DANIEL CHAMOVITZ

Bitkilerin Bildikleri

DÜNYAYA BİTKİLERİN GÖZÜNDEN BAKMAK



metis bilim | 35

DANIEL CHAMOVITZ

Bitkilerin Bildikleri

İsrail asıllı Amerikalı biyolog Daniel Chamovitz 1963 yılında Pennsylvania'da doğdu. Lisans öğrenimini Columbia Üniversitesi'nde tamamladıktan sonra doktorasını Kudüs İbrani Üniversitesi'nde genetik alanında yaptı. Yale Üniversitesi' nde ve Seattle'daki Fred Hutchinson Kanser Araştırma Merkezi'nde konuk biliminsanı olarak çalıştı. Dünyanın çeşitli ülkelerindeki üniversitelerde konferanslar verdi; bitkiler ve meyve sinekleriyle ilgili araştırmalan önde gelen bilim dergilerinde yayımlandı. Halen Tel Aviv Üniversitesi'nde Yaşam Bilimleri Fakültesi'nin dekanı olan Chamovitz, eşi ve üç çocuğuyla birlikte İsrail'in Hod HaŞaron kentinde yaşıyor.



Metis Yayınları
İpek Sokak 5, 34433 Beyoğlu, İstanbul
e-posta: info@metiskitap.com
www.metiskitap.com
Yayınevi Sertifika No: 10726

Bitkilerin Bildikleri
Dünyaya Bitkilerin Gözünden Bakmak
Daniel Chamovitz

İngilizce Basımı:
What a Plant Knows
A Field Guide to the Senses
Scientific American / Farrar, Straus and Giroux, LLC,
New York işbirliğiyle yayımlanmıştır.

© Daniel Chamovitz, 2012
© Metis Yayınları, 2016
Çeviri Eser © Gürol Koca, 2017
AnatoliaLit Telif Hizmetleri Ltd., İstanbul aracılığıyla
yapılan sözleşme temelinde yayımlanmıştır.

İlk Basım: Eylül 2018

Yayıma Hazırlayan: Özde Duygu Gürkan

Kapak Resmi: J. J. Grandville, "Les Fleurs Animées", 1847.
Kapak Tasarımı: Emine Bora

Dizgi ve Baskı Öncesi Hazırlık: Metis Yayıncılık Ltd.
Baskı ve Cilt: Yaylacık Matbaacılık Ltd.
Fatih Sanayi Sitesi No. 12/197 Topkapı, İstanbul
Matbaa Sertifika No: 11931

ISBN-13: 978-605-316-136-3

Eserin bütünüyle ya da kısmen fotokopisinin çekilmesi, mekanik ya da elektronik araçlarla çoğaltılması, kopyalanarak internette ya da herhangi bir veri saklama cihazında bulundurulması, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'nun hükümlerine aykırıdır ve hak sahiplerinin maddi ve manevi haklarının çiğnenmesi anlamına geldiği için suç oluşturmaktadır.

DANIEL CHAMOVITZ

Bitkilerin Bildikleri

DÜNYAYA BİTKİLERİN GÖZÜNDEN BAKMAK

Çeviren:
Gürol Koca

metis

Shira, Eytan, Noam ve Shani'ye

İçindekiler

Önsöz 11

1 Bitkilerin Gördükleri 17

2 Bitkilerin Kokladıkları 34

3 Bitkilerin Hissettikleri 54

4 Bitkilerin Duydukları 73

5 Bitkilerin Konumlarına Dair Bildikleri 90

6 Bitkilerin Hatırladıkları 110

Sonsöz:
Çevresinin Farkında Olan Bitki 129

Notlar 135

Teşekkür 149

Görseller İçin Kaynakça 151

Dizin 153

Önsöz

BİTKİ VE İNSAN duyuları arasındaki benzerlikler konusuna, 1990' larda doktoram sonrasında Yale Üniversitesi'nde genç bir öğretim görevlisi olarak çalıştığım sıralarda ilgi duymaya başladım. Yalnızca bitkilere özgü olan ve insan biyolojisiyle bağlantılı olmayan bir biyolojik süreç üzerinde çalışmak amacındaydım (bu amacı ailemdeki altı tıp doktoruna tepki olarak seçmiştim belki de). Böylece bitkilerin gelişimlerini düzenlemek için ışıktan nasıl yararlandıkları sorusuna yöneldim. Araştırmamda[1] bir bitkinin aydınlık ortamda mı yoksa karanlık ortamda mı olduğunu belirlemesinde gerekli olan kendine özgü bir gen grubu keşfettim. Daha sonra, büyük bir şaşkınlıkla ve planlarımın tam aksine bu gen grubunun aynı zamanda insan DNA'sının da bir parçası olduğunu keşfettim.[2] Bu sonuç, "bitkilere özgü" görünen bu genlerin insanlarda ne işe yaradığı yolundaki bariz soruyu gündeme getirdi. Aradan geçen yılların ve birçok araştırmanın ardından bu genlerin bitkilerde olduğu kadar hayvanlarda da bulunduğunu, dahası bunların aynı zamanda her iki canlı türünde (başka gelişimsel süreçlerin yanı sıra) ışığa yönelik tepkileri düzenlediğini artık öğrenmiş bulunuyoruz![3]

Elde edilen bu sonuçlar, bitkilerle hayvanlar arasındaki genetik farklılığın daha önce düşündüğüm kadar belirgin olmadığını fark etmemi sağladı. Bitkilerin ışığa tepkisiyle ilgili araştırmalar zaman

içinde yerini meyve sineklerinde lösemi konusundaki araştırmalara bıraktığında, bitki biyolojisiyle insan biyolojisi arasındaki benzerlikleri sorgulamaya başladım. Bu süreçte, *Küçük Korku Dükkânı* filmindeki gibi "Beni besle!" demeyi bilen bir bitki olmasa da, epey şey "bilen" birçok bitki olduğunu keşfettim.

