of biodiversity in the Earth mycobiome. *Nature Reviews Microbiology* 14: 434–47.

Peintner U, Poder R, Pumpel T. 1998. The iceman's fungi. *Mycological Research* 102: 1153–162.

Pennazza G, Fanali C, Santonico M, Dugo L, Cucchiarini L, Dachà M, D'Amico A, Costa R, Dugo P, Mondello L. 2013. Electronic nose and GC–MS analysis of volatile compounds in *Tuber magnatum* Pico: Evaluation of different storage conditions. *Food Chemistry* 136: 668–74.

Pennisi E. 2019a. Algae suggest eukaryotes get many gifts of bacteria DNA. *Science* 363: 439–40.

Pennisi E. 2019b. Chemicals released by bacteria may help gut control the brain, mouse study suggests. *Science*: www.sciencemag.org/news/2019/10/chemicals-released-bacteria-may-help-gut-control-brain-mouse-study-suggests [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Peris JE, Rodríguez A, Peña L, Fedriani J. 2017. Fungal infestation boosts fruit aroma and fruit removal by mammals and birds. *Scientific Reports* 7: 5646.

Perrottet T. 2006. Mt. Rushmore. *Smithsonian Magazine*: www.smithsonianmag.com/travel/mt-rushmore-116396890/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Petri G, Expert P, Turkheimer F, Carhart-Harris R, Nutt D, Hellyer P, Vaccarino F. 2014. Homological scaffolds of brain functional networks. *Journal of The Royal Society Interface* 11: 20140873.

Pfeffer C, Larsen S, Song J, Dong M, Besenbacher F, Meyer R, Kjeldsen K, Schreiber L, Gorby YA, El-Naggar MY ve diğ. 2012. Filamentous bacteria transport electrons over centimetre distances. *Nature* 491: 218–21.

Phillips RP, Brzostek E, Midgley MG. 2013. The mycorrhizal-associated nutrient economy: a new framework for predicting carbon–nutrient couplings in temperate forests. *New Phytologist* 199: 41–51.

Pickles B, Egger K, Massicotte H, Green D. 2012. Ectomycorrhizas and climate change. *Fungal Ecology* 5: 73–84.

Pickles BJ, Wilhelm R, Asay AK, Hahn AS, Simard SW, Mohn WW. 2017. Transfer of 13C between paired Douglas-fir seedlings reveals plant kinship effects and uptake of exudates by ectomycorrhizas. *New Phytologist* 214: 400–11.

Pion M, Spangenberg J, Simon A, Bindschedler S, Flury C, Chatelain A, Bshary R, Job D, Junier P. 2013. Bacterial farming by the fungus *Morchella crassipes*. *Proceedings of the Royal Society B* 280: 20132242.

Pirozynski KA, Malloch DW. 1975. The origin of land plants: A matter of mycotrophism. *Biosystems* 6: 153–64.

Pither J, Pickles BJ, Simard SW, Ordonez A, Williams JW. 2018. Below-ground biotic interactions moderated the postglacial range dynamics of trees. *New Phytologist* 220: 1148–160.

Policha T, Davis A, Barnadas M, Dentinger BT, Raguso RA, Roy BA. 2016. Disentangling visual and olfactory signals in mushroom-mimicking *Dracula* orchids using realistic three-dimensional printed flowers. *New Phytologist* 210: 1058–71.

Pollan M. 2018. *How to Change Your Mind: The New Science of Psychedelics*. Londra, Birleşik Krallık: Penguin.

Pollan M. 2013. The Intelligent Plant. *The New Yorker*: michaelpollan.com/articles-archive/the-intelligent-plant/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Popkin G. 2017. Bacteria Use Brainlike Bursts of Electricity to Communicate. *Quanta*: www.quantamagazine.org/bacteria-use-brainlike-bursts-of-electricity-to-communicate-20170905/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Porada P, Weber B, Elbert W, Pöschl U, Kleidon A. 2014. Estimating impacts of lichens and bryophytes on global biogeochemical cycles. *Global Biogeochemical Cycles* 28: 71–85.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25: 345–53.

Poulsen M, Hu H, Li C, Chen Z, Xu L, Otani S, Nygaard S, Nobre T, Klaubauf S, Schindler PM ve diğ. 2014. Complementary symbiont contributions to plant decomposition in a fungus-farming termite. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 14500–505.

Powell JR, Rillig MC. 2018. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytologist* 220: 1059–75.

Powell M. 2014. *Medicinal Mushrooms: A Clinical Guide*. Bath, Birleşik Krallık: Mycology Press.

Pozo MJ, López-Ráez JA, Azcón-Aguilar C, García-Garrido JM. 2015. Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist* 205: 1431–436.

Prasad S. 2018. An ingenious way to combat India's suffocating pollution. *The Washington Post*: www.washingtonpost.com/news/theworldpost/wp/2018/08/01/india-pollution/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Pressel S, Bidartondo MI, Ligrone R, Duckett JG. 2010. Fungal symbioses in bryophytes: New insights in the Twenty First Century. *Phytotaxa* 9: 238–53.

Prigogine I, Stengers I. 1984. *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. New York, NY: Bantam Books.

Prindle A, Liu J, Asally M, Ly S, Garcia-Ojalvo J, Süel GM. 2015. Ion channels enable electrical communication in bacterial communities. *Nature* 527: 59–63.

Purschwitz J, Müller S, Kastner C, Fischer R. 2006. Seeing the rainbow: light sensing in fungi. *Current Opinion in Microbiology* 9: 566–71.

Quéré C, Andrew RM, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, Pickers P, Korsbakken J, Peters GP, Canadell JG ve diğ. 2018. Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data Discussions*: https://doi.org/10:5194/essd-2018-120 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Quintana-Rodriguez E, Rivera-Macias LE, Adame-Alvarez RM, Torres J, Heil M. 2018. Shared weapons in fungus-fungus and fungus-plant interactions? Volatile organic compounds of plant or fungal origin exert direct antifungal activity *in vitro*. *Fungal Ecology* 33: 115–21.

Quirk J, Andrews M, Leake J, Banwart S, Beerling D. 2014. Ectomycorrhizal fungi and past high CO2 atmospheres enhance mineral weathering through increased below-ground carbon-energy fluxes. *Biology Letters* 10: 20140375.

Rabbow E, Horneck G, Rettberg P, Schott J-U, Panitz C, L'Afflitto A, Heise-Rotenburg von R, Willnecker R, Baglioni P, Hatton J ve diğ. 2009. EXPOSE, an astrobiological exposure facility on the International Space Station—from proposal to flight. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 39: 581–98.

Raes J. 2017. Crowdsourcing Earth's microbes. *Nature* 551: 446–47.

Rambold G, Stadler M, Begerow D. 2013. Mycology should be recognized as a field in biology at eye level with other major disciplines—a memorandum. *Mycological Progress* 12: 455–63.

Ramsbottom J. 1953. *Mushrooms and Toadstools*. Londra, Birleşik Krallık: Collins.

Raverat G. 1952. *Period Piece: A Cambridge Childhood*. Londra, Birleşik Krallık: Faber.

Rayner A. 1997. *Degrees of Freedom*. Londra, Birleşik Krallık: World Scientific.

Rayner A, Griffiths GS, Ainsworth AM. 1995. Mycelial Interconnectedness. *The Growing Fungus* içinde, haz. Gow NAR, Gadd GM. Londra, Birleşik Krallık: Chapman & Hall, s. 21–40.

Rayner M. 1945. *Trees and Toadstools*. Londra, Birleşik Krallık: Faber and Faber.

Read D. 1997. Mycorrhizal fungi: The ties that bind. *Nature* 388: 517–18.

Read N. 2018. "Fungal cell structure and organization." *Oxford Textbook of Medical Mycology* içinde, haz. Kibbler CC, Barton R, Gow NAR, Howell S, MacCallum DM, Manuel RJ. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press, s. 23–34.

Read ND, Lichius A, Shoji J, Goryachev AB. 2009. Self-signalling and self-fusion in filamentous fungi. *Current Opinion in Microbiology* 12: 608–15.

Redman RS, Rodriguez RJ. 2017. "The Symbiotic Tango: Achieving Climate-Resilient Crops Via Mutualistic Plant-Fungus Relationships." *Functional Importance of the Plant Microbiome, Implications for Agriculture, Forestry and Bioenergy* içinde, haz. Doty S. Springer International Publishing, s. 71–87.

Rees B, Shepherd VA, Ashford AE. 1994. Presence of a motile tubular vacuole system in different phyla of fungi. *Mycological Research* 98: 985–92.

Reid CR, Latty T, Dussutour A, Beekman M. 2012. Slime mold uses an externalized spatial "memory" to navigate in complex environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 17490–494.

Relman DA. 2008. "Til death do us part": coming to terms with symbiotic relationships. Forward. *Nature Reviews Microbiology* 6: 721–24.

Reynaga-Peña CG, Bartnicki-García S. 2005. Cytoplasmic contractions in growing fungal hyphae and their morphogenetic consequences. *Archives of Microbiology* 183: 292–300.

Reynolds HT, Vijayakumar V, Gluck-Thaler E, Korotkin H, Matheny P, Slot JC. 2018. Horizontal gene cluster transfer increased hallucinogenic mushroom diversity. *Evolution Letters* 2: 88–101.

Rich A. 1994. "Notes Toward a Politics of Location." *Blood, Bread, and Poetry: Selected Prose, 1979–1985* içinde. New York, NY: W. W. Norton.

Richards TA, Leonard G, Soanes DM, Talbot NJ. 2011. Gene transfer into the fungi. *Fungal Biology Reviews* 25: 98–110.

Rillig MC, Aguilar-Trigueros CA, Camenzind T, Cavagnaro TR, Degrune F, Hohmann P, Lammel DR, Mansour I, Roy J, van der Heijden MG ve diğ. 2019. Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis: A response to Ryan & Graham (2018) "Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops." *New Phytologist* 222: 1171–175.

Rillig MC, Lehmann A, Lehmann J, Camenzind T, Rauh C. 2018. Soil Biodiversity Effects from Field to Fork. *Trends in Plant Science* 23: 17–24.

Riquelme M. 2012. Tip growth in filamentous fungi: a road trip to the apex. *Microbiology* 67: 587–609.

Ritz K, Young I. 2004. Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist* 18: 52–59.

Robinson JM. 1990. Lignin, land plants, and fungi: Biological evolution affecting Phanerozoic oxygen balance. *Geology* 18: 607–10.

Rodriguez R, White JF, Arnold A, Redman R. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist* 182: 314–30.

Rodriguez-Romero J, Hedtke M, Kastner C, Müller S, Fischer R. 2010. Fungi, hidden in soil or up in the air: light makes a difference. *Microbiology* 64: 585–610.

Rogers R. 2012. *The Fungal Pharmacy*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.

Roper M, Dressaire E. 2019. Fungal biology: bidirectional communication across fungal networks. *Current Biology* 29: R130–R132.

Roper M, Lee C, Hickey PC, Gladfelter AS. 2015. Life as a moving fluid: fate of cytoplasmic macromolecules in dynamic fungal syncytia. *Current Opinion in Microbiology* 26: 116–22.

Roper M, Seminara A. 2017. Mycofluidics: the fluid mechanics of fungal adaptation. *Annual Review of Fluid Mechanics* 51: 1–28.

Roper M, Seminara A, Bandi M, Cobb A, Dillard HR, Pringle A. 2010. Dispersal of fungal spores on a cooperatively generated wind. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 17474–479.

Roper M, Simonin A, Hickey PC, Leeder A, Glass LN. 2013. Nuclear dynamics in a fungal chimera. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 12875–880.

Ross AA, Müller KM, Weese JS, Neufeld JD. 2018. Comprehensive skin microbiome analysis reveals the uniqueness of human skin and evidence for phylosymbiosis within the class Mammalia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: E5786–E5795.

Ross S, Bossis A, Guss J, Agin-Liebes G, Malone T, Cohen B, Mennenga S, Belser A, Kalliontzi K, Babb J ve diğ. 2016. Rapid and sustained symptom reduction following psilocybin treatment for anxiety and depression in patients with life-threatening cancer: a randomized controlled trial. *Journal of Psychopharmacology* 30: 1165–180.

Roughgarden J. 2013. *Evolution's Rainbow*. Berkeley, CA: University of California Press.

Rouphael Y, Franken P, Schneider C, Schwarz D, Giovannetti M, Agnolucci M, Pascale S, Bonini P, Colla G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 196: 91–108.

Rubini A, Riccioni C, Arcioni S, Paolocci F. 2007. Troubles with truffles: unveiling more of their biology. *New Phytologist* 174: 256–59.

Russell B. 1956. *Portraits from Memory and Other Essays*. New York, NY: Simon and Schuster.

Ryan MH, Graham JH. 2018. Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops. *New Phytologist* 220: 1092–107.

Sagan L. 1967. On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology* 14: 225–74.

Salvador-Recatalà V, Tjallingii FW, Farmer EE. 2014. Real-time, in vivo intracellular recordings of caterpillar-induced depolarization waves in sieve elements using aphid electrodes. *New Phytologist* 203: 674–84.

Sample I. 2018. Magma shift may have caused mysterious seismic wave event. *The Guardian*: www.theguardian.com/science/2018/nov/30/magma-shift-mysterious-seismic-wave-event-mayotte [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Samorini G. 2002. *Animals and Psychedelics: The Natural World and the Instinct to Alter Consciousness*. Rochester, VT: Park Street Press.

Sancho LG, de la Torre R, Pintado A. 2008. Lichens, new and promising material from experiments in astrobiology. *Fungal Biology Reviews* 22: 103–9.

Sapp J. 2004. The dynamics of symbiosis: an historical overview. *Canadian Journal of Botany* 82: 1046–56.

Sapp J. 1994. *Evolution by Association*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Sapp J. 2009. *The New Foundations of Evolution*. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Sapp J. 2016. The Symbiotic Self. *Evolutionary Biology* 43: 596–603.

Sapsford SJ, Paap T, Hardy GE, Burgess TI. 2017. The "chicken or the egg": which comes first, forest tree decline or loss of mycorrhizae? *Plant Ecology* 218: 1093–106.

Sarrafchi A, Odhammer AM, Salazar L, Laska M. 2013. Olfactory sensitivity for six predator odorants in cd-1 mice, human subjects, and spider monkeys. *PLOS ONE* 8: e80621.

Saupe S. 2000. Molecular genetics of heterokaryon incompatibility in filamentous ascomycetes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64: 489–502.

Scharf C. 2016. How the Cold War Created Astrobiology. *Nautilus*: nautil.us/issue/32/space/how-the-cold-war-created-astrobiology-rp [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Scharlemann JP, Tanner EV, Hiederer R, Kapos V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5: 81–91.

Schenkel D, Maciá-Vicente JG, Bissell A, Splivallo R. 2018. Fungi indirectly affect plant root architecture by modulating soil volatile organic compounds. *Frontiers in Microbiology* 9: 1847.

Schmieder SS, Stanley CE, Rzepiela A, van Swaay D, Sabotič J, Nørrelykke SF, deMello AJ, Aebi M, Künzler M. 2019. Bidirectional propagation of signals and nutrients in fungal networks via specialized hyphae. *Current Biology* 29: 217–28.

Schmull M, Dal-Forno M, Lücking R, Cao S, Clardy J, Lawrey JD. 2014. *Dictyonema huaorani* (Agaricales: Hygrophoraceae), a new lichenized basidiomycete from Amazonian Ecuador with presumed hallucinogenic properties. *The Bryologist* 117: 386–94.

Schultes RE. 1940. Teonanacatl: The Narcotic Mushroom of the Aztecs. *American Anthropologist* 42: 429–43.

Schultes RE, Hofmann A, Rätsch C. 2001. *Plants of the Gods: Their Sacred, Healing, and Hallucinogenic Powers*. Rochester, VT: Healing Arts Press, 2. basım.

Seaward M. 2008. "Environmental role of lichens." *Lichen Biology* içinde, haz. Nash TH. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press, s. 274–98.

Selosse M-A. 2002. *Prototaxites*: a 400 Myr old giant fossil, a saprophytic holobasidiomycete, or a lichen? *Mycological Research* 106: 641–44.

Selosse M-A, Schneider-Maunoury L, Martos F. 2018. Time to re-think fungal ecology? Fungal ecological niches are often prejudged. *New Phytologist* 217: 968–72.

Selosse M-A, Schneider-Maunoury L, Taschen E, Rousset F, Richard F. 2017. Black truffle, a hermaphrodite with forced unisexual behaviour. *Trends in Microbiology* 25: 784–87.

Selosse M-A, Strullu-Derrien C, Martin FM, Kamoun S, Kenrick P. 2015. Plants, fungi and oomycetes: a 400-million year affair that shapes the biosphere. *New Phytologist* 206: 501–6.

Selosse M-A, Tacon LF. 1998. The land flora: a phototroph-fungus partnership? *Trends in Ecology & Evolution* 13: 15–20.

Sergeeva NG, Kopytina NI. 2014. The first marine filamentous fungi discovered in the bottom sediments of the oxic/anoxic interface and in the bathyal zone of the black sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 14: 497–505.

Sheldrake M, Rosenstock NP, Revillini D, Olsson PA, Wright SJ, Turner BL. 2017. A phosphorus threshold for mycoheterotrophic plants in tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B* 284: 20162093.

Shepherd V, Orlovich D, Ashford A. 1993. Cell-to-cell transport via motile tubules in growing hyphae of a fungus. *Journal of Cell Science* 105: 1173–178.

Shomrat T, Levin M. 2013. An automated training paradigm reveals long-term memory in planarians and its persistence through head regeneration. *Journal of Experimental Biology* 216: 3799–810.

Shukla V, Joshi GP, Rawat MSM. 2010. Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: a review. *Phytochemical Reviews* 9: 303–14.

Siegel RK. 2005. *Intoxication: The Universal Drive for Mind-Altering Substances*. Rochester, VT: Park Street Press.

Silvertown J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* 24: 467–71.

Simard S. 2018. "Mycorrhizal Networks Facilitate Tree Communication, Learning, and Memory." *Memory and Learning in Plants* içinde, haz. Baluska F, Gagliano M, Witzany G. Springer International Publishing, s. 191–213.

Simard S, Asay A, Beiler K, Bingham M, Deslippe J, He X, Phillip L, Song Y, Teste F. 2015. "Resource Transfer Between Plants Through Ectomycorrhizal Fungal Networks." *Mycorrhizal Networks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing, s. 133–76.