Şurası kesin ki, hemen arka bahçemizde bulunan çiçek ve ağaçların son derece incelikli duyu mekanizmalarına pek dikkat etmiyoruz. Çoğu hayvan yaşayacağı ortamı seçebilir, fırtınada sığınacak yer bakabilir, yiyecek ve eş arayabilir veya mevsimin değişmesiyle birlikte başka yerlere göç edebilirken, bitkiler daha iyi şartlara sahip ortamlara hareket etme olanağından yoksun olarak, sürekli değişen hava şartlarına, kendilerine sarkan komşu bitkilere ve zararlı böceklere direnip mevcut koşullara uyum sağlamak zorundadır. Hareket edemedikleri için bitkiler, sürekli değişen koşullara göre büyümelerini ayarlamalarını sağlayan karmaşık duyu sistemleri ve düzenleyici sistemler geliştirmişlerdir. Bir karaağaç komşusunun gölge yapıp yapmadığını bilmek zorundadır ki mevcut ışığa doğru büyümenin bir yolunu bulabilsin. Bir marul çevresinde kendisini yemeye hazır obur yaprak bitleri olup olmadığını bilmek zorundadır ki onları öldürecek zehirli kimyasallar üreterek kendini onlardan koruyabilsin. Bir Douglas köknarı güçlü rüzgârların dallarını sallayıp sallamadığını bilmek zorundadır ki bu rüzgârlara karşı daha güçlü bir gövde geliştirebilsin. Keza kiraz ağaçları da ne zaman çiçek açmaları gerektiğini bilmek zorundadır.

Genetik düzeyde bitkiler birçok hayvandan daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve biyolojide en önemli keşiflerin kaynağı bitkiler üzerinde yapılmış araştırmalardır. Robert Hooke 1665'te, kendi yaptığı ilk mikroskoplardan biriyle şişe mantarını incelerken hücreyi keşfetti. On dokuzuncu yüzyılda Gregor Mendel bezelyelerden yararlanarak modern genetiğin ilkelerini ortaya koyarken, yirminci yüzyılın ortalarında Barbara McClintock Hint mısırından yararlanarak genlerin yer değiştirebildiğini, yani zıplayabildiğini kanıtladı. Bugün artık bu "zıplayan genlerin" bütün DNA'ların belirgin bir

özelliği olduğunu ve insanlardaki kanserle yakından ilişkili olduğunu biliyoruz. Her ne kadar Darwin'i modern evrim teorisinin kurucu babası olarak tanıyorsak da, onun en önemli bulguları aslında *bitki* biyolojisiyle ilgiliydi; bu kitabın ilerleyen sayfalarında onun bu bulgularıyla sık sık karşılaşacağız.

Elbette bu kitapta "bilme" sözcüğünü yaygın kullanılan anlamının dışında kullanıyorum. Bitkilerin merkezi sinir sistemleri yoktur: Bir bitkinin bir bilgiyi bedeninin geneline yönlendiren bir beyni yoktur. Yine de bir bitkinin farklı bölümleri birbirine sıkı sıkıya bağlıdır ve ışık, havadaki kimyasallar ve sıcaklık değerleriyle ilgili bilgiler kök ile yapraklar ve çiçek ile gövde arasında sürekli dolaşarak bitkinin çevresine en iyi şekilde uyum göstermesini sağlar. İnsan davranışını bitkilerin kendi dünyalarındaki işlevsel hareketlerle kıyaslayamayız, ama sizden kitap boyunca bitkiler için genelde insan deneyimlerine mahsus olan terminolojiyi kullanmamı hoş görmenizi rica ediyorum. Bir bitkinin *gördüklerini* veya *kokladıklarını* araştırırken, bitkilerin gözleri veya burunları olduğunu (ya da bütün duyu girdilerini duygularla renklendiren bir beyinleri olduğunu) iddia etmiyorum. Ama bu terminolojinin görme, koku, bitkilerin ne olduğu ve nihayet biz insanların ne olduğu konusunda yeni düşünceler geliştirmemizde bize yardımcı olacağına inanıyorum.

Kitabım *Bitkilerin Gizli Yaşamı* değil; bitkilerin bizim gibi olduğuna dair argümanlar arıyorsanız, onları burada bulamazsınız. Ünlü bitki fizyoloğu Arthur Galston'ın 1974'te, son derece popüler ama bilimsellikten uzak olan bu kitaba yoğun bir ilgi gösterilen dönemlerde ifade ettiği gibi, "yeterli kanıtlarla desteklenmeden ileri sürülen tuhaf iddialara" karşı ihtiyatlı olmalıyız.[4] *Bitkilerin Gizli Yaşamı*, ihtiyatsız okuru yanlış yönlendirmekten daha kötüsünü yapmış, biliminsanlarının hayvan duyularıyla bitki duyuları arasında paralellikler olduğuna işaret eden her araştırmaya ihtiyatla yaklaşmalarına, dolayısıyla bitkilerin davranışlarıyla ilgili önemli araştırmaların önünün tıkanmasına yol açmıştı.

Bitkilerin Gizli Yaşamı'nın medyayı salladığı günlerin üstünden on yıllar geçti ve bu süre zarfında biliminsanlarının bitki biyolojisi konusundaki bilgileri muazzam biçimde arttı. Bu kitapta, bitki biyolojisindeki en son araştırmaları inceliyor ve bitkilerin gerçekten de duyuları olduğunu iddia ediyorum. Bu kitap çağdaş bilimin bitkilerin duyuları hakkında söylediği şeylerle ilgili kapsamlı ve bütünlüklü bir inceleme değil; öyle bir kitap olsaydı yalnızca bu alandaki çalışmaları yakından takip eden okurlarla sınırlı kalırdı. Onun yerine her bölümde bir insan duyusuna odaklanıyor ve bu duyunun insanlardaki işleviyle bitkilerdeki işlevini karşılaştırıyorum. Duyusal bilginin nasıl algılandığını, nasıl işlendiğini ve söz konusu duyunun bitki için ekolojik içerimlerini açıklıyorum. Her bölümde ayrıca konuyla ilgili hem tarihsel bir perspektif hem de çağdaş bir görüş sunuyorum. Bu kitap için görme, dokunma, duyma, içalgı (propriyosepsiyon) ve bellek konularını seçtim. Koku alma konusunu da ele alıyorum ama tat alma konusuna girmiyorum; bu iki duyu birbiriyle yakından ilişkili.

Bitkilere tamamen bağımlıyız. Maine ormanlarındaki ağaçlardan yapılma ahşap evlerde uyanıyor, fincanımıza Brezilya'da yetişmiş kahve çekirdeklerinden öğütülmüş kahve koyuyor, Mısır pamuğundan yapılmış tişörtümüzü giyiyor, bilgisayardan kâğıda çıktı alıyor, Afrika'da yetişen kauçuklardan yapılma lastikleri olan ve milyonlarca yıl önce ölmüş açık tohumlu bitkilerden elde edilen benzinle çalışan arabalarımızla çocuklarımızı okula götürüyoruz. Bitkilerden elde edilen kimyasallar ateş düşürüyor (mesela aspirin) ve kanseri tedavi ediyor (Taxol). Buğday bir çağın sonunu getirip başka bir çağı başlattı, mütevazı patates ise kitlesel göçlere neden oldu. Bitkiler bizlere ilham vermeye ve bizi hayrete düşürmeye devam ediyor: Bir yanda dünyanın en büyük bağımsız organizmaları olan dev sekoyaları, diğer yanda dünyanın en küçük organizmaları olan algleri görüyoruz; güller ise istisnasız herkesin yüzünde güller açmasını sağlıyor.

Bitkilerin bizim için neler yaptıklarını bildiğimize göre, bilim-insanlarının onlar hakkında neler keşfettiklerini öğrenmek için biraz vakit ayırmaya değmez mi? Öyleyse gelin bitkilerin iç yaşamlarının ardındaki bilimi araştırma serüvenine başlayalım. İlk yapacağımız şey, arka bahçelerimizde sessiz sedasız duran bitkilerin neler gördüğünü ortaya çıkarmak olacak.

1

Bitkilerin Gördükleri

Pırıl pırıl çiçeklenmiş, kökleri yerde,
yüzü delice sevdiği güneşe çevrili boyuna.

– Ovidius, *Dönüşümler**

Bir düşünün: Bitkiler sizi görüyor.
Aslında bitkiler görünür ortamlarını daima izlerler. Yanlarına gidip gitmediğinizi anlarlar; yanlarında durduğunuzu bilirler. Hatta üzerinizdeki gömleğin mavi mi yoksa kırmızı mı olduğunu bile bilirler. Evinizi boyayıp boyamadığınızı veya saksılarını oturma odanızın bir köşesinden başka bir köşesine taşıyıp taşımadığınızı da bilirler.

Bitkiler sizin benim gibi çevrelerini resimler halinde "görmezler" elbette. Saçları seyrekleşmiş, orta yaşlı, gözlüklü bir adamla kıvırcık kahverengi saçlı, güleç yüzlü küçük bir kızı birbirinden ayırt edemezler. Ama ışığı bizim ancak hayal edebileceğimiz renk ve biçimlerde görebilirler. Örneğin bizde güneş yanığı yaratan morötesi ışığı ve bizi yakan kızılötesi ışığı görebilirler. Ortamda az ışık olduğunu (mum ışığı gibi), gün ortası olduğunu veya güneşin ufukta batmakta olduğunu anlarlar. Işığın soldan mı, sağdan mı, yoksa tepeden mi geldiğini bilirler. Başka bir bitkinin büyüyüp üzerlerini kapadığını, ışıklarını engellediğini bilirler. Işığın ne kadar zamandır açık olduğunu bilirler.