Simard S, Perry DA, Jones MD, Myrold DD, Durall DM, Molina R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388: 579–82.

Simard SW, Beiler KJ, Bingham MA, Deslippe JR, Philip LJ, Teste FP. 2012. Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. *Fungal Biology Reviews* 26: 39–60.

Singh H. 2006. *Mycoremediation.* New York, NY: John Wiley & Sons.

Slayman C, Long W, Gradmann D. 1976. "Action potentials" in *Neurospora crassa*, a mycelial fungus. *Biochimica et Biophysica Acta* 426: 732–44.

Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis.* Londra, Birleşik Krallık: Academic Press.

Solé R, Moses M, Forrest S. 2019. Liquid brains, solid brains. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20190040.

Soliman S, Greenwood JS, Bombarely A, Mueller LA, Tsao R, Mosser DD, Raizada MN. 2015. An endophyte constructs fungicide-containing extracellular barriers for its host plant. *Current Biology* 25: 2570–576.

Song Y, Simard SW, Carroll A, Mohn WW, Zeng R. 2015a. Defoliation of interior Douglas-fir elicits carbon transfer and stress signalling to ponderosa pine neighbors through ectomycorrhizal networks. *Scientific Reports* 5: 8495.

Song Y, Ye M, Li C, He X, Zhu-Salzman K, Wang R, Su Y, Luo S, Zeng R. 2015b. Hijacking common mycorrhizal networks for herbivore-induced defence signal transfer between tomato plants. *Scientific Reports* 4: 3915.

Song Y, Zeng R. 2010. Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. *PLOS ONE* 5: e11324.

Southworth D, He X-H, Swenson W, Bledsoe C, Horwath W. 2005. Application of network theory to potential mycorrhizal networks. *Mycorrhiza* 15: 589–95.

Spanos NP, Gottleib J. 1976. Ergotism and the Salem village witch trials. *Science* 194: 1390–4.

Splivallo R, Fischer U, Göbel C, Feussner I, Karlovsky P. 2009. Truffles regulate plant root morphogenesis via the production of auxin and ethylene. *Plant Physiology* 150: 2018–29.

Splivallo R, Novero M, Bertea CM, Bossi S, Bonfante P. 2007. Truffle volatiles inhibit growth and induce an oxidative burst in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist* 175: 417–24.

Splivallo R, Ottonello S, Mello A, Karlovsky P. 2011. Truffle volatiles: from chemical ecology to aroma biosynthesis. *New Phytologist* 189: 688–99.

Spribille T. 2018. Relative symbiont input and the lichen symbiotic outcome. *Current Opinion in Plant Biology* 44: 57–63.

Spribille T, Tuovinen V, Resl P, Vanderpool D, Wolinski H, Aime CM, Schneider K, Stabentheiner E, Toome-Heller M, Thor G ve diğ. 2016. Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science* 353: 488–92.

Stamets P. 2005. "Global Ecologies, World Distribution, and Relative Potency of Psilocybin Mushrooms." *Sacred Mushroom of Visions: Teonanacatl* içinde, haz. Metzner R. Rochester, VT: Park Street Press, s. 69–75.

Stamets P. 2011. *Mycelium Running.* Berkeley, CA: Ten Speed Press.

Stamets P. 1996. *Psilocybin Mushrooms of the World.* Berkeley, CA: Ten Speed Press.

Stamets PE, Naeger NL, Evans JD, Han JO, Hopkins BK, Lopez D, Moershel HM, Nally R, Sumerlin D, Taylor AW ve diğ. 2018. Extracts of polypore mushroom mycelia reduce viruses in honey bees. *Scientific Reports* 8: 13936.

State of the World's Fungi. 2018. Royal Botanic Gardens, Kew, UK. stateoftheworldsfungi.org [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Steele EJ, Al-Mufti S, Augustyn KA, Chandrajith R, Coghlan JP, Coulson SG, Ghosh S, Gillman M, Gorczynski RM, Klyce B ve diğ. 2018. Cause of Cambrian Explosion—Terrestrial or cosmic? *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 136: 3–23.

Steidinger B, Crowther T, Liang J, Nuland VM, Werner G, Reich P, Nabuurs G, de-Miguel S, Zhou M, Picard N ve diğ. 2019. Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses. *Nature* 569: 404–8.

Steinberg G. 2007. Hyphal growth: a tale of motors, lipids, and the spitzenkörper. *Eukaryotic Cell* 6: 351–60.

Steinhardt JB. 2018. *Mycelium is the Message: open science, ecological values, and alternative futures with do-it-yourself mycologists.* Doktora tezi, Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara, CA.

Stierle A, Strobel G, Stierle D. 1993. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of Pacific yew. *Science* 260: 214–16.

Stough JM, Yutin N, Chaban YV, Moniruzzaman M, Gann ER, Pound HL, Steffen MM, Black JN, Koonin EV, Wilhelm SW ve diğ. 2019. Genome and environmental activity of a chrysochromulina parva virus and its virophages. *Frontiers in Microbiology* 10: 703.

Strullu-Derrien C, Selosse M-A, Kenrick P, Martin FM. 2018. The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. *New Phytologist* 220: 1012–30.

Studerus E, Kometer M, Hasler F, Vollenweider FX. 2011. Acute, subacute and long-term subjective effects of psilocybin in healthy humans: a pooled analysis of experimental studies. *Journal of Psychopharmacology* 25: 1434–452.

Stukeley W. 1752. *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life.* Yayımlanmamış; Kraliyet Cemiyeti'nin internet sitesinden erişilebilir: ttp.royalsociety.org/ttp/ttp.html?id=1807da00-909a-4abf-b9c1-0279a08e4bf2&type=book [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Suarato G, Bertorelli R, Athanassiou A. 2018. Borrowing from nature: biopolymers and biocomposites as smart wound care materials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 6: 137.

Sudbery P, Gow N, Berman J. 2004. The distinct morphogenic states of *Candida albicans. Trends in Microbiology* 12: 317–24.

Swift RS. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166: 858–71.

Taiz L, Alkon D, Draguhn A, Murphy A, Blatt M, Hawes C, Thiel G, Robinson DG. 2019. Plants neither possess nor require consciousness. *Trends in Plant Science* 24: 677–87.

Takaki K, Yoshida K, Saito T, Kusaka T, Yamaguchi R, Takahashi K, Sakamoto Y. 2014. Effect of electrical stimulation on fruit body formation in cultivating mushrooms. *Microorganisms* 2: 58–72.

Talou T, Gaset A, Delmas M, Kulifaj M, Montant C. 1990. Dimethyl sulphide: the secret for black truffle hunting by animals? *Mycological Research* 94: 277–78.

Tanney JB, Visagie CM, Yilmaz N, Seifert KA. 2017. Aspergillus subgenus *Polypaecilum* from the built environment. *Studies in Mycology* 88: 237–67.

Taschen E, Rousset F, Sauve M, Benoit L, Dubois M-P, Richard F, Selosse M-A. 2016. How the truffle got its mate: insights from genetic structure in spontaneous and planted Mediterranean populations of *Tuber melanosporum*. *Molecular Ecology* 25: 5611–627.

Taylor A, Flatt A, Beutel M, Wolff M, Brownson K, Stamets P. 2015. Removal of *Escherichia coli* from synthetic stormwater using mycofiltration. *Ecological Engineering* 78: 79–86.

Taylor L, Leake J, Quirk J, Hardy K, Banwart S, Beerling D. 2009. Biological weathering and the long-term carbon cycle: integrating mycorrhizal evolution and function into the current paradigm. *Geobiology* 7: 171–91.

Taylor T, Klavins S, Krings M, Taylor E, Kerp H, Hass H. 2007. Fungi from the Rhynie chert: a view from the dark side. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 94: 457–73.

Temple R. 2007. The prehistory of panspermia: astrophysical or metaphysical? *International Journal of Astrobiology* 6: 169–80.

Tero A, Takagi S, Saigusa T, Ito K, Bebber DP, Flicker MD, Yumiki K, Kobayashi R, Nakagaki T. 2010. Rules for biologically inspired adaptive network design. *Science* 327: 439–42.

Terrer C, Vicca S, Hungate BA, Phillips RP, Prentice IC. 2016. Mycorrhizal association as a primary control of the CO2 fertilization effect. *Science* 353: 72–74.

Thierry G. 2019. Lab-grown mini brains: we can't dismiss the possibility that they could one day outsmart us. *The Conversation*: theconversation.com/lab-grown-mini-brains-we-cant-dismiss-the-possibility-that-they-could-one-day-outsmart-us-125842 [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Thirkell TJ, Charters MD, Elliott AJ, Sait SM, Field KJ. 2017. Are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security. *Journal of Ecology* 105: 921–29.

Thirkell TJ, Pastok D, Field KJ. 2019. Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration. *Global Change Biology*: DOI: 10:1111/gcb.14851.

Thomas P, Büntgen U. 2017. First harvest of Périgord black truffle in the UK as a result of climate change. *Climate Research* 74: 67–70.

Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 20260–264.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–77.

Tkavc R, Matrosova VY, Grichenko OE, Gostinčar C, Volpe RP, Klimenkova P, Gaidamakova EK, Zhou CE, Stewart BJ, Lyman MG ve diğ. 2018. Prospects for Fungal Bioremediation of Acidic Radioactive Waste Sites: Characterization and Genome Sequence of *Rhodotorula taiwanensis* MD1149. *Frontiers in Microbiology* 8: 2528.

Tlalka M, Bebber DP, Darrah PR, Watkinson SC, Fricker MD. 2007. Emergence of self-organised oscillatory domains in fungal mycelia. *Fungal Genetics and Biology* 44: 1085–95.

Tlalka M, Hensman D, Darrah P, Watkinson S, Fricker MD. 2003. Noncircadian oscillations in amino acid transport have complementary profiles in assimilatory and foraging hyphae of *Phanerochaete velutina*. *New Phytologist* 158: 325–35.

Toju H, Guimarães PR, Olesen JM, Thompson JN. 2014. Assembly of complex plant–fungus networks. *Nature Communications* 5: 5273.

Toju H, Peay KG, Yamamichi M, Narisawa K, Hiruma K, Naito K, Fukuda S, Ushio M, Nakaoka S, Onoda Y ve diğ. 2018. Core microbiomes for sustainable agroecosystems. *Nature Plants* 4: 247–57.

Toju H, Sato H. 2018. Root-associated fungi shared between arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal conifers in a temperate forest. *Frontiers in Microbiology* 9: 433.

Toju H, Yamamoto S, Tanabe AS, Hayakawa T, Ishii HS. 2016. Network modules and hubs in plant-root fungal biomes. *Journal of the Royal Society Interface* 13: 20151097.

Tolkien JRR. 2014. *The Lord of the Rings*. Londra, Birleşik Krallık: Harper Collins, Türkçesi: *Yüzüklerin Efendisi*, çev. Çiğdem Erkal Yeşilbademli, İstanbul: Metis Yayınları, 1998.

Tornberg K, Olsson S. 2002. Detection of hydroxyl radicals produced by wood-decomposing fungi. *FEMS Microbiology Ecology* 40: 13–20.

Torri L, Migliorini P, Masoero G. 2013. Sensory test vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. *Food Research International* 54: 1400–408.

Toyota M, Spencer D, Sawai-Toyota S, Jiaqi W, Zhang T, Koo AJ, Howe GA, Gilroy S. 2018. Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling. *Science* 361: 1112–115.

Trappe J. 2015. "Foreword." *Mycorrhizal Networks* içinde, haz. Horton T. Springer International Publishing.

Trappe JM. 2005. A. B. Frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologic theory. *Mycorrhiza* 15: 277–81.

Trewavas A. 2016. Intelligence, Cognition, and Language of Green Plants. *Frontiers in Psychology* 7: 588.

Trewavas A. 2014. *Plant Behaviour and Intelligence.* Oxford, Birleşik Krallık: Oxford University Press.

Trewavas A. 2007. Response to Alpi et al.: Plant neurobiology—all metaphors have value. *Trends in Plant Science* 12: 231–33.

Trivedi DK, Sinclair E, Xu Y, Sarkar D, Walton-Doyle C, Liscio C, Banks P, Milne J, Silverdale M, Kunath T ve diğ. 2019. Discovery of volatile biomarkers of Parkinson's disease from sebum. *ACS Central Science* 5: 599–606.

Tsing AL. 2015. *The Mushroom at the End of the World.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Tuovinen V, Ekman S, Thor G, Vanderpool D, Spribille T, Johannesson H. 2019. Two basidiomycete fungi in the cortex of wolf lichens. *Current Biology* 29: 476–83.

Tyne D, Manson AL, Huycke MM, Karanicolas J, Earl AM, Gilmore MS. 2019. Impact of antibiotic treatment and host innate immune pressure on enterococcal adaptation in the human bloodstream. *Science Translational Medicine* 11: eaat8418.

Umehata H, Fumagalli M, Smail I, Matsuda Y, Swinbank AM, Cantalupo S, Sykes C, Ivison RJ, Steidel CC, Shapley AE ve diğ. 2019. Gas filaments of the cosmic web located around active galaxies in a protocluster. *Science* 366: 97–100.

Vadder F, Grasset E, Holm L, Karsenty G, Macpherson AJ, Olofsson LE, Bäckhed F. 2018. Gut microbiota regulates maturation of the adult enteric nervous system via enteric serotonin networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 6458–463.

Vahdatzadeh M, Deveau A, Splivallo R. 2015. The role of the microbiome of truffles in aroma formation: a meta-analysis approach. *Applied and Environmental Microbiology* 81: 6946–952.

Vajda V, McLoughlin S. 2004. Fungal proliferation at the cretaceous-tertiary boundary. *Science* 303: 1489– 489.

Valles-Colomer M, Falony G, Darzi Y, Tigchelaar EF, Wang J, Tito RY, Schiweck C, Kurilshikov A, Joossens M, Wijmenga C ve diğ. 2019. The neuroactive potential of the human gut microbiota in quality of life and depression. *Nature Microbiology*: 623–32.

van Delft FC, Ipolitti G, Nicolau DV, Perumal A, Kašpar O, Kheireddine S, Wachsmann-Hogiu S, Nicolau DV. 2018. Something has to give: scaling

combinatorial computing by biological agents exploring physical networks encoding NP-complete problems. *Journal of the Royal Society Interface Focus* 8: 20180034.

van der Heijden MG. 2016. Underground networking. *Science* 352: 290–91.

van der Heijden MG, Bardgett RD, Straalen NM. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11: 296–310.

van der Heijden MG, Dombrowski N, Schlaeppi K. 2017. Continuum of root-fungal symbioses for plant nutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 11574– 576.

van der Heijden MG, Horton TR. 2009. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology* 97:. 1139– 150. van der Heijden MG, Walder F. 2016. Reply to "Misconceptions on the application of biological market theory to the mycorrhizal symbiosis." *Nature Plants* 2: 16062.

van der Linde S, Suz LM, Orme DC, Cox F, Andreae H, Asi E, Atkinson B, Benham S, Carroll C, Cools N ve diğ. 2018. Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558: 243– 48.

Vannini C, Carpentieri A, Salvioli A, Novero M, Marsoni M, Testa L, Pinto M, Amoresano A, Ortolani F, Bracale M ve diğ. 2016. An interdomain network: the endobacterium of a mycorrhizal fungus promotes antioxidative responses in both fungal and plant hosts. *New Phytologist* 211: 265–75.

Van Tyne D, Manson AL, Huycke MM, Karanicolas J, Earl AM, Gilmore MS. 2019. Impact of antibiotic treatment and host innate immune pressure on enterococcal adaptation in the human bloodstream. *Science Translational Medicine* 487: eaat8418.

Venner S, Feschotte C, Biémont C. 2009. Dynamics of transposable elements: towards a community ecology of the genome. *Trends in Genetics* 25: 317– 23.

Verbruggen E, Röling WF, Gamper HA, Kowalchuk GA, Verhoef HA, van der Hei-jden MG. 2010. Positive effects of organic farming on below- ground mutualists: large- scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist* 186: 968– 79.

Vetter W, Roberts D. 2007. Revisiting the organohalogens associated with 1979- samples of Brazilian bees (*Eufriesea purpurata*). *Science of the Total Environment* 377: 371– 77.

Vita F, Taiti C, Pompeiano A, Bazihizina N, Lucarotti V, Mancuso S, Alpi A. 2015. Volatile organic compounds in truffle (*Tuber magnatum* Pico): comparison of samples from different regions of Italy and from different seasons. *Scientific Reports* 5: 12629.

Viveiros de Castro E. 2004. Exchanging perspectives: the transformation of objects into subjects in amerindian ontologies. *Common Knowledge*: 463–84.

von Bertalanffy L. 1933. *Modern Theories of Development: An Introduction to Theoretical Biology*. Londra, Birleşik Krallık: Humphrey Milford.

Wadley G, Hayden B. 2015. Pharmacological influences on the Neolithic Transition. *Journal of Ethnobiology* 35: 566–84.

Wagg C, Bender FS, Widmer F, van der Heijden MG. 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 5266–270.

Wainwright M. 1989a. Moulds in ancient and more recent medicine. *Mycologist* 3: 21–23.

Wainwright M. 1989b. Moulds in Folk Medicine. *Folklore* 100: 162–66.

Wainwright M, Rally L, Ali T. 1992. The scientific basis of mould therapy. *Mycologist* 6: 108–10.

Walder F, Niemann H, Natarajan M, Lehmann MF, Boller T, Wiemken A. 2012. Mycorrhizal networks: common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant Physiology* 159: 789–97.

Walder F, van der Heijden MG. 2015. Regulation of resource exchange in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature Plants* 1: 15159.

Waller LP, Felten J, Hiiesalu I, Vogt-Schilb H. 2018. Sharing resources for mutual benefit: crosstalk between disciplines deepens the understanding of mycorrhizal symbioses across scales. *New Phytologist* 217: 29–32.

Wang B, Yeun L, Xue J, Liu Y, Ané J, Qiu Y. 2010. Presence of three mycorrhizal genes in the common ancestor of land plants suggests a key role of mycorrhizas in the colonization of land by plants. *New Phytologist* 186: 514–25.

Wasson G, Hofmann A, Ruck C. 2009. *The Road to Eleusis: Unveiling the Secret of the Mysteries*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.

Wasson G, Kramrisch S, Ott J, Ruck C. 1986. *Persephone's Quest: Entheogens and the Origins of Religion*. New Haven, CT: Yale University Press.