* Çev. İsmet Zeki Eyüboğlu, İstanbul: Payel, 1994, s. 100. –*y.n.*

Peki bunu bir "bitki görüşü" olarak kabul edebilir miyiz? Öncelikle görmenin bizde nasıl olduğuna bakalım. Doğuştan kör olan ve mutlak karanlıkta yaşayan birini düşünelim. Bu kişiye aydınlıkla karanlığı ayırt edebilme yeteneği kazandırıldığını hayal edelim. Bu kişi geceyle gündüzü, içerisiyle dışarısını ayırt edebilir. Edinilen bu yeni duyular hiç şüphesiz ilkel bir görme duyusu olarak kabul edilebilir ve bu kişiye yeni işlevler kazandırır. Şimdi de bu kişinin renkleri ayırt edebildiğini varsayalım. Maviyi yukarıda, yeşili aşağıda görüyor diyelim. Böyle bir şey karanlıktan veya yalnızca beyaz ya da griyi ayırt etmekten yeğdir elbette. Bu köklü değişikliğin (tam körlükten renkleri görmeye geçişin) bu kişi için kesinlikle "görmek" anlamına geleceği fikrine hepimizin katılacağını düşünüyorum.

Merriam-Webster sözlüğünde "görme" şöyle tanımlanıyor: "Göze gelen ışık uyaranlarının beyin tarafından yorumlanıp uzaydaki nesnenin konumuna, şekline, parlaklığına ve genellikle rengine dair bir temsilinin oluşturulduğu fiziksel duyu."[1] Biz insanlar "görünür tayf" olarak tanımladığımız bir alan içindeki ışığı görürüz. Işık, görünür tayf içindeki elektromanyetik dalgalar için yaygın olarak kullanılan daha anlaşılır bir sözcüktür. Bu ise ışığın, mikrodalgalar ve radyo dalgaları gibi diğer elektrik sinyalleriyle ortak özelliklere sahip olduğu anlamına gelir. AM radyo frekansının dalgaları çok uzundur: 0,8 kilometre kadar. Radyo antenlerinin birkaç bina katı yüksekliğinde olmasının nedeni budur. X ışınları ise çok kısadır, radyo dalgalarından bir trilyon kat kısa; bu nedenle vücudumuzun içinden kolayca geçerler.

Işık dalgalarının uzunluğu ise bu ikisinin ortasındadır, 0,0004 ila 0,0007 milimetre uzunluğunda. Mavi ışık en kısa olanı, kırmızı en uzun olanıdır; yeşil, sarı ve turuncu ortalarda yer alır. (Gökkuşağının renk örüntüsü bu nedenle hep aynı sırayı takip eder – mavi gibi kısa dalga boylu renklerden kırmızı gibi uzun dalga boylu renklere doğrudur.) Bunlar bizim "gördüğümüz" elektromanyetik dalgalardır, çünkü gözlerimizde bu enerjiyi nasıl alacağını bilen,

onları tıpkı antenlerin radyo dalgalarını emdiği gibi emen fotoreseptör adlı özel proteinler vardır.

Gözyuvarlarımızın arkasında yer alan retina adıyla bilinen katmanda bu tür reseptör dizilerinden çok sayıda bulunur, tıpkı düz ekran televizyonların ekranlarındaki LED dizileri veya dijital kameralardaki sensörler gibi. Retina üzerindeki her noktada her tür ışığa duyarlı çomak hücre adı verilen hücreler ve ışığın farklı renklerine tepki veren koni hücresi adı verilen fotoreseptörler vardır. Her koni hücresi veya çomak hücre, üzerine odaklanan ışığa tepki verir. İnsan retinasında yaklaşık 125 milyon çomak hücre ve 6 milyon koni hücresi bulunur, hepsi de vesikalık fotoğraf büyüklüğünde bir alan içindedir. Bu 130 megapiksel çözünürlüğe sahip dijital bir kameraya eşdeğerdir. Böyle küçük bir alanda bu kadar çok sayıda reseptör olması, bize yüksek bir görsel çözünürlük sağlar. Kıyaslama yapacak olursak, en yüksek çözünürlüğe sahip dış mekân LED ekranlarda metrekarede 10.000 civarında LED vardır, ortalama bir dijital kameranın çözünürlüğü ise yalnızca 8 megapiksel kadardır.

Işığa daha duyarlı olan çomak hücreler geceleri ve düşük ışık koşulları altında etrafımızı görmemizi sağlar, ama görüntü renkli değildir. Koni hücreleri parlak ışık altında farklı renkleri görmemizi sağlar, çünkü koni hücreleri üç çeşittir: kırmızı, yeşil ve mavi. Bu farklı fotoreseptörler arasındaki ana fark, içerdikleri kimyasallardır. Çomaklarda rodopsin, konilerde fotopsin olarak adlandırılan bu kimyasallar, ışığı farklı dalga boylarında emmelerini sağlayan özel yapılara sahiptir. Mavi ışığı rodopsin ve mavi fotopsin, kırmızı ışığı rodopsin ve kırmızı fotopsin emer. Mor ışığı rodopsin ile mavi ve kırmızı fotopsin emer ama yeşil fotopsin *emmez* vb. Çomak hücre veya koni hücresi ışığı emince beyne bir sinyal gönderir; beyin milyonlarca fotoreseptörden gelen bütün sinyalleri işlemden geçirerek bunları tutarlı bir resme dönüştürür.

Körlük çeşitli aşamalarda meydana gelen kusurlardan kaynaklanır: retinanın yapısındaki fiziksel bir sorundan; ışığı algılama yetersizliğinden (rodopsin ve fotopsinden kaynaklı sorunlardan dola-

yı örneğin); veya beyne gerekli bilgiyi gönderememekten. Mesela kırmızı ışığı algılayamayan renk körlerinde kırmızı koni hücresi yoktur. Bu nedenle kırmızı ışık sinyalleri emilemez ve beyne bilgi aktarılamaz. İnsanların görme duyularında ışığı emen hücreler vardır, beyin bu hücrelerden gelen bilgiyi işlemden geçirir, biz de bu sayede ışığa tepki veririz. Peki bitkilerde durum nedir?