Wasson VP, Wasson G. 1957. *Mushrooms, Russia and History*. New York, NY: Pantheon Books, Inc.

Watanabe S, Tero A, Takamatsu A, Nakagaki T. 2011. Traffic optimization in railroad networks using an algorithm mimicking an amoeba-like organism, *Physarum plasmodium*. *Biosystems* 105: 225–32.

Watkinson SC, Boddy L, Money N. 2015. *The Fungi*. Londra, Birleşik Krallık: Academic Press.

Watts J. 2018. Scientists identify vast underground ecosystem containing billions of micro-organisms. *The Guardian*: www.theguardian.com/science/2018/dec/10/tread-softly-because-you-tread-on-23bn-tonnes-of-micro-organisms [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Watts-Williams SJ, Cavagnaro TR. 2014. Nutrient interactions and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of a mycorrhiza-defective mutant and wild-type tomato genotype pair. *Plant and Soil* 384: 79–92.

Wellman CH, Strother PK. 2015. The terrestrial biota prior to the origin of land plants (embryophytes): a review of the evidence. *Palaeontology* 58: 601–27.

Weremijewicz J, da Sternberg L, Janos DP. 2016. Common mycorrhizal networks amplify competition by preferential mineral nutrient allocation to large host plants. *New Phytologist* 212: 461–71.

Werner GD, Kiers TE. 2015. Partner selection in the mycorrhizal mutualism. *New Phytologist* 205: 1437–442.

Werner GD, Strassmann JE, Ivens AB, Engelmoer DJ, Verbruggen E, Queller DC, Noë R, Johnson N, Hammerstein P, Kiers TE. 2014. Evolution of microbial markets. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 1237–244.

Werrett S. 2019. *Thrifty Science: Making the Most of Materials in the History of Experiment*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

West M. 2019. Putting the "I" in science. *Nature*: www.nature.com/articles/d41586-019-03051-z [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Westerhoff HV, Brooks AN, Simeonidis E, García-Contreras R, He F, Boogerd FC, Jackson VJ, Goncharuk V, Kolodkin A. 2014. Macromolecular networks and intelligence in microorganisms. *Frontiers in Microbiology* 5: 379.

Weyrich LS, Duchene S, Soubrier J, Arriola L, Llamas B, Breen J, Morris AG, Alt KW, Caramelli D, Dresely V ve diğ. 2017. Neanderthal behaviour, diet, and disease inferred from ancient DNA in dental calculus. *Nature* 544: 357–61.

Whiteside MD, Werner GDA, Caldas VEA, Van't Padje A, Dupin SE, Elbers B, Bakker M, Wyatt GAK, Klein M, Hink MA ve diğ. 2019. Mycorrhizal fungi respond to resource inequality by moving phosphorus from rich to poor patches across networks. *Current Biology* 29: 2043–50.

Whittaker R. 1969. New Concepts of Kingdoms of Organisms. *Science* 163: 150–60.

Wiens F, Zitzmann A, Lachance M-A, Yegles M, Pragst F, Wurst FM, von Holst D, Guan S, Spanagel R. 2008. Chronic intake of fermented floral nectar by wild treeshrews. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 10426–431.

Wilkinson DM. 1998. The evolutionary ecology of mycorrhizal networks. *Oikos* 82: 407–10.

Willerslev R. 2007. *Soul Hunters: Hunting, Animism, and Personhood among the Siberian Yukaghirs*. Berkeley, CA: University of California Press.

Wilson GW, Rice CW, Rillig MC, Springer A, Hartnett DC. 2009. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. *Ecology Letters* 12: 452–61.

Winkelman MJ. 2017. The mechanisms of psychedelic visionary experiences: hypotheses from evolutionary psychology. *Frontiers in Neuroscience* 11: 539.

Wipf D, Krajinski F, Tuinen D, Recorbet G, Courty P. 2019. Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal networks. *New Phytologist* 223: 1127–142.

Wisecaver JH, Slot JC, Rokas A. 2014. The evolution of fungal metabolic pathways. *PLOS Genetics* 10: e1004816.

Witt P. 1971. Drugs alter web-building of spiders: a review and evaluation. *Behavioral Science* 16: 98–113.

Wolfe BE, Husband BC, Klironomos JN. 2005. Effects of a belowground mutualism on an aboveground mutualism. *Ecology Letters* 8: 218–23.

Wright CK, Wimberly MC. 2013. Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 4134–139.

Wulf A. 2015. *The Invention of Nature*. New York, NY: Alfred A. Knopf, Türkçesi: *Doğanın Keşfi*, çev. Emrullah Ataseven, İstanbul: Ayrıntı Yayınları, 2017.

Wyatt GA, Kiers TE, Gardner A, West SA. 2014. A biological market analysis of the plant-mycorrhizal symbiosis. *Evolution* 68: 2603–618.

Yano JM, Yu K, Donaldson GP, Shastri GG, Ann P, Ma L, Nagler CR, Ismagilov RF, Masmanian SK, Hsiao EY. 2015. Indigenous bacteria from the gut microbiota regulate host serotonin biosynthesis. *Cell* 161: 264–76.

Yon D. 2019. Now You See It. *Quanta*: aeon.co/essays/how-our-brain-sculpts-experience-in-line-with-our-expectations? [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Yong E. 2014. The Guts That Scrape The Skies. *National Geographic*: www.nationalgeographic.com/science/phenomena/2014/09/23/the-guts-that-scrape-the-skies/ [erişim tarihi 29 Ekim, 2019].

Yong E. 2017. How the Zombie Fungus Takes Over Ants' Bodies to Control Their Minds. *The Atlantic*: www.theatlantic.com/science/archive/2017/11/how-the-zombie-fungus-takes-over-ants-bodies-to-control-their-minds/545864/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Yong E. 2016. *I Contain Multitudes: The Microbes Within Us and a Grander View of Life*. New York, NY: Ecco Press, Türkçesi: *Mikrobiyota: İçimizdeki Mikroplar ve Yaşama Büyüleyici Bir Bakış*, çev. Şiirsel Taş, İstanbul: Domingo Yayınevi, 2018.

Yong E. 2018. This Parasite Drugs Its Hosts With the Psychedelic Chemical in Shrooms. *The Atlantic*: www.theatlantic.com/science/archive/2018/07/massospora-parasite-drugs-its-hosts/566324/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Yong E. 2019. The Worst Disease Ever Recorded. *The Atlantic*: www.theatlantic.com/science/archive/2019/03/bd-frogs-apocalypse-disease/585862/ [erişim tarihi 29 Ekim 2019].

Young RM. 1985. *Darwin's Metaphor*. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.

Yuan X, Xiao S, Taylor TN. 2005. Lichen-like symbiosis 600 million years ago. *Science* 308: 1017–20.

Yun-Chang W. 1985. Mycology in Ancient China. *Mycologist* 1: 59–61.

Zabinski CA, Bunn RA. 2014. "Function of Mycorrhizae in Extreme

Environments." *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration* içinde, haz. Solaiman Z, Abbott L, Varma A. Springer International Publishing, s. 201–14.

Zhang MM, Poulsen M, Currie CR. 2007. Symbiont recognition of mutualistic bacteria by *Acromyrmex* leaf-cutting ants. *The ISME Journal* 1: 313–20.

Zhang S, Lehmann A, Zheng W, You Z, Rillig MC. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. *New Phytologist* 222: 543–55.

Zhang Y, Kastman EK, Guasto JS, Wolfe BE. 2018. Fungal networks shape dynamics of bacterial dispersal and community assembly in cheese rind microbiomes. *Nature Communications* 9: 336.

Zheng C, Ji B, Zhang J, Zhang F, Bever JD. 2015. Shading decreases plant carbon preferential allocation towards the most beneficial mycorrhizal mutualist. *New Phytologist* 205: 361–68.

Zheng P, Zeng B, Zhou C, Liu M, Fang Z, Xu X, Zeng L, Chen J, Fan S, Du X ve diğ. 2016. Gut microbiome remodeling induces depressive-like behaviors through a pathway mediated by the host's metabolism. *Molecular Psychiatry* 21: 786–96.

Zhu K, McCormack LM, Lankau RA, Egan FJ, Wurzburger N. 2018. Association of ectomycorrhizal trees with high carbon-to-nitrogen ratio soils across temperate forests is driven by smaller nitrogen not larger carbon stocks. *Journal of Ecology* 106: 524–35.

Zhu L, Aono M, Kim S-J, Hara M. 2013. Amoeba-based computing for traveling salesman problem: Long-term correlations between spatially separated individual cells of *Physarum polycephalum*. *Biosystems* 112: 1–10.

Zobel M. 2018. Eltonian niche width determines range expansion success in ectomycorrhizal conifers. *New Phytologist* 220: 947–49.

Dizin

İtalik sayfa numaraları çizimleri göstermektedir

A
ABD Savunma Bakanlığı, 195-196, 201
Abram, David, 14
Adamatzky, Andrew, 64-65, 66, 197-198
ADH4 (alkol dehidrogenaz), 218-219, 290
afyon kapsülü, 263
Agaricus xanthodermus, 212
ağ metaforları, 153, 213, 217-218, 258
ağ nörobilimi, 67-68, 254
ağaçlar:
  ağaç göçü ve mikorizal ilişkiler, 142-143
  dal kaynaşması (inoskülasyon), 258
  kök greftleri ve canlı çotuklar, 155, 276
  kök-mantar etkileşimleri, 37-38
  mantar hastalıkları, 8
  odun, 178-179, 189, 280
  trüf mantarlarıyla ilişkileri, 37-38, 40 41, 245-246, 280
  yaşam ağacı metaforu, 73, 255, 258
  Ayrıca bkz. dallanma
ağaç dallarının kaynaşması (inoskülasyon), 258
ağır metaller, 10, 187, 283-284
ağlar ve özellikleri, 67-68, 155-156, 171-172, 175, 279
ağustosböcekleri, 104-105, 263
ahtapot, 68
Aka pigmeleri, 55
akçaağaç, 142
akış ve sıvı taşınması (miselyum ağlarında), 56-58, 139, 162-163, 250
  akış hızları, 56, 62, 162, 251, 253
  yönlülük, 250, 251
akışkan bilgisayarlar, 251
akraba seçilimi, 161, 277-278
Albertus Magnus, 209
Algı Kapıları (Huxley), 111
algler, 125-126, 126-127
  liken bileşeni olarak, 4, 73, 87-88
  Ayrıca bkz. likenler
alkol dehidrogenaz (ADH4), 218-219, 290
alkol ve alkollü içkiler, 9, 144, 206-208, 218-219, 222-224, 290
alkolizm, 109, 265
Allotropa virgata (çubuk şeker), 159
alt bezleri, 183, 283
Alÿs, Francis, 54
AM (arbüsküler mikorizal) mantarlar, 270, 271, 273, 276
Amanita, 54
  A. muscaria, 101, 263
amatör mikologlar. *Bkz*. "kendin yap" hareketi; radikal mikoloji
ambalaj malzemeleri, 194-195, 196
Amerikan yerlilerinin peyote kullanımı, 265
amfibiler, 8, 237

anastomoz (hiflerin kaynaşması), 36-37, 54, 243-244, 248
androstenol, 32, 243
anksiyete ve depresyon, 9, 108-109, 112, 264
Antarktika likenleri, 86
anthropodenial, 289
antibiyotikler, 8, 9, 85, 189, 193, 237-239
antifungaller, 8, 239
antiviraller, 9-10, 200-202, 286
Aquilaria ağaçları, 30
araştırıcı davranış, miselyum ağlarında, 47, 48-50, *50*, 246
arbüsküler mikorizal (AM) mantarlar, 270, 271, 273, 276
arılar, 9-10, 26, 29-30, 104, 135, 200-203, 242
Aristoteles, 263
arkeler, 81, 85, 257
Armillaria (bal mantarı), 3-4, 57, 62, 65, 235, 253
aromalar:
  betimleyici dil, 44-45, 246
  koku duyusu, 27-28, 241
  mikorizal ilişkiler, 135
  parfümler ve parfüm yapımı, 29-30, 85, 242
  trüf mantarında koku üretimi ve bileşikler, 31-34, 242, 243
  trüf mantarlarında aromalar, 32-34, 242-243
Art Forms in Nature (Haeckel), 72
Arthrobotrys oligospora, 40
astrobiyoloji, 78, 81, 87
  gezegenlerarası gen aktarımı, 77-78, 79, 86-87, 256
  uzayda likenler, 71-72, 79-80, 84, 86-87
  uzayda mikofabrikasyon/mantarlara dayalı mimari, 195
aşılar, 9
atıklar:
  mantar yetiştirme malzemesi olarak, 182-183, 184, 195, 283
  Ayrıca bkz. mikoremediasyon
atom bombası, 183-184
Auden, W. H., 240
Avatar (film), 156
avcı mantarlar:
  nematod avcıları, 39-40, *41*
  Ayrıca bkz. parazit mantarlar
Avery, Oswald, 256
ayılar, 29
ayrıştırma, 76, 130, 177-180, 187, 227-229
  Ayrıca bkz. ayrıştırıcı mantarlar
ayrıştırma hızları, 273
ayrıştırıcı mantarlar, 177-180, 187, 228, 229
  beyaz çürüklük mantarları, 179-180, 282
  kömür ayrıştıranlar, 180
  mayalar, 208
  odun ayrıştıran mantarlar, 163, 179-180, 201, 280-282
  solucan avcıları, 39-40, 40
  toksin ayrıştıranlar ve mikoremediasyon, 5, 10, 184-185, 186-189, 197
  Ayrıca bkz. beyaz çürüklük mantarları; mayalar; diğer türler
Aziz Anthony ateşi, 261
azot, 156
Azteklerde psilosibin kullanımı, 101

B

bağımlılık, 109, 111, 112, 265
bağırsak mikropları, 106, 146, 264
  Ayrıca bkz. mikrobiyomlar
bağışıklığı baskılayan ilaçlar, 104
bağışıklığı güçlendiren mantar kökenli ilaçlar, 239
bağışıklık işlevi, insanda, 92-93
bakteriler:
  bakteri kolonilerinde elektriksel aktivite, 62-63
  bakteriyel patojenler, 186
  hücresel yapılar, 257
  likenlerin bileşeni olarak, 4, 73, 74, 90, 91
  mantar mikrobiyomları ve ağlarında, 32, 166, 240-241
  mantar-bitki haberleşmesinde, 244
  sınıflandırma, 81, 209-210
  uç (ekstrem) koşullarda yaşayan, 85, 125, 256
  yatay gen aktarımı, 78-79, 83, 256
  Ayrıca bkz. antibiyotikler; endosimbiyoz; mikrobiyomlar
bal mantarı *(Armillaria)*, 3-4, 57, 63, 65, 235, 253
bal şarabı, 206,
balarıları, 9-10, 104, 200-203

Balsamia vulgaris, 243
Barabási, Albert-László, 155-156, 171, 172, 175, 279, 289
Bary, Heinrich Anton de, 74, 257
Bateson, Gregory, 149-150
Bateson, William, 54
batı kızıl sediri, 154, 275-276
Bayer, Eben, 194-195, 196, 285-286
Beiler, Kevin, 170-173, 280
belirlenimsizlik, 52
bellek:
  miselyum büyümesinde yönsel bellek, 49, 246
  ve mikrobiyota, 264
  yassısolucanlarda, 68
Bengtson, S., 68, 254-255
benlik. *Bkz.* kimlik ve bireysellik
Bergson, Henri, 248
bertam palmiyesi, 219
besin elementlerinin taşınması/döngüsü:
  mikorizal ağlarla bitkiler arasında aktarım, 156-157, 275-276
  mikorizal ilişkiler, 132, 134, 273
  mikorizal mantarlar ve topraktaki besin elementleri döngüleri, 273
  miselyum ağlarında, 139, 271-272
  Ayrıca bkz. akış ve sıvı taşınması
Beug, Michael, 266-268
beyaz çürüklük mantarları, 179-180, 184, 186, 282
  mikofabrikasyon ürünleri, 194-198
  Termitomyces ve termitler, 192-194, 196-197
  Ayrıca bkz. istiridye mantarları; psilosibin ve psilosibin içeren mantarlar; diğer çeşitler
beyaz Piyemonte trüfü (*Tuber magnatum*), 25, *27*, 30-31, 32, 38, 242, 245
beyin dokusu kültürü, 254
beyni olmayan canlılarda "biliş", 15-16, 45, 59-66
  beyin metaforu, 63-64, 174-175
  duyusal verileri bütünleştirme, 59-63, 70
  elektriksel sinyaller, 62-63, 64-65
  ile ilgili düşünme biçimleri, 66-70, 174-175, 214, 288-289
  mantar bilgisayarları, 64-66, 197-198
  Ayrıca bkz. zekâ ve biliş
beynin mimarisi ve işlevi, 59, 63-64, 66, 67, 174, 175, 253, 254
bileşik varlıklar:
  insan kültüründe, 105-106
  likenler, 73-74, 83-84, 89-93, 258, 259, 260
  Ayrıca bkz. yatay gen aktarımı; kimlik ve bireysellik; mikrobiyomlar; simbiyoz
bilgisayarlar, fungal, 64-66, 197-198
  biliş. *Bkz.* beyni olmayan canlılarda "biliş"; zekâ ve biliş
bira, 206
  Ayrıca bkz. alkol ve alkollü içkiler; mayalar
BIOMEX liken araştırması, 71-72, 79-80, 84
bira mayası (*Saccharomyces cerevisiae*), 205, *207*, 287
bireysellik, biyolojik. *Bkz.* kimlik ve bireysellik
bitki biyokütlesi, 280
bitki büyüme hormonları, mantarların ürettiği, 38, 244
bitki etkileşimleri:
  ağaç kökü greftleri, 155, 276
  bitkiler arasında besin elementlerinin aktarımı, 153-157, 275-276
  bitkiler arasında mikorizal ağlarla stres sinyalleri iletimi, 166-170
  insanbiçimci kavramsallaştırmalar, 41, 164, 169, 245
  Ayrıca bkz. mikorizal ağlar
bitki göçü, mikorizal ilişkiler, 142-143
bitki hastalıkları, mantar kökenli, 7-8, 30, 237, 240-241, 286-287
bitki kökleri, 61, 127-128, 129, 136, 173
Ayrıca bkz. mikorizal ilişkiler
bitki körlüğü, 162
bitki-mantar ilişkileri. Bkz. mantar-bitki ilişkileri; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
bitki mikrobiyomları, 4-5, 143, 237
bitki toksinleri, 165
bitkiler:
  bakteri ve mantarların bitki olarak sınıflanması, 209-210
  elektriksel sinyal mekanizması, 167
  Ayrıca bkz. ormanlar; mantar-bitki ilişkileri; mikorizal ağlar; mikorizal

ilişkiler; ağaçlar; *belli bitkiler*
bitkilerde savunma, 165
infokimyasallar ve mikorizal ağlar, 166-170, 175
bitkilerin evrimi, 125-126
fotosentezin evrimi, 83
karasal bitkilerin kökeni ve evrimi, 125-126, 132, 269
kaynak-yutak dinamikleriyle ilgili evrimsel açıklamalar, 161
mikorizal ilişkiler ve türlerin ıraksaması, 143
odun ve faydaları, 178-179
bitkimerkezcilik, 162
biyolojik âlemler, 81
biyolojik bilgisayarlar, 64-66, 197-198
biyolojik pazarlar, 214, 288-289
biyolüminesan mantarlar, 50-52, 62, 247
biyoteknoloji, 9, 207-208, 285-286
biyoyakıtlar, 208, 219-220
Björkman, Erik, 152
Boddy, Lynne, 48-49, 62, 69-70, 163, 246
Boletus, *54*
Bolt Threads, 207-208
bombus arıları, 135
Bordeu, Théophile de, 30
Bosch, Hieronymus, 101
Bouchard, Frédéric, 260-261
boyalar, 85
böcekler:
endosimbiyoz, 82
parazit böcekler, 103, 166, 167, 201
Ayrıca bkz. mantar-böcek ilişkileri; *belli böcek türleri*
böcek öldürücüler, mantar kökenli, 193, 284-285
böcekleri zombileştiren mantarlar, 97-99, *99*, 103, 104-105, 107-108, 244, 261, 263
Braiding Sweetgrass (Kimmerer), 42, 215
Brillat-Savarin, Jean Anthelme, 241-242
Britanya Kolumbiyası'ndaki likenler, 75-76, 88-89, 93-94
buğday, 135-136
Butler, William, 207
Buz Adam, 8, 102, 237
Büntgen, Ulf, 39, 245