Botanikçi Darwin

Charles Darwin'in *Türlerin Kökeni Üzerine* adlı ufuk açıcı yapıtının yayımlanmasından sonraki yirmi yıl boyunca, günümüzdeki bitki araştırmalarını etkilemeye hâlâ devam eden bir dizi deney gerçekleştirdiği pek bilinmez.

Işığın bitkilerin büyümesi üzerindeki etkileri Darwin'i heyecanlandıran bir konuydu, oğlu Francis de onun gibi bu konuya ilgi duyuyordu. Son kitabı *The Power of Movement in Plants*'te (Bitkilerde Hareket Gücü) Darwin şöyle yazar: "Bir kısmı yatay ışığa doğru eğilmeyen ... [bitki] son derece azdır."[2] Lafı dolandırmadan söyleyecek olursak: Bitkilerin hemen hepsi ışığa doğru eğilir. Bunu pencereden gelen güneş ışınlarına doğru eğilip dönen ev bitkilerinde her zaman görürüz. Bu davranışa fototropizm adı verilir. Darwin'in çağdaşlarından Julius von Sachs, 1864'te mavi ışığın bitkilerde fototropizmi harekete geçiren temel renk olduğunu, bitkilerin genelde diğer renklere karşı kör olduğunu, bu renklerin bitkilerin ışığa doğru eğilmelerinde çok az etkili olduğunu keşfetti. Ne var ki o dönemlerde belli bir yönden gelen ışığı bitkinin nasıl gördüğünü kimse bilmiyordu.

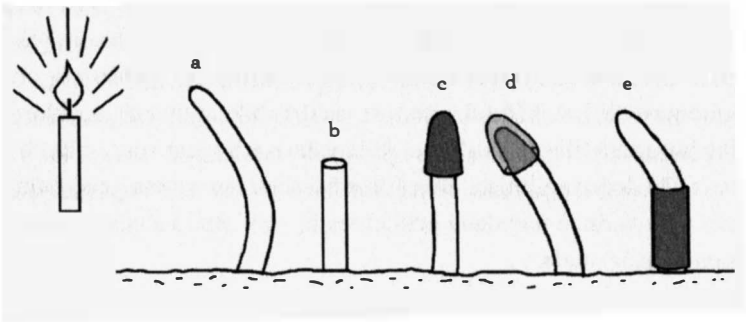
Darwin ve oğlu, hazırladıkları çok basit bir deneyle bu eğilmenin, bitkilerin enerji elde etmek için gerçekleştirdikleri bir işlem olan fotosentezden kaynaklanmadığını, bitkilerin doğasında var olan, ışığa doğru hareket etme duyarlığından kaynaklandığını kanıtladı. Deneyleri için baba oğul Darwinler, saksıda yetiştirdikleri

bir kanarya otunu günlerce karanlık bir odada beklettiler. Sonra bitkinin üç buçuk metre uzağına yerleştirdikleri bir gaz lambasını yaktılar. Gaz lambasını çok kısık bir ayarda çalıştırmış, "çimlenmiş otu göremeyecekleri, kâğıt üzerindeki yazıları bile okuyamayacakları" loş bir ortam oluşturmuşlardı. Ama yalnızca üç saat sonra bitki bu loş ışığa doğru eğilmişti. Bu eğilme hareketi her zaman genç bitkinin aynı yerinde meydana gelmekteydi, yani tepe kısmının birkaç santim aşağısında.



Kanarya otu
(*Phalaris canariensis*)

Bu durum karşısında baba oğul Darwinler bitkinin hangi kısmının ışığı gördüğünü sorgulamaya başladılar ve botanikte klasikleşen bir deney gerçekleştirdiler. Deneyi bitkinin "gözleri"nin, fidenin eğilen kısmında değil tepe kısmında olduğu varsayımından hareketle gerçekleştirdiler. Aşağıdaki şekilde tasvir edildiği gibi, beş farklı fidede fototropizm olayını incelediler:



Darwin'in fototropizm deneyinin özeti

a) İlk fideye hiçbir şey uygulamadılar, bu fide deney koşullarının fototropizme uygun olduğunu göstermekteydi.

b) İkinci fidenin tepe kısmını kestiler.

c) Üçüncünün tepe kısmını ışık geçirmez bir başlıkla örttüler.

d) Dördüncünün tepe kısmını şeffaf bir cam başlıkla örttüler.

e) Beşincinin orta kısmını ışık geçirmez bir tüple kapattılar.

Deneyi ilk deneylerinin koşullarında gerçekleştirdiler ve hiçbir uygulamada bulunmadıkları fide, bekleneceği üzere eğildi. Keza, orta kısmı ışık geçirmez bir tüple kaplı olan fide de (bkz. yukarıda *e*) ışığa doğru eğildi. Fidenin *tepe* kısmını kestiklerinde veya bu kısmı ışık geçirmez bir başlıkla örttüklerindeyse fide körleşti ve ışığa doğru eğilemedi.[3] Sonra dördüncü senaryodaki bitkinin (*d*) davranışına tanık oldular: Bu fide, tepesinde başlık olmasına rağmen ışığa doğru eğilmişti. Buradaki fark, başlığın şeffaf olmasıydı. Baba oğul Darwinler bu loş ortamda bile camın ışığın bitkinin tepe kısmına ulaşmasına engel olmadığını fark ettiler. 1880'de yayımlanan tek bir basit deneyle Darwinler, fototropizmin ışığın bitkinin sürgününe ulaşmasının bir sonucu olduğunu, sürgünün ışığı gördüğünü ve bu bilgiyi bitkinin orta kısmına göndererek bu kısmın ışığın geldiği yöne doğru eğilmesini sağladığını kanıtladılar. Böylece bitkilerdeki ilkel görme olayını başarılı biçimde gösterdiler.