C

cadı halkaları, 62
Cambridge Botanik Bahçeleri, 220-223
Camden Mantar Şirketi, 120
canlı çotukları, 276
Casadevall, A., 237
Castellano, Mike, 44
Catha edulis (gat), 105
Cesur Yeni Dünya (Huxley), 36
chamka, 8-9
Chevron, 188
Choiromyces meandriformis, 243
Christakis, Nicholas, 279
cıvıkmantarlar, 15, 47, 49, 65, 239-240, 251-253
ciğerotları, 269-270
cinsel davranış. *Bkz.* mantarların üreme biyolojisi
Circinaria gyrosa, 80, 84, 257
Cooke, Mordecai, 55, 247
Coprinus comatus (söbelen), *7*
COPSE iklim modeli, 133-134, 271
CoRenewal, 188
Cotter, Tradd, 284

Ç

çam, 142, 273-274
çam kabuk böceği, 273-274
çeltik yanıklığı mantarı (*Rhizopus microsporus*), 7-8, 240-241, 251
Çernobil, 183
çevre kirliliği:
atıkların mantar kültivasyonunda kullanımı, 182-183, 184, 195, 283
mikoremediasyon ve mikofiltrasyon, 5, 10, 186-189, 283-284
Ayrıca bkz. hava kalitesi; çevresel remediasyon
çevresel değerlendirme/göstergeler, 65, 257
çevresel remediasyon:
mantarların kullanılması, 5, 10, 186-189, 283-284
onarıcı tarımda mikorizal mantarların yeri, 146-150
çınar, 142
çiftlik hayvanları, 261-262, 268
çilek, 135
Çin tıbbı, 286
çokseslilik, 55-56
çöl trüfü, 44
çöp. *Bkz.* atık
çubuk şekerler (*Allotropa virgata*), 159

D
dallanma:
evrimde model olarak, 73, 255, 258
hiflerin dallanması, *36*, 47, 64, 243, 248
Daniele (trüf avcısı), 31, 35, 42
DARPA (Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı), 195-196
Darwin, Charles:
armut yetiştirme rekabeti, 284
bitki büyümesi üzerine (kök-beyin hipotezi), 61
Darwin'in evrim kuramı ve metaforik uzantıları, 73, 255, 258, 288
orkideler üzerine, 216, 277
ve amatör bilim insanları, 282-283
zekânın anlamı üzerine, 67
Darwin, Francis, 61
Darwin, Henrietta "Etty," 210-211
Dawkins, Richard, 82-83, 106-107, 113-114
De Vegetabilibus (Albertus Magnus), 209
Delbrück, Max, 58-59
Deleuze, Gilles, 218
deniz yaşamı, 126, 260
deniz yosunları, 126-127
Dennett, Daniel, 66-67, 83, 258
depresyon, 9, 108-109, 112, 264
Devonyen soğuma, 132-133, 134, 270
dışkı nakli, 264
dil:
aromaların tarifi, 44-45, 246
ve insan olmayan canlılar, 42, 215
Ayrıca bkz. metaforlar
dimetil metilfosfonat (DMMP), 186
dimetil sülfid, 32
din. Bkz. maneviyat ve din
dirençli böcekler, bitkilerde, 147, 273-274
DMMP (dimetil metilfosfonat), 186
DNA aktarımı:
endosimbiyoz kuramı ve içerimleri, 81-83, 257, 258
gezegenlerarası aktarım, 77-78, 79, 86-87, 256
mikorizal ağlarla bitkiler arasında aktarım, 165-166
Ayrıca bkz. yatay gen aktarımı
doğa/kültür ayrımı, 18-19
doğal seçilim, 26, 49, 73, 107, 258, 288
dokumalar, miselyum/mantar kökenli, 194, 195, 196, 199, 207-208, 285
domuzlar ve trüf mantarı, 32, 34, 243
Doolittle, W. Ford, 88
Douglas göknarı, 154, 160-161, 275
Dugan, Frank, 248
Durán, Diego, 101
duyusal davranış ve bütünleştirme, 58-61, 62, 70, 253
Dünya Çapında Ağ ve internet, 155-156, 164, 279, 289
Dünya Mantarlarının Durumu raporu, 181

E
ebelik, 262
E. coli, 186
Ecovative, 194-197, 198, 285-286, 207
eğreltiler, 277-278
ekmek, 135-136, 206
Ayrıca bkz. mayalar
ekmek küfleri, 243
ekmek ya da bira mayası (*Saccharomyces cerevisiae*), 205, *207*, 287
ekoloji, 72, 92, 240
ekonomik modeller ve metaforlar, 212-213, 214, 288-289
ekosistemler:
likenler, ekosistem olarak, 91
mantarlar, kilit organizma olarak, 4, 12, 48
mikrobiyomlar, ekosistem olarak, 17-18
Ayrıca bkz. mikrobiyomlar; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
ekstremofiller, 85, 86
bakteriler, 85, 125, 256
likenler, 4, 72, 79-80, 85-87, 88-89, 257
ektomikorizal (EM) mantarlar, 165, 271, 273, 276
Ekvador mikoremediasyon projesi, 188
Elaphomyces, 244
Elefsis Gizemleri, 103, 262-263
elektriksel aktivite, miselyum ağlarında, 6, 62-66, 167, 197-198, 253-254
elektronik atıklar, 187
elmalar, Newton, 220-223
EM (ektomikorizal) mantarlar, 165, 271, 273, 276
Endocarpon pusillum, 259
endosimbiyoz ve endosimbiyoz kuramı,

81-83, 257, 258
enformasyon iletimi:
cıvıkmantar ağlarında, 251-253
hayvan beyninde, 175
mikorizal ağlardaki bitki infokimyasalları, 166-170, 175
mikorizal ortaklar arasında, 137
miselyum ağlarında, 62-63, 70, 251
yatay aktarımla, 78
Ayrıca bkz. beyni olmayan canlılarda "biliş"; zekâ ve biliş
entojenler, 95
Ayrıca bkz. psilosibin; psikedelikler; psikoaktif bitkiler ve mantarlar
Entomophthora, 104
ergometrin, 262
ergot mantarları (çavdarmahmuzu) ve ergotizm, 98, 101, 261-262, 263
esrar, 263
etanol, 219-220
Ettema, Thijs, 257
evrim ve evrimsel düşünce:
Darwinci kuram, 73, 255, 258, 288
endosimbiyoz kuramı ve içerimleri, 81-83, 257, 258
evolüsyona karşı involüsyon, 144
hayvanların evrimi, 68, 247, 254
likenlerin evrimi, 87, 260
metaforik anlatılar, 73, 212-213, 255, 258
panspermia görüşü, 77
simbiyoz ve içerimleri, 73, 74, 257-258
yatay gen aktarımı, 78-79, 83, 258
Ayrıca bkz. mantarların evrimi; insanın evrimi

F

Fairhead, James, 193
fasulye pas mantarı, 59
farmasötik ürünler, 112, 187, 207
mantar kökenli, 9, 104, 189, 237-239, 262
psikoaktif ilaçlar, 98-99
fenotip genişlemesi, 106-107, 113-114, 121-122
fermantasyon. *Bkz.* alkol ve alkollü içkiler; mayalar
fesleğen, 135
Field, Katie, 128-129, 133-134, 148, 149, 158, 271, 272
fingolimod, 104
Fleming, Alexander, 9, 237
Fomes fomentarius (kav mantarı), 8, 199, 201
Fomitopsis betulina (huş mantarı), 8, 237, 286
fosfor, 132, 133-134, 138, 156
fosilleşmiş bitkiler, 129
fosilleşmiş likenler, 260
fosilleşmiş mantarlar, 68-69, 129, 247, 254-255
fotobiyontlar, 73, 259
Ayrıca bkz. likenler
fotosentez, 13, 81, 127
fotosentetik bakteriler, 82, 83, 125
fotosentez yapan hayvanlar, 256
fotosentez yapmayan bitkiler, 151-152, 158
karasal bitkilerin evrimi, 126
liken fotobiyontları, 73, 80, 84, 257
mikorizal ilişkiler, 13, 22, 127, 277
"şimdi al, sonra öde" yaklaşımı, 158, 161, 272, 277-278
Ayrıca bkz. mikoheterotroflar
Fowler, James, 279
Frank, Albert, 74, 130-131, 270
Franklin, Benjamin, 50
FUNGAR (Mantar Mimarisi), 197-198
Fungi Perfecti, 185, 201, 202-203
Ayrıca bkz. Stamets, Paul

G

Ganoderma (reishi), 197, 201, 203, 286
gat (*Catha edulis*), 105
Gautieria trüfü, 32-34
gelişimde alan kuramları, 249-250
gelişimsel belirlenimsizlik, 52
gen aktarımı. *Bkz.* DNA aktarımı; yatay gen aktarımı
genetik mühendisliği. *Bkz.* biyoteknoloji
Genişletilmiş Fenotip (Dawkins), 106-107, 113-114
genişletilmiş fenotipler, 106-107, 113-114, 121-122
gezegenlerarası gen aktarımı, 77-78, 79, 86-87, 256
Gilbert, Lucy, 166-168
glifosat, 184-185
Goward, Trevor, 80-81, 83, 91, 260
göknar, 142
Ayrıca bkz. Douglas göknarı
göktaşları, 87
Ayrıca bkz. panspermia

G-proteiniyle eşleşmiş reseptörler, 241
Graves, Robert, 117
Griffith, Frederick, 256
Griffiths, Roland, 109
guguk mantarları, 266
Gurwitsch, Alexander, 249
günlenme, likenlerde, 76

H
Haeckel, Ernst, 72
Haldane, J.B.S., 248
Haplomitrium, 269-270
harita çıkarma:
  Dünya Çapında Ağ haritası, 155-156, 171
  mikorizal ağların haritası, 170-173, 278-279, 280
Harvard Psilosibin Projesi, 118
hastalık ve sağlık:
  bağışıklık işlevi ve mikroplar, 92-93, 146
  böcek ve hastalık kontrolünde mantarlar, 186, 193, 284-285
  mantarlar ve insan sağlığı, 8-9, 237-239
  mantarlardan elde edilen antiviraller, 9-10, 200-202, 286
  Ayrıca bkz. antibiyotikler; mantar hastalıkları; mantarların tıbbi kullanımı
hava durumu:
  mantar sporları, 6
  Ayrıca bkz. iklim
hava kalitesi, 144-145, 257
Hawksworth, David, 180, 181
hayalet pipolar (*Monotropa uniflora*), 151-152, *153*, 157-158, 159-160
hayvanlar:
  alkol tüketimi ve metabolizma, 219
  beslenme davranışı, 52
  beynin evrimi ve yapısı, 68, 254
  beynin kullanılmadığı karmaşık davranışlar, 68
  gelişimsel biyoloji, 52, 249, 254
  hayvanların evrimi, 68, 247, 254
  simbiyotik ilişkiler, 74, 256
  Ayrıca bkz. mantar-hayvan ilişkileri; belli hayvan türleri
Hernández, Francisco, 101
Hibbett, David, 282
hifler ve hif davranışları, 6-7, 54, 248
  araştırma davranışı, 47, 48-50, 50, 62, 246
  dallanma, 36, 47, 64, 243, 248
  hif büyümesinin kuvveti, 53, 55, 248
  hif yapısı, 52, 56-57, 64, 246, 248, 270
  "homing", 36, 37, 243
  kaynaşma, 36-37, 54, 243-244, 248
  mayalarda, 236
  ölme ve yeniden büyüme, 129-130
  şapkalı mantarın büyümesi, 7, 54-55, 56, 57, 249-250
  sürü olarak hif uçları, 49, 246-247
  Ayrıca bkz. miselyum ve miselyum ağları
Hillman, Brenda, 75, 91
hindi kuyruğu mantarları (*Trametes*), 186, 195, 197, 239, 286
hiperaktivite, 105, 264
hiperozmi, 241
Hirohito, Japon İmparatoru, 240
Hiroşima, 183-184
Hoffer, Abram, 112
Hofmann, Albert, 98, 117, 118, 121-122, 262, 263
holobiyontlar, 93
"homing" (hif çekimi), 36, 37, 243
Hooker, Joseph, 277
How to Change Your Mind (Pollan), 109-110
Howard, Albert, 145, 146, 149
Howea belmoreana palmiyesi, 143
Howea forsteriana, 143
Howea palmiyeleri, 143
Hughes, David, 98, 106, 107
Humboldt, Alexander von, 70, 72, 151
Hunt, Mary, 189
huş mantarı (*Fomitopsis betulina*), 8, 237, 286
huş, 142, 154, 160-161, 275
Hustak, Carla, 144
Huxley, Aldous, 36, 111
Huxley, Thomas Henry, 74
Hydropunctaria maura, 88-89
Hyphaene petersiana palmiyesi, 206
Hypholoma fasciculare, 49

I
IKEA, 15, 195
ışığa duyarlılık ve tepkiler, 58-59, 251

İ

iklim modelleri, 133-134, 271
iklim ve iklim değişikliği, 132-134, 142-144, 145, 178, 244, 270
infokimyasallar, 166-170, 175
Inonotus obliquus, 286
inoskülasyon, 258
insanbiçimcilik, 40-42, 73-74, 164, 169, 174-176, 212-218, 245, 288-290
insanın evrimi:
  alkol metabolizması, 218-219, 290
  psilosibin ve kültürel evrim, 102
insan mikrobiyomu, 16-18, 92, 241
  Auden'ın şiiri, 240
  bağırsak mikroplarının davranışsal etkileri, 106, 264
  bağışıklık işlevi, 92-93, 146
  mayalar, 205
insan sağlığı. *Bkz.* hastalık ve sağlık; mantarların tıbbi kullanımı
insanda koku duyusu, 27, 28, 241
insanmerkezcilik, 16
internet ve Dünya Çapında Ağ, 155-156, 164, 279, 289
involüsyon, 144
istiridye mantarları (*Pleurotus*), *183*, *200*
  atık ya da toksik malzemeler üzerinde yetiştirme, 183-185, 197
  elektrik sinyalleri, 63, 64
  mikofabrikasyonda, 197
  mikoremediasyon potansiyeli, 188-189
  Pleurotus ostreatus, 183, 200
  solucan avcıları olarak, 40
  Ayrıca bkz. Panellus stipticus; beyaz çürüklük mantarı
işbirliği, 163, 212-215
  ortak ilişkilerde, 93, 115-116, 126, 138, 139-140, 164
  Ayrıca bkz. özgecilik; rekabet hikâyeleri; mutualizmler; mikorizal ilişkiler; simbiyoz

J

Jacobs, Ryan, 242
James, William, 122
Japonya:
  cıvıkmantar araştırmaları, 15, 240
  mantarlar ve atom bombası, 183-184
Japon şiiri, 209, 246
jeoloji ve likenler, 76, 257
Johnson, David, 166-167, 168-169
Johnson, Matthew, 112, 265

K

kablo bakterileri, 62-63
kadınlar, geleneksel mantar bilgisinin sahipleri, 248-249, 262
kâğıt huşu, 275
kahverengi çürüklük mantarları, 280-282
Kaliforniya orman yangınları, 188
Kaliforniya trüf mantarları, 44
"kamu yararına" kaynak aktarımı, 161
Kanada geyiği, 29
kanser hastalarında psilosibin tedavisi, 108-109
kanserler ve kanser ilaçları, 9, 239
kapitalist modeller ve metaforlar. *Bkz.* ekonomik modeller ve metaforlar
karar verme davranışı, beyni olmayan canlılarda, 15-16, 64-65, 138-140, 288-289
  Ayrıca bkz. beyni olmayan canlılarda "biliş"; zekâ ve biliş; mikorizal ilişkiler
kar bitkisi (*Sarcodes sanguinea*), 158-159, 278
karbon:
  fungal ayrıştırmaya bağlı emisyonlar, 179
  karbon yakalama ve atmosferdeki karbondioksit düzeyleri, 132-134, 178-180, 270
  topraktaki karbon ve mikorizal mantarlar, 147, 153-155, 157, 275-276, 277
  Ayrıca bkz. kömür
Karbonifer yağmur ormanları çöküşü ve kömür yatakları, 178-180, 282
karıncalar, 7, 116, 236
  ve *Ophiocordyceps mantarları*, 97-99, *99*, 107-108, 261
karmaşık adaptif sistemler, 174
karşılıklı ödüller (mikorizal ilişkilerde), 138, 272, 288
Karşılıklı Yardımlaşma: Evrimin Bir Faktörü (Kropotkin), 213, 288
Kasson, Matt, 104-105
katinon, 105, 264
Katz, Sidney, 268
kav mantarı (*Fomes fomentarius*), 8, 199, 201

kayalar ve likenler, 76, 89, 257
kayın, 142
kaynak paylaşımı:
  bitkilerde mikorizal ağlar aracılığıyla kaynak-yutak dinamikleri, 160-161, 170, 277-278
  mikoheterotrofluk, 157-160, 172, 278
  mikorizal alışveriş dinamiklerinin esnekliği ve değişkenliği, 137-140, 144, 148, 157, 163, 164, 165-166, 271-272
  mikorizal mantarlarla bitkiler arasında aktarım, 152-157, 275-276
  "şimdi al, sonra öde" yaklaşımı, 158, 161, 272, 277-278
  Ayrıca bkz. akış ve sıvı taşınması; besin elementlerinin taşınması/döngüsü
"kendin yap" hareketi, 123, 181-182
  amatörlerin ve kitle kaynaklarının rolü, 123, 181-182, 189-191, 282-283, 284
  evde/amatör mantar yetiştirme, 119-120, 123, 190-191
  Ayrıca bkz. radikal mikoloji
kerosen mantarı, 180
kızılağaç, 142, 279
Kiers, Toby, 152-153, 164, 168, 169, 288-289
  mikorizal kaynak paylaşımı araştırmaları, 137-139, 141, 163, 271, 272
kimlik ve bireysellik, 149-150, 215, 289
  biyolojik bireyselliği tanımlamak, 92-93, 260-261
  genişletilmiş fenotip görüşü, 106-107, 113-114, 121-122
  mikroplarla olan ilişkiler, 18, 92-93, 241
  orman çapında ağ metaforu, 155
  psikedelikler ve ego çözülmesi, 111, 112-113, 123
  vejetatif hif kaynaşması, 36-37
  Ayrıca bkz. bileşik varlıklar; yatay gen aktarımı; mikrobiyomlar; simbiyoz
Kimmerer, Robin Wall, 42, 215
kimyasal sinyal iletimi, 27, 62
  bitkiler arasında mikorizal ağlarla sinyal iletimi, 166-170, 175
  biyolüminesans, 50-52, 62, 247
  hifler arası çekim ("homing"), 36, 37, 243
  mantar-bitki haberleşmesi, 37-38, 244
  Ayrıca bkz. aromalar; mikorizal ilişkiler
kitle kaynaklı araştırma girişimleri, 189-191, 284
  Ayrıca bkz. radikal mikoloji
Klein, T., 276
kloroplastlar, 81, 82, 92
Knudsen, Kerry, 75
koku duyusu, 27, 28, 241
koku. *Bkz.* aromalar
koloni çökme bozukluğu (balarıları), 9-10, 200-202
konjügasyon, 256
konnektomlar, 280
kordonlar, 56-57
Kozo-Polyansky, Boris Mikhaylovich, 258
kök-beyin hipotezi, 67
kök greftleri (ağaçlarda), 155, 276
kömür, 180, 189, 282
köpekler, trüf avcısı, 29, 31, 35, 42-44, 242
köpük, miselyumdan yapılmış, 194, 195, 196, 197, 285
köygöçüren mantarı, 116
Kretase-Tersiyer (K-T) yok oluşu, 183, 237
Kropotkin, Peter, 213, 288
K-T (kretase-tersiyer) yok oluşu, 183, 237
kuru çürük mantarı, 57-58, 63
kurt likenleri, 90
Kuzey Amerika cevizi (hikori), 142
küfler:
  antik tıpta kullanımı, 8-9, 237
  Ayrıca bkz. ekmek küfleri; penisilin küfleri; cıvıkmantarlar
kültür/doğa bölünmesi, 18-19
kykeon, 262-263

L

Laricifomes officinalis, 199, 286
Leary, Timothy, 118-119
Lederberg, Joshua, 77-78, 79, 83, 212
Lee, Natuschka, 71-72
Lefevre, Charles, 28, 32-34, 38, 42-45, 245-246
lentinan, 239
leş kokulu mantarlar, 55, 210-211
Lévi-Strauss, Claude, 206
Levin, Michael, 249, 280

Lewontin, Richard, 213, 258
lezzet ve mikorizal ilişkiler, 135-136
LICHENS deneyi, 79-80
Life dergisi, 118
lignin (odunözü), 179, 280-282
lignin peroksidazlar, 179, 184, 282
likenler, 71-94, *74*, *77*
  adlandırma ve taksonomik güçlükler, 259
  ayrılma/yeniden birleşme, 259
  bakteriyel fotobiyontlar
  Britanya Kolumbiyası kıyısında, 75-76, 88-89, 93-94
  çeşitlilik, 75-76
  çevresel göstergeler olarak likenler, 257
  ekstremofil likenler, 4, 72, 79-80, 85-87, 88-89, 257
  fotobiyontların rolleri ve işlevleri, 73
  "hayvan likenler," 74, 255
  ikilik hipotezi ve simbiyoz kuramı, 72-74, 89-91, 214, 255, 256-257
  insanlar tarafından kullanımı, 85
  karmaşık bileşik organizmalar, 83-84, 89-93, 258, 259, 260
  kayaları aşındırma (günlenme), 76
  koloni oluşturan organizmalar, 4, 89
  likenlerin evrimi, 87, 260
  likenleşme, 87-88, 260
  mikobiyontların rolleri ve işlevleri, 73
  Prototaksitler, 235, 236
  uç koşullarda hayatta kalma stratejileri, 84-85
  uzayda, 71-72, 79-80, 84, 86-87
  üreme, 84, 259
  ürettikleri kimyasallar, 85, 120
  yaşam süresi, 86
  Ayrıca bkz. simbiyoz ve simbiyotik ilişkiler
likenlerin tıbbi kullanımı, 85
likenleşme, 87-88, 260
likofitler, 280
Linnaeus sınıflaması ve adlandırma, 210, 240, 259
Linnaeus, Carl, 210
Lord Howe Adası, 143
LSD, 95, 98
  ABD'de suç sayılması, 119
  ilk araştırmalar, 112, 118-119, 265
  sentezlenmesi, 98, 117, 262
  tedavi amaçlı kullanımı, 112, 265
  yeni araştırmalar, 21-23, 95-97, 108

M

MacIntosh, Charles, 255
Maclean's dergisi, 268
Macrotermes termitleri, 192-194, *194*, 196-197
madde bağımlılığı, 265
mağara resimleri, 102
makine metaforları, 214, 289
Malezya sivri sincapçığı, 219
Malloch, David, 269
Malthus, Thomas, 288
maneviyat ve din:
  alkol, 207
  psikoaktif mantarlar, 101, 102, 103, 109-110, 262-263, 265
Manicka, S., 280
manna (kudret helvası), 44
mantar ağları. *Bkz*. miselyum ve miselyum ağları; mikorizal ağlar
mantar-alg ilişkileri, 126-127, 256
  Ayrıca bkz. likenler
"Mantar Bilgisayarına Doğru" (Adamatzky), 64-65
mantar bilgisayarları, 64-66, 197-198
mantar-bitki ilişkileri, 7, 11
  bitki mikrobiyomlarında mantarlar, 4-5, 237
  mantarlar ve karasal bitkilerin kökeni, 4, 126, 269
  mikorizal olmayan ilişkiler, 269, 280
  trüf mantarları ve ağaçlar, 37-38, 40-41, 245-246, 280
  Ayrıca bkz. mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
mantar-böcek ilişkileri, 115-116
  arılarda mantar kökenli antivirallerin kullanımı, 9-10, 200-202
  böcek kontrolü için mantarların kullanımı, 193, 284-285
  böcekleri manipüle eden mantarlar, 97-99, *99*, 103, 104-105, 107-108, 244, 261, 263
  Macrotermes termitleri, 192-194, *194*, 196-197
  orkide arıları, 29-30
  psilosibin ve, 116, 266-268
  yaprak kesen karıncaların mantar yetiştirmesi, 7, 236

mantar çeşitliliği, 3-4, 10
mantar elektrofizyolojisi, 6, 62-66, 167, 197-198, 253-254
mantar hastalıkları ve patojenler:
bitkileri etkileyen, 7-8, 30, 237, 240-241, 286-287
hayvanları etkileyen, 8, 237
yayılmaları ve evrimleri, 8, 286
mantar-hayvan ilişkileri, 236
hayvanlarda mantar hastalıkları, 8, 237
hayvanların psikoaktif bitki ve mantarları yemesi, 100, 116, 261-262, 268
matsutakenin hayvanları çekmesi, 29
sincapların mantar zulalaması, 284
solucan avlayan mantarlar, 39-40, *41*
trüfün hayvanları çekmesi, 26, 32, 36, 243
Ayrıca bkz. mantar-insan ilişkileri; mantar-böcek ilişkileri; belli hayvan türleri
mantar-insan ilişkileri, 7-10
kadınların geleneksel mantar bilgisi, 248-249, 262
mikofabrikasyon, 198
mikofili ve mikofobi, 209, 210-211, 287
Ayrıca bkz. alkol ve alkollü içkiler; insanların tutumları ve yanlılıkları; insan mikrobiyomu; mantarların tıbbi kullanımı; psikoaktif bitkiler ve mantarlar; radikal mikoloji; mayalar
mantar kılavuzları, 120-121, 185
mantar körlüğü, 162
mantar mikrobiyomları, 31-32, 240-241
Mantar Mimarisi (FUNGAR), 197-198
mantar sınıflaması, 209-210, 240, 287
likenler, 259
"Mantar Toplayan Kadınlar," 55, 56
mantar tüketimi:
yenebilirliğe göre sınıflama, 287
zehirlenmeler, 180-181
Ayrıca bkz. psilosibin ve psilosibin içeren mantarlar; psikoaktif bitkiler ve mantarlar
mantar yetiştirme:
atıklar üzerinde, 182-183, 184, 195, 283
evde/amatör yetiştiricilik, 119-120, 123, 190-191
istiridye mantarları, 183-185, 197
karıncalar, termitler ve insan olmayan diğer organizmalar tarafından, 7, 192-194, 196-197, 236
psilosibin içeren mantarlar, 119-120, 182
tarihi ve yeni gelişmeler, 191, 284
ticari, 9, 180, 182-183, 191, 284
trüf mantarları, 38-39, 44, 130-131, 244-245
mantardan yapılmış dokumalar, 194, 195, 196, 199, 207-208, 285
mantarlar, 5
büyümeleri, 7, 54-55, 56, 57, 249-250
kadınların mantarlarla ilişkisi, 248-249, 262
kültürel tutumlar, 209, 210-211
Ayrıca bkz. mantar yetiştirme; mantar tüketimi; psikoaktif bitkiler ve mantarlar; münferit çeşitler ve türler
mantarlarda ayrıştırma, 130, 177-180, 187, 227-229
Ayrıca bkz. ayrıştırıcı mantarlar
mantarlarda iletişim:
ile ilgili düşünme biçimleri, 40-41, 44-45
miselyum ağlarında enformasyon iletimi, 62-63, 70, 251
Ayrıca bkz. miselyum ve miselyum ağları; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
mantarlarda üreme biyolojisi, 5-6, 7
eşeyli hif kaynaşması, 36-37, 243-244
trüf mantarları, 25-26, 37, 244
Ayrıca bkz. spor üretimi ve saçılması
mantarlardaki kimyasal bileşikler:
antibiyotikler, 8, 9, 85, 189, 237-239
antiviraller, 9-10, 200-202, 286
ayrıştırıcı enzimler, 179, 184-185, 282
bağışıklık baskılayıcılar, 104
mantar-bitki iletişimi, 37-38, 244
psikoaktif bileşikler, 98, 105, 114-116
toksinler, 40, 116, 268
Ayrıca bkz. aromalar; psilosibin; psikoaktif bitkiler ve mantarlar; zehirli mantarlar
mantarlardan elde edilen ilaçlar. *Bkz.* mantarların tıbbi kullanımı
"Mantarların adlandırılmasına karşı" (Money), 210
"Mantarların Dünyayı Kurtarmasının Altı Yolu" (Stamets), 185
mantarların evrimi, 68-69, 247, 254-255
manipülasyon yapıcı davranışlar, 103-104

psikoaktif bileşikler, 97, 114-116, 266
mantarların manipülasyon yapması, 95-123
bağırsak mikroplarının davranışsal etkileri, 106, 264
bağışıklığı baskılayan mantarlar, 104
böcekleri manipüle eden mantarlar, 97-99, *99*, 103, 104-105, 107-108, 244, 261, 263
genişletilmiş fenotip olarak, 106-107, 113-114, 121-122
psikoaktif etkileri, 113-114
Ayrıca bkz. LSD; psilosibin; psikoaktif bitkiler ve mantarlar
mantarların ömrü, 3-4, 235
mantarların tıbbi kullanımı:
bağışıklık baskılayıcı ilaçlar, 104
ergot mantarları (çavdarmahmuzu), 262
mantar kökenli antiviraller, 9-10, 200-203, 286
miselyumdan yapılan deri ikameleri, 194
penisilin, 9, 189, 237-239
psikedeliklerin tedavide kullanımı, 108-110, 111, 265
termit yuvası toprağı, 193
uzun tarihçesi, 8-9, 102-103, 237, 286
mantarmerkezcilik, 162-164, 216, 217, 290
marangoz karıncalar, 97-99, 99, 107-108, 261
Margonelli, Lisa, 193
Margulis, Lynn, 81-83, 212, 269
Márquez, L. M., 240
Massospora, 104-105
matsutake, 29, 34, 159, 184, 253
Japon şiirinde, 209, 246
mayalama. *Bkz.* alkol ve alkollü içkiler
mayalar, 3, 6, 205-208, 236
alkol ve alkollü içkiler
insanlar tarafından kullanımı, 9, 207-208
insanlık tarihi ve kültüründe, 205-206, 207
liken bileşenleri olarak, 90
trüf mikrobiyomlarında, 32
vücudumuzda, 32, 205
Maynard Smith, John, 289-290
Mazatek halkı, 117, 122
McCartney, Stella, 196
McClintock, Barbara, 69
McCoy, Peter, 181, 182, 184-185, 187-188, 216
McKenna, Dennis, 100, 118, 119
McKenna, Terence, 99-100, 102, 103, 113, 118, 119, 263
Meksika:
psilosibin, 101-102, 117-118, 263
Ayrıca bkz. Orta Amerika
memeliler, 219, 237, 256
Ayrıca bkz. belli memeli türleri
mercanlar, 74, 258
Mereschkowsky, Konstantin, 258
Merleau-Ponty, Maurice, 150
meşe likeni, 85
meşe, 142
metaforlar, 21, 42, 212-215, 288-290
ağ metaforları, 153, 213, 217-218, 258
aromaların tarifi, 44-45
beyni olmayan canlılarda karmaşık davranışlar için beyin metaforu, 63-64, 174-175
ekonomik modeller ve metaforlar, 212-213, 214, 288-289
orman çapında ağ metaforu, 12, 155, 162, 163, 214
rekabet hikâyeleri, 74, 164, 212-213
sosyal metaforlar, 40-41, 73-74, 213-214, 289-290
yaşam ağacı metaforu, 73, 255, 258
Ayrıca bkz. insanbiçimcilik; işbirliği
Metarhizium, 193, 285
Mısır, antik, 9, 207
mikobiyontlar, 73, 259 *Ayrıca bkz.* likenler
mikofabrikasyon malzemeleri, 195, 285-286
mikofili, 209, 287
mikofiltrasyon, 10, 187
mikofobi, 209, 210-211, 287
mikoheterotroflar, 157-160, 172, 278
Monotropa uniflora, 151-152, *153*, 157-158, 159-160
Voyria, 13, 22, 158, 159, 172, 173
mikolojik araştırmalar ve akademisyenlik:
amatörlerin ve kitle kaynaklarının rolü, 123, 181-182, 189-191, 282-283, 284
gereksinimler, zorluklar ve fırsatlar, 70, 140-141, 173-174, 181, 187-188, 200, 217
ihmal edilmiş bir alan olarak mikoloji, 180-181, 200
mantarmerkezli bakış açısı, 162-164, 216, 217, 290
Ayrıca bkz. belli araştırma konuları

mikopestisitler, 193, 284-285
mikoremediasyon, 5, 10, 186-189, 283-284
mikorizal ağlar (bitkiler arasında ortak), 151-176
ağ özellikleri ve, 171-172, 175, 279
araştırmaların zorlukları, 173-174
beyin analojisi, 174-175
bitkiler üzerindeki potansiyel etkileri, 157, 164-165, 275
bitkilerarası besin aktarımı, 153-157, 275-276
bitkilerin mineralleri almaları, 22
davranış ve ilişkilerde değişkenlik, 157, 163, 164-166, 174, 215, 276
haritasının çıkarılması, 170-173, 278-279, 280
insanbiçimci kavramsallaştırmalar, 164, 169, 174-176, 212-218, 288-290
kaynak-yutak dinamikleri, 160-161, 170, 277-278
mantar eylemliliği/mantarmerkezli bakış açısı, 162-164, 169-170
mikoheterotrofluk, 157-160, 172, 278
orman çapında ağ metaforu, 12, 155, 162, 163, 214
özgeciliğe dayalı kavramsallaştırma, 161, 164, 169, 213-214
sosyal ağlar olarak, 12
türlerarası karmaşık etkileşimler, 166-168, 169-170, 176
yazarın tropikal araştırmaları, 11-13, 19, 172, 217
mikorizal ilişkiler, 37-38, 125-150
araştırmaların zorlukları, 140-141
aroma ve lezzete olan etkileri, 135-136
bağlam/çevrenin rolü, 139-140, 142, 148
besin maddeleri döngüsü, 132, 134, 273
bitki etkileşimleri ve böceklere karşı dayanıklılık, 147, 273-274
bitki göçü, 142-143
bitkilere faydaları, 22, 37-38, 127, 130, 147-148, 164, 273, 274
bozulmasının etkileri, 144-145, 146-147
ciğerotlarında, 270
çeşitliliği ve karmaşıklığı, 134-140
esnekliği ve değişkenliği, 137-140, 144, 148, 157, 163, 164-166, 214-215, 271-272, 288-289
Frank'ın keşfi ve araştırmaları, 74, 130-131, 270
iklim ve iklim değişikliği, 132-134, 142-144, 145, 270
kökenleri ve evrimi, 125-126, 128-129, 269-270, 271
mantarlara faydaları, 37-38, 127, 152
ortak tür sayısı, 142-143, 172, 279
tarım, 145-149
yaygınlığı, 126, 269
mikorizal mantarlar, 125-150, *130*, 271
ekolojik önemi, 147-148
hif özellikleri, 37-38, 129-130, 270
kökenleri ve evrimi, 125-126, 129, 271
ticari ürünler ve takviyeler, 148-149, 274-275
yaygınlığı, 4, 128, 129-130
Ayrıca bkz. mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
mikrobiyomlar, 16-18, 77, 237
bağırsak mikroplarının davranışsal etkileri, 106, 264
bitkilerde, 4-5, 143, 237
likenler, 90
mantar mikrobiyomları, 31-32, 240-241
mikropların içindeki mikroplar, 17, 240-241
Ayrıca bkz. insan mikrobiyomu
mikrogöktaşları, 87
mikrolikenler, 74
mikrotübüller, 57, 139, 163
Mills, Benjamin, 133, 271
Milne, Drew, 76
miselyum ve miselyum ağları, 47-70
beyin olarak kavramsallaştırma, 63-64
duyusal davranış ve bütünleştirme, 58-61, 62, 70, 253
elektriksel aktiviteleri, 6, 62-66, 167, 197-198, 253-254
enformasyon iletimi, 62-63, 70, 251
kimyasal duyarlılık, 28, 59
merkezsizleştirme ve belirlenimsizlik, 51, 52
mikorizal olmayan ağlar ve ilişkileri, 163, 269, 280
miselyum büyümesi ve ağ gelişimi, 36-37, 49, 52-55, 163, 243-244
psilosibin içeren mantarlar, 268
rejenerasyon becerileri, 51
tür farklılıkları, 53,
yaygınlığı, 48