Dev Maryland Tütünü: Sürekli Büyüyen Tütün

Uzun yıllar sonra, Maryland'in güneyindeki vadilerde yeni bir tütün türü ortaya çıktı ve bitkilerin dünyayı görme biçimleri konusuna yönelik ilgiyi yeniden canlandırdı. Maryland'deki bu vadiler, on yedinci yüzyılın sonlarından, yani buralara ilk gelen beyaz yerleşimcilerden beri Amerika'nın en büyük tütün çiftliklerine ev sahipliği yapıyor. Yüzyıllardır tütün yetiştiriciliği yapan Susquehannock halkı gibi yerlilerden tütün yetiştiriciliğini öğrenen tütün çiftçileri baharda ekim yapar, yazın sonlarına doğru hasat alırdı. Tütünlerden bazıları toplanmaz, gelecek yılın ekimi için tohum elde edilmek üzere çiçeklenmeye bırakılırdı. 1906'da çiftçiler hiç durmadan büyüyormuş gibi görünen bir tütün türü olduğunu fark ettiler. Bu tütün türü 4,5 metre boyuna erişebiliyor, neredeyse yüz yaprak çıkarıyordu ve ancak don başladığında büyümesi duruyordu. Sürekli büyüyen bu gürbüz bitki çiftçiler için bir nimet gibiydi. Ama çoğunlukla olduğu gibi, isabetli bir adlandırmayla dev Maryland tü-



Tütün (*Nikotiana tabacum*)

tünü ismi verilen bu tütün de iki yüzlü Roma tanrısı Janus gibiydi: Bir yandan büyümesi hiç durmuyordu, ama öte yandan pek çiçek açmıyordu, ki bu da çiftçilerin sonraki yılın ekimi için ondan tohum elde edemediği anlamına geliyordu.

ABD Tarım Bakanlığı'nda çalışan iki biliminsanı, Wightman W. Garner ve Harry A. Allard, 1918'de dev Maryland tütününün yaprak çıkarmayı ne zaman kesip çiçek ve tohum vermesi gerektiğini neden bilmediğini araştırmaya başladı.[4] Dev Maryland tütünlerini saksıda yetiştirdiler, bunların bir bölümünü sürekli dışarıda bırakırken bir bölümünü her öğleden sonra karanlık bir yere aldılar. Aldığı ışığın miktarının azaltılması bitkinin büyümesini durdurmaya ve çiçeklenmesini sağlamaya yetmişti. Bir başka deyişle, dev Maryland tütünü uzun yaz günlerine maruz kaldığında yapraklanmaya devam ediyordu. Ama yapay olarak oluşturulan daha kısa günlerle karşılaştığında çiçekleniyordu.

Fotoperiyodizm olarak adlandırılan bu olay, bitkilerin ne kadar ışık aldıklarını ölçtüklerine dair ilk güçlü kanıtı oluşturuyordu.[5] Takip eden yıllarda yapılan diğer deneyler, birçok bitkinin –tıpkı dev Maryland tütünü gibi– ancak günler kısa olduğunda çiçeklendiğini ortaya koydu; bu tür bitkilere "kısa gün" bitkileri adı verilir. Bu keşif, çiftçilerin artık ışığı kontrol ederek bitkilerin çiçeklenmesini planlarına uygun şekilde sağlayabilecekleri anlamına geliyordu. Floridalı çiftçiler, dev Maryland tütününü aylarca (Maryland'de karşılaşılan donun etkileri olmadan) büyütebileceklerini ve bu tütünlerin nihayetinde, günlerin en kısa olduğu kış ortalarında çiçekleneceğini fark etmekte gecikmedi elbette.

(Kısa) Bir Günün Yarattığı Fark

Fotoperiyodizm kavramı biliminsanları arasında büyük bir hareketlilik yarattı ve hemen şu soruları sormaya başladılar: Bitkiler gündüzün mü gecenin mi uzunluğunu ölçerler? Bitkiler ışığın hangi rengini görürler?

İkinci Dünya Savaşı'nın sürdüğü sıralarda biliminsanları bitkilerin çiçeklenmesini, gecenin karanlığında ışıkları açıp kapayarak kontrol edebileceklerini keşfettiler. Kısa günlerde, gecenin bir yarısında ışığı sadece birkaç dakikalığına açarak soya fasulyesi gibi bir kısa gün bitkisinin çiçeklenmesini durdurabiliyorlardı. Öte yandan, gece karanlığında birkaç dakikalığına ışığı açarak süsen gibi uzun gün bitkilerinin kış ortasında (normalde çiçeklenmedikleri, günlerin kısa olduğu dönemlerde) çiçeklenmesini sağlayabiliyorlardı. Bu deneyler bitkilerin *günün* uzunluğunu değil, karanlığın süresini ölçtüklerini kanıtladı.