Ayrıca bkz. akış ve sıvı taşınması; hifler; manipülasyon davranışları; mantarlar; mikorizal mantarlar; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler; *belirli mantar çeşitleri ve türleri*
miselyum yapı malzemeleri, 194-198, 285, 286
termit yuvaları, 192-194, 196-197
mistik tecrübeler, 109-110, 111, 122, 265
mitokondri, 81-82, 92
Money, Nicholas, 210
Monotropa uniflora (hayalet pipolar), 151-152, *153*, 157-158, 159-160
Morchella crassipes, 166
Mucoromycotina, 271
Muir, John, 158-159, 277
Mushroom Mountain, 284
mutualizmler, 131, 212-213, 214-215, 287-288
mikorizal ilişkilerde karşılıklı ödüller, 138, 272, 288
Ayrıca bkz. işbirliği; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler; simbiyoz
muz, 8
"My Twelve Hours as a Madman" (Katz), 268
Mycelium Running (Stamets), 186
Mycologos, 182
mycotopia.net, 190
Myers, Natasha, 144, 215-216, 245
myriocine, 104

N

nanoteller, 62-63
NASA, 196, 256
Nature Scientific Reports, 200
Nature, 154-155
Neandertaller, 8, 237
Needham, Joseph, 214
Nelsen, Matthew, 281
nematod avlayan mantarlar, 39-40, *41*
Neolitik çağda mantarların kullanımı, 8-9, 102-103, 237
Neonothopanus gardneri, 247
Neurospora crassa, 243
Newman, Edward I., 275
Newton, Isaac, 220, 221
Newton'ın elması ve ağacı, 220-224
New World Truffieres, 38
Ayrıca bkz. Lefevre, Charles
Niebla, *74*
nöral ağlar, 68, 174-175, 280
nörobilim, 62, 174-175, 280
ağ nörobilimi, 67-68, 254
nöromikrobiyoloji, 264
nörotransmitterler, 175, 264, 266
nükleer atık, 5
Ayrıca bkz. radyotropizma

O

odun, 178-179, 189, 280
odun parçalayan mantarlar, 179-180, 201, 280-282
Ayrıca bkz. beyaz çürüklük mantarları; *mürferit türler*
Olsson, Stefan, 50-52, 57, 62, 63-64, 66, 167, 253-254
Ophiocordyceps, 97-99, *99*, 107-108, 244, 261, 263
Oregon'da trüf avcılığı, 42-45
organik tarım, 145, 146-147
"organizma", terim olarak, 287-288
orkide arıları, 26, 29-30, 242
orkideler:
biyomimikri, 26, 29
Darwin'in ilgisi, 277, 282
mantarlarla olan ilişkileri, 128, 158, 271, 277
orman çapında ağ metaforu, 12, 155, 162, 163, 214
Ayrıca bkz. mikorizal ağlar
ormanlar:
ağaç göçü ve mikorizal ilişkiler, 142-143
ağaçlararası karbon aktarımı araştırması, 154-155, 160-161, 275-276
Karbonifer yağmur ormanları çöküşü, 178-180, 282
orman çapında ağ metaforu, 12, 155, 162, 163, 214
ortak mikorizal ağ haritaları, 170-173, 278-279, 280
Ayrıca bkz. mikorizal ağlar; ağaçlar; belli ağaç türleri
Orta Amerika:
psilosibin, 102, 117, 120, 268
Ayrıca bkz. Meksika
ortak mikorizal ağlar. *Bkz.* mikorizal ağlar

Ö
ödağacı, 30
ökaryotlar (Eukarya), 81
  endosimbiyotik evrim kuramı ve içerimleri, 81-83, 257, 258
ölçeksiz ağ özellikleri, 171-172, 175, 279
örümcek ağı ipliği, 207-208
örümcekler, 266
özerklik, biyolojik. *Bkz.* kimlik ve bireysellik
özgecilik, insan olmayan organizmalara atfedilen, 161, 164, 169, 213-214
özgürlük şapkası (*Psilocybe semilanceata*), *123*

P
Pagán, Oné, 253
paklitaksel, 239
Panama, yazarın yaptığı araştırmalar, 11-13, 19, 172, 217
Panellus stipticus, 50-52, 62
panspermia, 77-78, 79, 86-87, 256
parazit böcekler, 103, 166, 167, 201
parazit mantarlar:
  böcekleri zombiye dönüştüren parazitler, 97-99, *99*, 103, 104-105, 107-108, 244, 261, 263
  trüflerdeki parazit mantarlar, 244
parfümler, 29-30, 85, 242
Paride (trüf avcısı), 31, 34-35, 40-41
Paris'te mantar yetiştiriciliği, 191, 284
Parkinson, John, 9
pazar metaforları. *Bkz.* ekonomik modeller ve metaforlar
penisilin küfleri (*Penicillium*), 8, 85, 87, 189, 237-239
penisilin, 9, 189, 237-239
pestisitler, 145, 187
  mantar kökenli, 193, 275, 284-285
petrol çıkarılması ve sızıntıları, 188-189
peyote, 265
Phallus impudicus (leş kokulu mantar), 210-211
Phycomyces blakesleeanus, 58-59
Physarum, 15, 239-240
  Ayrıca bkz. cıvıkmantarlar
Piketty, Thomas, 138
Pirozynski, Kris, 269
Plants of the Gods (Schultes ve Hofmann), 121-122
plastikler ve plastiği ayrıştıran mantarlar, 5, 189, 195, 284
Platon, 102, 262-263
Pleurotus. Bkz. istiridye mantarları
Pollan, Michael, 109-110
Polyporus umbellatus, 286
Polyporus:
  biyolüminesan türler, 247
  P. umbellatus, 286
porsuk ağacı ve paklitaksel, 239
Potter, Beatrix, 73, 255
Pound, Roscoe, 270
Prigogine, Ilya, 173
primatlar:
  sarhoş maymun hipotezi, 102, 219
probiyotikler, 148, 264
problem çözme:
  beyni olmayan yaşam formları, 15, 16, 49, 64-66, 67
  Ayrıca bkz. beyni olmayan canlılarda "biliş"; karar verme davranışı
prokaryotlar (arkeler), 81, 85, 257
Prototaksitler, 4, 235-236
Psilocybin Mushrooms of the World (Stamets), 185
Psilocybin: Magic Mushroom Grower's Guide (McKenna ve McKenna), 119-120, 190
psilosibin ve psilosibin içeren mantarlar, 108-123
  1930'lardan sonra bulunan türler, 119, 120
  ABD'de suç sayılması ve etkileri, 119-120
  etkileri, 100, 101, 108-113, 117, 121-123
  farklı mantar soylarında psilosibin, 105, 115, 266
  mantar yetiştiriciliği ve satışı, 119-120, 182
  mantarlarda psilosibin üretiminin evrimi, 114-116, 266-268
  mantarların insanlar tarafından yayılması, 116-117, 120-121
  Psilocybe azurescens, 186
  Psilocybe cubensis, *103*
  Psilocybe semilanceata (özgürlük şapkası), *123*
  psilosibinin beyindeki etki mekanizması, 110-113

psilosibinin izolasyonu ve sentezi, 118, 121-122
tarihi/geleneksel kullanım, 101-102, 117-118, 120, 122, 262, 263
yeni araştırmalar ve tedavide kullanımı, 9, 108-111
yirminci yüzyıl ortasındaki araştırmalar ve popüler hikâyeler, 111-112, 117-118, 119, 121-122, 265, 268
psikedelikler:
psikedelik tecrübelere dair ilk anlatılar, 117-118, 268
tedavi amaçlı kullanımları, 108-110, 111, 265
yeni araştırmalar, 21-23, 95-97, 108-110
yirminci yüzyıl ortasındaki araştırmalar, 111-112, 117-118, 119, 121-122, 265, 268
Ayrıca bkz. LSD; psilosibin; psikoaktif bitkiler ve mantarlar
psikoaktif bitkiler ve mantarlar:
Amanita muscaria, 101, 263
ergot mantarları (çavdarmahmuzu) ve ergotizm, 98, 101, 261-262, 263
etkileri, 100, 101, 108-109
hayvanlar tarafından yenmesi, 100, 261-262
mantarların psikoaktif bileşikler üretmesi, 98, 105, 114-116
peyote, 265
uzun zamandır kullanılmaları, 97, 100-103, 108, 262
Ayrıca bkz. LSD; psilosibin; psikedelikler
psikoaktif ilaçlar, 98-99
psilosin, 110, 121, 122
PSK, 239
pteridofitler, 280

Q

queer kuramı, 91-92

R

Rackham, Oliver, 18-19
Radical Mycology (McCoy), 181
radikal mikoloji, 123, 177-203
amatörlerin ve kitle kaynaklarının rolü, 123, 181-182, 189-191, 282-283, 284
arıları mantar kökenli antivirallerle kurtarmak, 9-10, 200-202
atıklar üzerinde mantar yetiştirme, 182-183, 184, 195, 283
evde/amatör yetişticilik, 119-120, 123, 190-191
kurtarıcı olarak mantarlar, 9, 123, 185, 199-200
mikofabrikasyon potansiyeli, 194-198, 285-286
mikoremediasyon potansiyeli, 5, 10, 186-189, 283-284
termit yuvaları, 192-194
Ayrıca bkz. "kendin yap" hareketi; McCoy, Peter; Stamets, Paul
Radikal Mikoloji (örgüt), 181-185, 216
Ayrıca bkz. McCoy, Peter
radyotropizma ve radyasyona direnç:
likenlerde, 80, 257
mantarlarda, 5, 10, 183-184, 283-284
Ramalina, 77
Rambaud, Laurent, 29
Raverat, Gwen, 210-211
Rayner, Alan, 56, 250
Rayner, Mabel, 136
Read, David, 153-158, 164, 278
reishi (*Ganoderma*), 197, 201, 203, 286
rekabet:
bitkiler arasında, 155, 165, 244, 273, 275
Darwin'in armut rekabeti, 284
ortak ilişkilerde, 93, 126, 161, 164-165, 215
rekabet hikâyeleri, simbiyotik/ortak ilişkilerde, 74, 164, 212-213
Rigveda, 263
rizomorflar, 56-57
Robinson, Jennifer, 282
Ruck, Carl, 263
Russell, Bertrand, 113-114

S

Sabina, María, 95, 117-118
Saccharomyces cerevisiae (ekmek ya da bira mayası), 205, *207*, 287
sağlık ve hastalık. *Bkz.* hastalık; mantar hastalıkları; mantarların tıbbi kullanımı
Sahagún, Bernardino de, 101-102
Salem cadı mahkemeleri, 261
Salvia divinorum, 100
salyangozlar, 116

sanat, 76, 102, 248-249
Sand, George, 241
Sapp, Jan, 212, 215, 289-290
Sarcodes sanguinea (kar bitkisi), 158-159, 278
sarhoş maymun hipotezi, 219
Sarno, Louis, 55
Savunma Bakanlığı, 195-196, 201
Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA), 195-196
Sc2.0, 208
Schizophyllum commune, 36
Schultes, Richard Evans, 100-101, 117, 121-122.
Schwendener, Simon, 72-74, 255
sedir, 154, 275-276
Selosse, Marc-André, 159, 162, 235-236, 280
selüloz, 179
septa, 246
serotonin, 264, 266
Serpula lacrimans, 57-58, 63
sezyum, 283-284
Shennong Ben Cao, 286
Sheppard, Steve, 201
sınır akışkanlığı. *Bkz*. yatay gen aktarımı; kimlik ve bireysellik
sıtma, 193, 285
sibermantar modeli, 249-250
sigara izmaritleri, 184
"Sihirli Mantarı Ararken" (Wasson), 118
sihirli mantarlar. *Bkz*. psilosibin; psikoaktif bitkiler ve mantarlar
siklosporin, 9, 104
Simard, Suzanne, 154-155, 156, 160, 170, 174-175, 275-276
simbiyogenez, 257-258
simbiyoz ve simbiyotik ilişkiler, 10-11, 17, 80
  ağustosböcekleri ve *Ophiocordyceps*, 263
  endosimbiyoz kuramı, 81-83, 257, 258
  hayvanlarda, 74, 256
  involüsyon, 144
  likenlerin karmaşıklığı, 90-92
  metaforlar, 73-74, 212-213, 214-215
  simbiyoz kuramının başlangıç dönemi ve tepkiler, 72-74, 131, 216-217, 257-258, 270
  Ayrıca bkz. likenler; mutualizm; mikorizal ağlar; mikorizal ilişkiler
sincaplar, 284
sinekler, 104, 116, 266-268
sitrik asit, 9
sivri şincapçıklar, 219
sivrisinekler, 116, 193, 285
siyah Périgord trüfü (*Tuber melanosporum*), 28, *29*, 32, 38, 244-245
Slot, Jason, 266
Smith, Adam, 288
Smithsonian Tropikal Araştırma Enstitüsü, yazarın araştırması, 11-13, 19, 172, 217
Soğuk Savaş, 213
solucan avlayan mantarlar, 39-40, *41*
soma, 263
son dönem kanser hastalarında psilosibin tedavisi, 108-109
sorediyum, 259
sosyal metaforlar, 40-41, 73-74, 213-214, 289-290
  Ayrıca bkz. rekabet hikâyeleri; işbirliği; ekonomik modeller ve metaforlar
söbelen (*Coprinus comatus*), *7*,
Spitzenkörper (hif uç organı), 248
spor üretimi ve saçılması, 5-6
  psilosibin içeren mantarlar, 116-117, 120-121, 266-268
  trüf mantarları, 25-26
Spribille, Tony, 89-92, 176, 214
Stamets, Paul, 121, 123, 185-186, 188, 283
  antiviral arı yemliği projesi, 200-202
  mantar kökenli pestisitler, 284-285
  psilosibin mantarı yetiştirme, 119-120, 182
  yazarın ziyareti, 198-202
Stanier, Roger, 82
Star Trek: Discovery (Uzay Yolu), 199-200, 202
statinler, 9
Stengers, Isabelle, 173
Streptomyces, 193
Stukeley, William, 221
su:
  bitkiler arasında aktarım, 156
  mantar büyümesi, 54-55, 57, 250
  Ayrıca bkz. akış ve sıvı taşınması
sümüklüböcekler, 116
süngerler, 74

süper koku alan bireyler, 241
sürü ve sürü davranışı, 49, 67, 246-247
sürüngenler, 237

Ş
şıra, Newton'ın elmalarından, 222-224
"şimdi al, sonra öde," 158, 161, 272, 277-278
şitaki mantarları, 191, 239

T
taksonomi, 209-210, 240, 259, 287
tarım, 7-8, 145-149, 200, 206, 286-287
Ayrıca bkz. biyoyakıtlar; mantar yetiştirme
tarımsal atık, 182-183, 195
tarla fareleri, 243
Tassili mağara resimleri, 102
taşıma ağları. *Bkz.* akış ve sıvı taşınması; besin taşınması
taşlar ve likenler, 76, 89, 257
Taxol, 9, 239
tehdit altındaki mantar türleri, 181
termitler ve termit yuvaları, 192-194, *194*, 196-197, 266
Termitomyces, 192-194, 196-197
teruar, trüf aroması, 31-32, 242
tetrasiklin, 237
The Mushroom Cultivator (Stamets), 120, 190
The Power of Movement in Plants (Darwin ve Darwin), 61
Theophrastus, 210
Thermococcus gammatolerans, 257
tilki ateşi, 50
titrek kavak, 245
tohum ve çimlenme, 128, 159, 272, 277
toksik kimyasallar:
ayrıştırıcı mantarlar ve mikoremediasyon, 5, 10, 184-185, 186-189, 197
bitki toksinleri, 165
Tolkien, J.R.R., 131-132
Tolypocladium capitata, 244
toprak:
karasal bitkilerden önce, 125
miselyum içeriği, 48, 129, 270
oluşumu, 4
toprağın verimi/besin elementleri döngüsü ve mikorizal mantarlar, 145-149, 273
Ayrıca bkz. teruar
Tournayre, Michel, 242
toz benzeri tohumlar, 128, 159, 272
Trametes (hindi kuyruğu mantarı), 186, 195, 197, 239, 286
Trees and Toadstools (Rayner), 136
Treubia, 269-270
Tricholoma, 53
trüf avcılığı:
kötüye kullanma, 28-29, 242
İtalya'da, 30-31, 34-36, 40-41, 42
Oregon'da, 42-45
trüf fiyatları ve pazarı, 28-29, 34, 242
trüf mantarları, 29, 31, 35, 42-44, 242
trüf ve trüf mantarları, 7, 25-45, 271
ağaçlar ve diğer bitkilerle ilişkileri, 37-38, 40-41, 245-246, 280
eşeye dayalı ilişkiler, 28, 241-242
hayvanlara çekici gelmesi, 26, 32, 243
koku üretimi ve bileşikler, 31-34, 242, 243
Kuzey Amerika'daki türler, 32
psikoaktif "trüf" taklidi, 241
üreme davranışı, 25-26, 37, 244
yeni türlerin keşfi, 44
yenmeyen ve zehirli türler, 32-34, 243
yetiştirme ve zorlukları, 38-39, 44, 130-131, 244-245
Tsing, Anna, 246
Tuber magnatum (beyaz Piyemonte trüfü), 25, *27*, 30-31, 32, 38, 242, 245
Tuber melanosporum (siyah Périgord trüfü), 28, *29*, 32, 38, 244-245
tutum ve yanlılıklar:
Bayes çıkarımı, 14-15, 239
hiyerarşik bakış açıları ve yanlılıklar, 16, 240, 289-290
insanbiçimci kavramsallaştırmalar, 40-42, 73-74, 164, 169, 174-176, 213-218, 245, 288-290
insanmerkezcilik, 16
mantarmerkezli bakış açısı, 162-164, 216, 217, 290
mikofili ve mikofobi, 209, 210-211, 287
Ayrıca bkz. metaforlar; radikal mikoloji
Türlerin Kökeni (Darwin), 255
türsel ırkçılık, 240
tütün bağımlılığı, 109, 111, 265

U
uçucu bileşikler:
  bitkilerin savunma amacıyla ürettiği infokimyasallar, 166-170
  trüf aromalarında, 32
  Ayrıca bkz. kimyasal sinyal iletimi; mantarlarda iletişim
uğurböcekleri, 104
ulaştırma ağları, model olarak mantar ve cıvıkmantar davranışları, 15, 49
Uluslararası Uzay İstasyonu, 71-72, 79-80, 84, 256
uzay. *Bkz.* astrobiyoloji

V
Varroa destructor, 201
varsayılan mod ağı (VMA), 111
Virchow, Rudolf, 287-288
virüsler, 17, 104, 258
  hayvanlarda ve insanlarda virüs DNA'sı, 92, 256, 257
  Ayrıca bkz. antiviraller
Viveiros de Castro, Eduardo, 106
VMA (varsayılan mod ağı), 111
volkanik aktivite, 270
Voyria, 13, 22, 158, 159, 172, 173
VX gazı, 186

W
Waal, Frans de, 290
Wainwright, Milton, 237
Wasson, Gordon, 117-118, 120, 209, 263, 287
Wasson, Valentina, 209, 287
Wellcome, Henry, 262
Whitehead, Alfred North, 113-114
Whittaker, Robert, 247
Willerslev, Rane, 106

Y
Yamaguchi Sodo, 209
yapı malzemeleri. *Bkz.* miselyum yapı malzemeleri
yaprak bitleri (afidler), 166-167
yaprak kesen karıncalar, 7, 116, 236
yassısolucanlar, 68
yatay gen aktarımı, 78-79, 83, 256-257, 258
  mikorizal ağlar yoluyla bitkiler arasında aktarım, 165-166
  psilosibin, 115, 266
yeşil deniztavşanı, 74, 256
yok oluşlar ve döngüler, 183, 237, 247
yönlenme:
  kaynak-yutak dinamiklerinde, 160-161, 170
  miselyum ağlarındaki akışta, 250, 251
  miselyum büyümesinde, 49, 58-59, 246
Yukagirler, 106
yukarıdan aşağıya etki, 14-15, 239
Yunanistan, antik, 207, 287
  Elefsis Gizemleri, 103, 262-263
yurttaş/amatör katılım, bilime, 181-182, 189-190, 282-283
  kitle kaynakları, 189-191, 284
  Ayrıca bkz. "kendin yap" hareketi; radikal mikoloji
Yüzüklerin Efendisi (Tolkien), 131-132

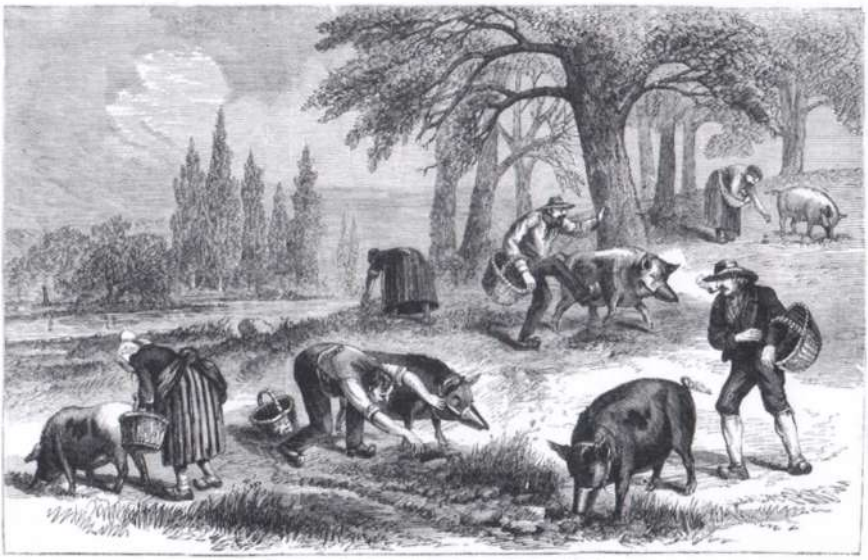
Z
zehirli mantarlar; 116, 180-181, 211, 268, 287
  ergot mantarları (çavdarmahmuzu) ve ergotizm, 98, 101, 261-262, 263
zekâ ve biliş:
  ağ olarak kavramsallaştırılması, 67-68
  bağırsak mikroplarının etkisi, 264
  beyin dokusu kültürü, 254
  insanmerkezli/hiyerarşik bakış açıları, 15-16, 66-67
  psikedeliklerin bilişsel etkileri, 110-111
  zirve hastalığı, 97, 107
  Ayrıca bkz. beyni olmayan canlılarda "biliş"; karar verme; enformasyon iletimi; bellek; problem çözme





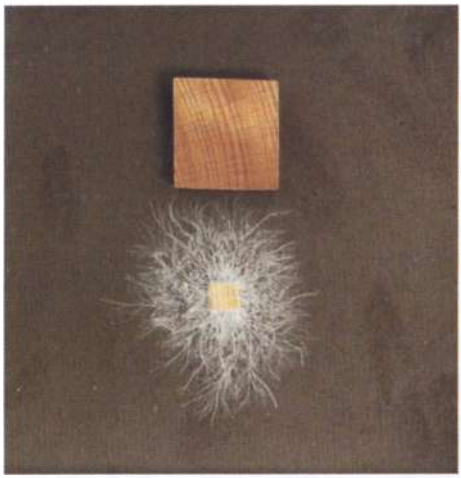
Beyaz Piyemonte trüfü, *Tuber magnatum*
YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR

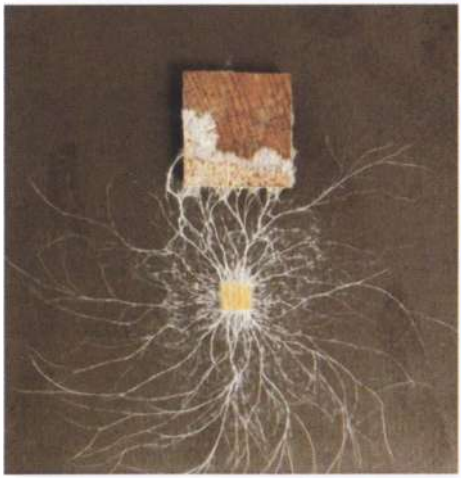
Lagotto Romagnolo ırkı trüf avcısı köpek Kika
YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



TRUFFLE-HUNTING.—TRAINED HOGS ROOTING FOR THE VALUABLE ESCULENT.

1890 civarında yapılmış, "Trüf avcılığı – Değerli yiyeceği kazıp çıkaran eğitilmiş yabandomuzları" adlı bir resim. Topraktan çıkardıkları mantarları yemesinler diye domuzlara ağızlık takılmış. SAMANTHA VUIGNIER/CORBIS, GETTY IMAGES

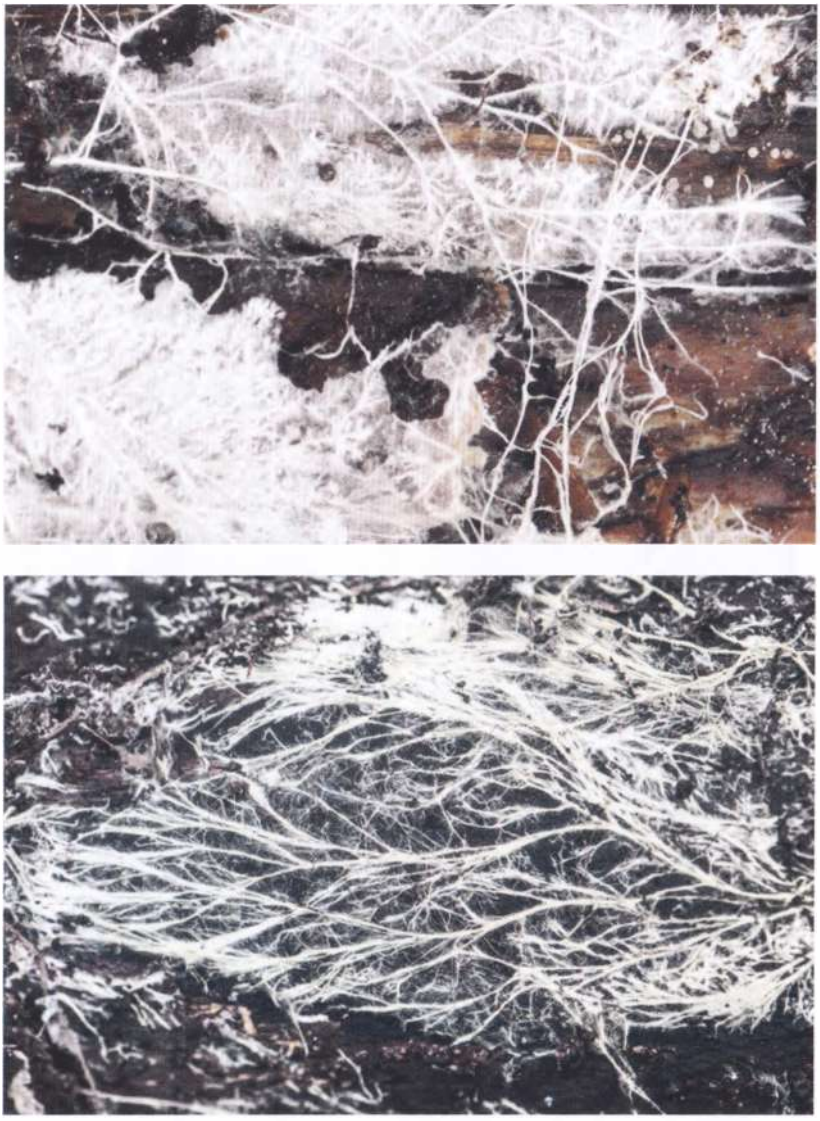




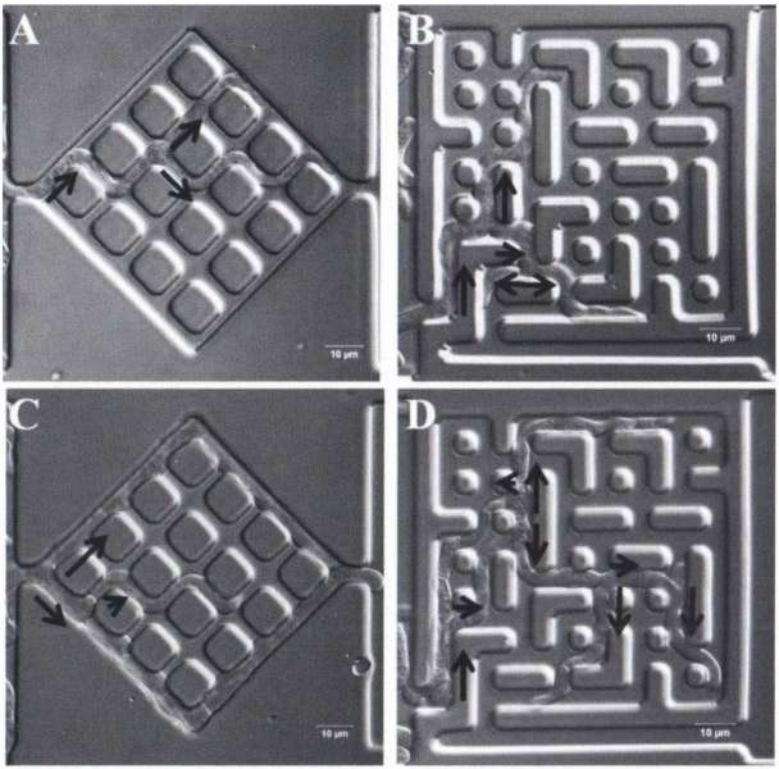


Odun çürüten mantar *Phanerochaete velutina*'nın besin arama davranışı. Üç fotoğraf, tek bir mantarın 48 gün içinde büyümesini gösteriyor. Miselyum bütün yönlere doğru uzayarak etrafı araştırır. Yiyecek bir şey bulduğu zaman besinle arasındaki bağlantılarını güçlendirirken, hiçbir yere varmayan kollarını budar.

YU FUKASAWA'NIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



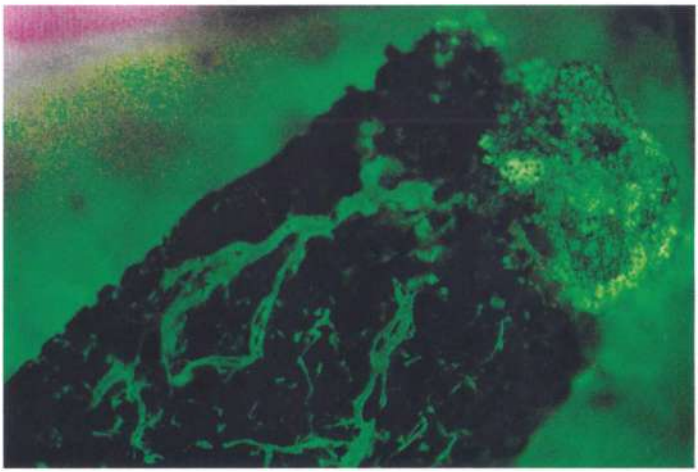
Odun çürüten mantarın araştırma ve bir kütüğü çürütme aşaması.
ALİSON POULIOT'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



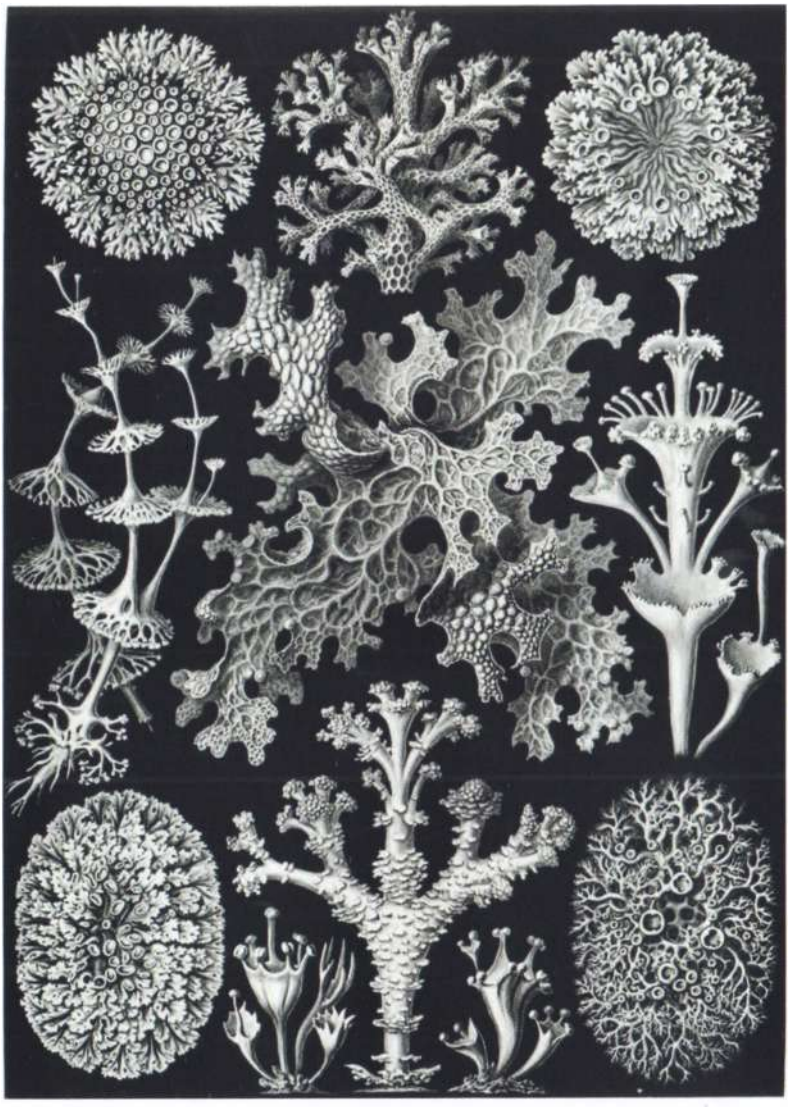
Ekmek küfü *Neurospora crassa*'nın mikroskobik labirentlerde yolunu bulması. Siyah oklar dallanma noktalarında ve labirentlere giriş noktasındaki büyüme yönünü gösteriyor. Görsel Held vd.'den çoğaltılmıştır (2010).



Biyolüminesan hayalet mantar, *Omphalotus nidiformis*.
ALISON POULIOT'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Ağaç yongaları üzerinde gelişen *Panellus stipticus*. Amerikan Bağımsızlık Savaşı sırasında geliştirilen ilk denizaltı *Turtle*'da derinlik göstergesini aydınlatmak için biyolüminesan mantarlar kullanılmıştı. On dokuzuncu yüzyılda İngiliz kömür madeni işçileri maden ocaklarındaki payandaların üzerinde yetişen mantarların etrafı, işçilerin "ellerini görmelerine izin verecek kadar" aydınlattığını söylüyordu. PATRICK HICKEY'NİN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Ernst Haeckel'in likenleri, *Art Forms in Nature*'dan (1904).