Çiçek yetiştiricileri bu teknikten yararlanarak kasımpatıların çiçeklenmesini –bahardaki çiçek sahnesine katılmaları için en uygun zaman olan– Anneler Günü'ne kadar durdurabiliyorlar. Normalde Anneler Günü'nün baharda olması ve kasımpatıların sonbaharda açması çiçek yetiştiricileri için sıkıntılı bir durumdur. Neyse ki sonbahar ve kış ayları boyunca geceleri birkaç dakikalığına ışık yakılarak seralarda yetiştirilen kasımpatıların çiçeklenmesi engellenir. Sonra... bom... Anneler Günü'nden iki hafta önce, yetiştiriciler geceleri ışık yakmamaya başlar ve kasımpatıların hepsi birden çiçeklenir, hasat edilir ve kargoya verilir.

Biliminsanları bitkilerin ışığın hangi renklerini gördükleri konusuyla da ilgiliydi. Keşfettikleri şey şaşırtıcıydı: Deneye tabi tutulan bitkilerin istisnasız hepsi, geceleri yalnızca kırmızı ışığa tepki vermişti.[6] Geceleri yakılan mavi veya yeşil ışığın hiçbiri çiçeklenmiş bitkileri etkilemiyor, ama birkaç dakikalığına yakılan *kırmızı* ışık onları etkilemeye yetiyordu. Bitkiler renklere göre farklı tepkiler vermekteydi: Hangi yöne doğru eğileceklerini anlamak için mavi ışıktan, gecenin uzunluğunu ölçmek içinse kırmızı ışıktan yararlanıyorlardı.

Sonra, 1950'lerin başlarında Harry Borthwick ve meslektaşları, dev Maryland tütününün ilk incelendiği USDA laboratuvarında, uzak-kırmızı ışığın (*far-red light*: dalga boyu parlak kırmızı ışığınkinden biraz daha uzun olan ve çoğunlukla alacakaranlıkta, belli

belirsiz görülebilen ışık) kırmızı ışığın bitkilerdeki etkilerini yok ettiğini gösteren harikulade bir keşifte bulundu.[7] Bunu daha anlaşılır biçimde anlatayım: Uzun gecelerde normalde çiçeklenmeyen süsenlerin üzerine gecenin ortasında kırmızı ışık tutarsanız, doğadaki süsenlerinkinden daha parlak ve daha güzel çiçekler açarlar. Ama kırmızı ışıktan hemen sonra üzerlerine uzak-kırmızı ışık tuttuğunuzda, sanki hiç kırmızı ışığa maruz kalmamış gibi davranırlar. Çiçek açmazlar. Uzak-kırmızı ışıktan sonra tekrar üzerlerine kırmızı ışık tutarsanız, yine çiçek açarlar. Üzerlerine tekrar uzak-kırmızı ışık tuttuğunuzda, çiçek açmaları durur vb. Çok fazla ışıktan söz etmiyoruz; her birini birkaç saniye tutmanız kâfidir. Işıkla çalışan bir şalter gibidir bu: Kırmızı ışık çiçeklenmeyi başlatır, uzak-kırmızı ışık durdurur. Şalteri yeterince hızlı biçimde açıp kapattığınızda hiçbir şey olmaz. Olaya daha felsefi bir açıdan yaklaşırsak, bitkilerin gördükleri son rengi hatırladıklarını söyleyebiliriz.

John F. Kennedy başkan seçildiği sıralarda, Warren L. Butler ve araştırma arkadaşları, kırmızı ve uzak-kırmızı ışığın bitkiler üzerindeki etkilerinden tek bir fotoreseptörün sorumlu olduğunu kanıtladı.[8] Bu reseptöre "bitki rengi" anlamına gelen "fitokrom" adını verdiler. En basit modelinde fitokrom ışıkla etkin hale gelen bir anahtardır. Kırmızı ışık fitokromu etkinleştirir, onu uzak-kırmızı ışığı almaya hazır bir biçime sokar. Uzak-kırmızı ışık ise fitokromu etkisiz hale getirerek onu kırmızı ışığı almaya hazır bir biçime sokar. Ekolojik açıdan bu çok anlamlıdır. Doğada, bitkilerin günün sonunda gördükleri en son ışık uzak-kırmızı ışıktır, bu ışık bitkiye "kontağı kapaması" gerektiği mesajını verir. Bitki sabah olunca kırmızı ışığı görür ve uyanır. Bitki bu şekilde kırmızı ışığı en son ne zaman gördüğünü hesaplar ve büyümesini buna göre ayarlar. Peki çiçeklenmeyi düzenlemek için bitkinin tam olarak hangi kısmı kırmızı ve uzak-kırmızı ışığı görür?

Darwin'in fototropizm çalışmalarından, bitkinin "gözü"nün tepe kısmında olduğunu, ışığa tepkinin ise bitkinin gövde kısmında gerçekleştiğini biliyoruz. O halde buradan, fotoperiyodizmin "gö-

zü"nün de bitkinin tepe kısmında olduğu sonucuna varabiliriz. Ama şaşırtıcı bir şekilde, durum hiç de öyle değildir. Gecenin ortasında, bir bitkinin çeşitli kısımlarına ışık tutarsanız, bitkinin *tamamında* çiçeklenmeyi düzenlemek için tek bir yaprağı aydınlatmanın yeterli olduğunu görürsünüz. Buna karşılık, geride bir tek tepesi ile gövdesi kalacak şekilde bütün yaprakları budandığında bitki her türlü ışığa karşı kördür, bitkinin her tarafı aydınlatılsa bile. Bir tek yapraktaki fitokrom, gecenin ortasında kırmızı ışık görürse, bitkinin tamamı aydınlatılmış gibi olur. Yapraklardaki fitokrom ışığın işaretini alarak hareketli bir sinyal başlatır, bu sinyal bitkinin her tarafına yayılır ve çiçeklenmeyi başlatır.