Beatrix Potter'ın *Cladonia* likeni çizimi. ARMITT VAKFI



"Zombi mantar" *Ophiocordyceps lloydii* ile enfekte olmuş bir marangoz karınca. Mantar, karıncanın gövdesinde iki yerden filizlenmiş. Örnek Brezilya'nın Amazon havzasından toplanmıştır. JOÃO ARAÚJO'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Ophiocordyceps camponoti-nidulantis ile enfekte olmuş bir marangoz karınca. Mantar karıncayı kaplayan beyaz tüylü bir örtü gibi görünüyor ve mantardan filizlenen sporofitin sapı karıncanın kafasının arkasından çıkmış. Örnek Brezilya'nın Amazon havzasından toplanmıştır. JOÃO ARAÚJO'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR.



Ophiocordyceps camponoti-atricipis ile enfekte olmuş marangoz karınca. Mantar karıncanın kafasından çimlenmiş. Örnek Brezilya'nın Amazon havzasından toplanmıştır. JOÃO ARAÚJO'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



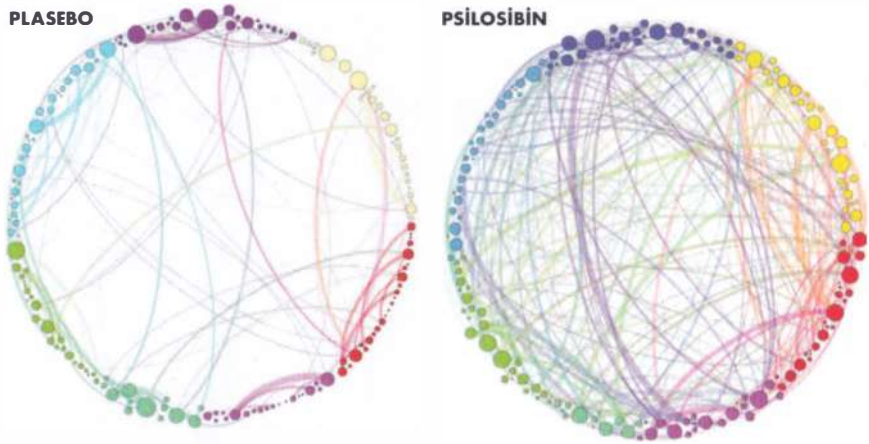
Ophiocordyceps unilateralis ile enfekte olmuş bir marangoz karınca. Beyaz dikensi çıkıntılar, böcek vücudunda yaşayan *Ophiocordyceps* mantarlarını enfekte eden farklı bir mantara, bir "mikoparazit"e ait. Örnek Japonya'dan toplanmıştır.
JOÃO ARAÚJO'NUN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



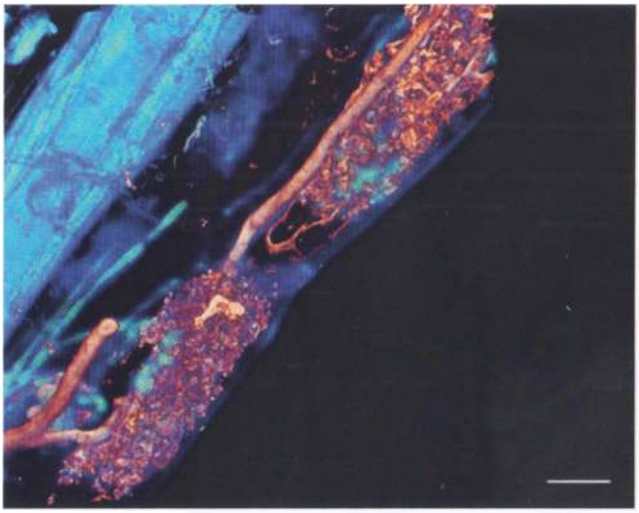
Bir karıncanın kas lifleri etrafında büyüyen *Ophiocordyceps*. Ölçek çubuğu = 2 mikron.
COLLEEN MANGOLD'UN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



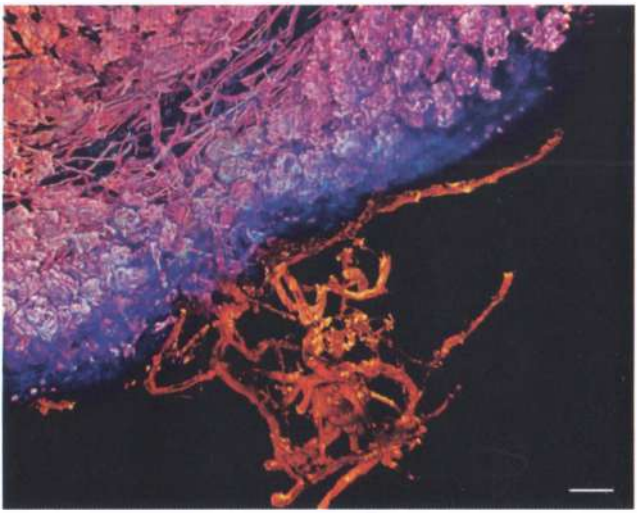
Guatemala'daki mantar taşları; fotoğraf 1970'lerin başlarında çekilmiştir. İki yüz civarında taşın günümüze dek geldiği düşünülüyor. Bu heykeller, psilosibin içeren mantarların törensel amaçlı kullanımının MÖ ikinci binyıla değin uzandığını düşündürüyor. GRANT KALIVODA, CHARLOTTE SCHAARF'IN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Normal uyanık bilinç durumunda (solda) ve psilosibin enjeksiyonundan sonra (sağda) beyin aktivitesi ağları arasındaki bağlantılar. Her iki şeklin kenarlarında yer alan küçük, renkli daireler farklı ağları gösteriyor. Psilosibin enjeksiyonunu takiben çok sayıda yeni nöron yolağı ortaya çıkar. Psilosibinin insan zihnini değiştirme yetisi beyindeki bu akış süreçleriyle ilişkili görünüyor. Görsel Petri vd.'den çoğaltılmıştır (2014).



Bir bitki kökünün içinde yaşayan mikorizal mantar. Mantar kırmızı, bitki mavi görünmektedir. Bitki hücrelerinin içindeki "arbüskül" ("ağaççık") olarak adlandırılan ince dallı yapılar bitkiyle mantar arasında alışverişin gerçekleştiği yerlerdir. Ölçek çubuğu = 20 mikron.
YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Bir bitki kökünün içine doğru büyüyen mikorizal mantar. Mantar kırmızı, bitki kökünün kenarı mavi görünüyor. Kökün içinde mantar yoğunluğu görülmekte. Ölçek çubuğu = 50 mikron.
YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Panama'da bir yağmur ormanında büyüyen mikoheterotrof *Voyria tenella*. Orman çapında ağın "hacker"ları olan mikoheterotroflar fotosentez yapma becerisini yitirdikleri için besin elementlerini toprağın içinde yayılan mikorizal mantar ağlarından çeker.

CHRISTIAN ZIEGLER'IN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



New York'ta, Adirondack Orman Koruma Alanı'nda büyüyen mikoheterotrof *Monotropa uniflora* ya da diğer adıyla "hayalet pipo".

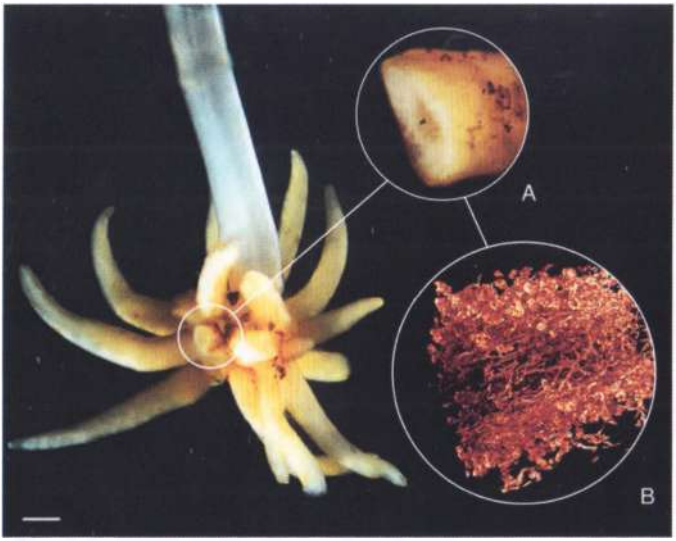
DENNIS KALMA'NIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



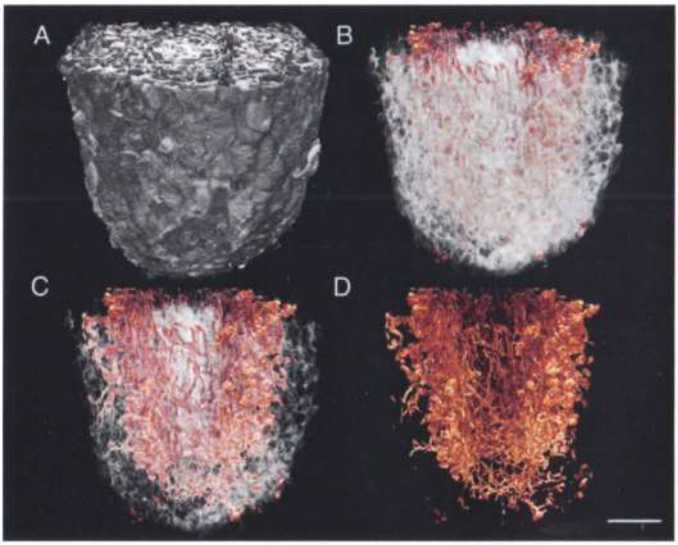
Kaliforniya'daki El Dorado Ulusal Ormanı'nda yetişen mikoheterotrof *Sarcodes sanguinea* ya da John Muir'in deyişiyle "alev alev yanan ateşten bir sütun".
TIMOTHY BOOMER'IN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



Kaliforniya'nın Salt Point Eyalet Parkı'nda büyüyen mikoheterotrof *Allotropa virgata* ya da "çubuk şeker".
TIMOTHY BOOMER'IN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR



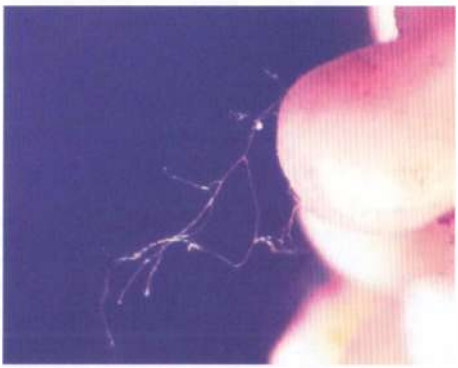
Yakınlık içinde yakınlıklar. Mikoheterotrof *Voyria tenella*'nın köklerinde mikorizal mantar yoğunluğu görülüyor. Mantarlar Resim A'da kökün kenarını çevreleyen açık renkli bir halka olarak görülüyor. Resim B'de mantarlar kırmızı görünüyor; bitkisel dokular gösterilmemiştir. Ölçü çubuğu = 1 milimetre. Fotoğraf Sheldrake vd.'den çoğaltılmıştır (2017).

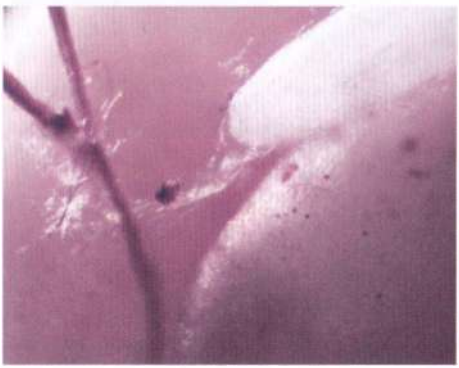


Mikoheterotrof *Voyria tenella*'nın kökünde yaşayan mikorizal mantarlar. Mantar kırmızı, bitki kökü gri görünüyor. A'dan D'ye doğru fotoğraflarda aynı kök kesitinde bitki dokusu giderek saydamlaştırılmıştır. Ölçek çubuğu = 100 mikron. Fotoğraf Sheldrake vd.'den çoğaltılmıştır (2017).

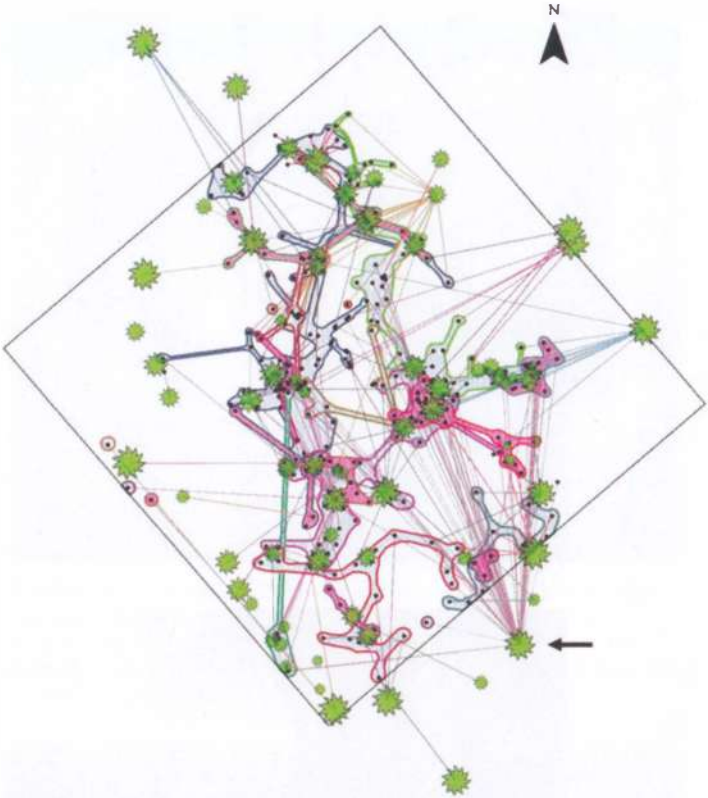


Mikoheterotrof *Voyria tenella*'nın topraktan su ve mineral emilimi için yetersiz kalan kökleri mantar "çiftlikleri"ne evrilmiştir. Köklerin üzerindeki mikorizal mantar hiflerine dikkat edin. Resimde yapışkan miselyum ağına takılı kalmış toprak parçaları görülüyor. Bu nadir görüntü bitki köklerinin çevreleriyle ilişki kurmasını sağlayan mantar bağlantılarını gösteriyor. YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR





Mikoheterotrof *Voyria tenella*'nın kökleri üzerindeki mantar miselyumu. YAZARIN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR





Yukarıda: Kevin Beiler'ın, ortak bir mantar ağını gösteren haritası. Yeşil şekiller Douglas göknarları, düz çizgilerse ağaç kökleriyle mikorizal mantarlar arasındaki bağlantıyı gösteriyor. Siyah noktalar Beiler'ın örnekleri topladığı yerleri işaret ediyor. Genetik açıdan özdeş mantar ağları farklı renklerle gösterilmiştir. Mikorizal mantar *Rhizopogon vesiculosus*'un oluşturduğu ağlar mavi, *Rhizopogon vinicolor* ağlarıysa pembe görülüyor. Siyah çerçeve 30x30 metrelik bir alanı sınırlıyor; aşağıdaki ok, bağlantı sayısı en fazla (47 ağaç) olan ağaca işaret ediyor. Çizim Beiler vd.'den çoğaltılmıştır (2009).

Solda: Peter McCoy'un *Pleurotus* ile yaptığı deney. Bu deneyde istiridye mantarının tek besin kaynağı sigara izmaritleriydi. Kavanozun içinde ezilmiş bir sigara filtresinin dış yüzü seçilebiliyor. PETER McCOY'UN İZNİYLE KULLANILMIŞTIR

YAZAR HAKKINDA

Biyolog ve yazar Merlin Sheldrake, Smithsonian Tropikal Araştırmalar Enstitüsü'nde araştırma görevlisi olarak bulunduğu sırada Panama yağmur ormanlarındaki yeraltı mantar ağları üzerine yaptığı çalışmasıyla Cambridge Üniversitesi'nde tropikal ekoloji alanında doktorasını tamamladı. *Saklı Dünya* aynı zamanda bir müzisyen ve fermantasyon meraklısı olan Sheldrake'in ilk kitabı.

merlinsheldrake.com

Canlılar dünyasındaki yaşam formlarından biri öyle garip ve muhteşemdir ki bizi yaşamın işleyişi üzerine yeniden düşünmeye zorlar.

Ne bitki ne de hayvanlar. Yerde, havada, vücudumuzda yaşıyorlar. Kimisi mikroskobik boyutlarda, kimisi şimdiye dek kaydedilmiş en büyük organizma. Karasal yaşam, bu canlıların kayaları parçalamasıyla başladı. Ekmek, alkol ve bazı ilaçları bahşederek insanlık tarihini şekillendirdiler. Uzayda yaşayabilecek ya da nükleer radyasyonun ortasında serpilebilecek kadar dayanıklı, davranış manipülasyonuyla bazı hayvanları felakete sürükleyebilecek kadar becerikli, atmosferin içeriğini –ve belki de geleceğimizi– değiştirebilecek kadar kudretliler.

Mantarların hayranlık uyandırıcı ama göz ardı edilmiş dünyasına hoş geldiniz. Merlin Sheldrake, 23 dile çevrilip kısa sürede bir doğabilim klasiğine dönüşen *Saklı Dünya*'da, neredeyse bütün canlı sistemleri destekleyen mantarların yaşamlarına büyüleyici bir yolculuğa çıkarıyor bizleri. "Wood Wide Web" denen ağlar sayesinde bitkileri birbirine bağladıklarının keşfedilmesiyle ekosistemleri anlama biçimimizi, beyinleri olmadığı halde problem çözebildiklerinin anlaşılmasıyla da geleneksel "zekâ" tanımlarını değiştiren mantarların, gerek yaşadığımız gezegeni gerekse zihin ve davranışlarımızı anlamanın anahtarı olduğunu gösteriyor. Mantarları daha yakından tanıdıkça pek çok şeyin ancak onlarla anlam kazandığını fark ediyoruz.

"Bu kitaba aşık oldum. Merlin şairin hayal gücüne sahip bir bilim insanı." –MICHAEL POLLAN, *Arzunun Botaniği*'nin yazarı

"Doğal yaşama dair anlayışımızı tepeden tırnağa yeniden şekillendiriyor. Baş döndürücü." –ED YONG, *Mikrobiyota*'nın yazarı

"Bir macera romanı gibi okunuyor... Harikulade." –*Sunday Times*

"Muhteşem!" –MARGARET ATWOOD

domingo
www.domingo.com.tr

978-605-198-234-2
9 786051 982342
75 TL
KDV'den muaftır.