Genetik Çağında Kör Bitkiler

Gözlerimizde dört farklı fotoreseptör türü vardır: ışık ve gölgeler için rodopsin; kırmızı, mavi ve yeşil için de üç fotopsin. Bir de iç saatlerimizi düzenleyen kriptokrom adlı beşinci bir reseptörümüz vardır. Buraya kadar, bitkilerin de çok sayıda fotoreseptörü olduğunu gördük. Örneğin doğrudan gelen mavi ışığı görürler, ki en az bir tane mavi ışık fotoreseptörüne sahip oldukları anlamına gelir bu; bugün bu fotoreseptör fototropin adıyla biliniyor. Ayrıca çiçeklenmede etkili olan kırmızı ve uzak-kırmızı ışığı da görürler, ki bu da en az bir fitokrom fotoreseptörüne sahip olduklarına delalettir. Ama bitkilerin tam olarak kaç fotoreseptörleri olduğunu belirlemek için biliminsanlarının, fitokromun keşfinden onlarca yıl sonra başlayan moleküler genetik çağını beklemeleri gerekti.

1980'lerde Hollanda'daki Wageningen Üniversitesi'nden Maarten Koornneef'in öncülük ettiği ve çeşitli laboratuvarlarda yinelenip geliştirilen yeni bir yaklaşım doğrultusunda, bitkilerde görme duyusunu anlamak için genetikten yararlanıldı.[9] Koornneef basit bir soru sormuştu: "Kör" bir bitki neye benzer? Karanlıkta veya loş ışıkta büyüyen bitkiler parlak ışıkta büyüyenlerden daha uzundur. İlkokul son sınıfın fen dersinde fasulye tanesi çimlendirme de-

neyine katıldıysanız, dolapta büyüyen fasulyelerin uzun, zayıf ve sarı, okul bahçesinde büyüyenlerinse daha kısa, gürbüz ve yeşil olduklarını bilirsiniz. Bu mantıklı, çünkü bitkiler normalde karanlıkta uzarlar – topraktan çıkıp ışığa ulaşmaya veya sundurma altındalarsa ışığın engellenmediği yere doğru uzanmaya çalıştıkları için. Koornneef kör, mutant bir bitki bulabilirse, bu bitki parlak ışık altında bile uzun kalabilirdi. Eğer kör mutant bitkiler tespit edip yetiştirebilirse, bu bitkilerdeki sorunu genetiğin yardımıyla ortaya koyabilirdi.

Koornneef bu deneyi, yabani hardala benzeyen küçük bir laboratuvar bitkisi olan *Arabidopsis thaliana* (fare kulağı teresi) üzerinde gerçekleştirdi. Bir grup arabidopsis tohumunu DNA'da mutasyonlara neden olan (ayrıca laboratuvar farelerinde kansere yol açan) kimyasallara maruz bıraktı, çıkan fideleri çeşitli renklerdeki ışık altında büyüttü ve diğerlerinden daha uzun mutant fidelerin oluşup oluşmadığını kontrol etti. Bu şekilde birçok mutant fideyle karşılaştı. Mutant fidelerin bazıları mavi ışık altında daha uzun olmuş, kırmızı ışık altında yetiştirildiğindeyse normal boyda kalmıştı. Bazıları kırmızı ışık altında yetiştirildiklerinde boy atmış, mavi ışık altında yetiştirildiklerindeyse normal boyda kalmıştı. Bazıları UV ışığı altında boy atmış ve diğer ışıklar altında normal boyda kalmış, bazılarıysa kırmızı *ve* mavi ışıklar altında daha fazla boy atmıştı. Birkaçının boyları loş ışık altında uzamış, bazılarıysa yalnızca parlak ışık koşullarında boy atmıştı.

Belli renkteki ışıklara karşı kör olan bu mutantların çoğunun söz konusu renkteki ışığı emen fotoreseptörleri kusurluydu. Fitokromu olmayan bir bitki kırmızı ışık altında karanlıktaymış gibi büyümesini sürdürmüştü. İşin şaşırtıcı yanı, fotoreseptörlerin birkaçı çift halindeydi; içlerinden biri loş ışığa, diğeriyse parlak ışığa karşı duyarlıydı. Bu uzun ve karmaşık öyküyü özetleyerek şunu söyleyelim ki, bugün artık arabidopsisin en az *on bir* farklı fotoreseptörü olduğunu biliyoruz[10]: Bunlardan bazıları bitkiye ne zaman çimleneceğini, bazıları ne zaman ışığa doğru eğileceğini, bazıları ne zaman



Arabidopsis
(*Arabidopsis thaliana*)

çiçekleneceğini söyler, bazıları da gece olduğunda bitkiye haber verir. Bazıları bitkiye üzerine çok fazla ışık düştüğünü bildirirken, bazıları ışığın loş olduğunu söyler, bazıları da bitkiye zaman tutmasında yardımcı olur.[11]

Dolayısıyla bitkilerde görme duyusu, algılama düzeyinde, insanlardakine göre daha karmaşıktır. Bitkiler için ışık bir sinyal olmanın çok ötesindedir elbette; ışık onlar için besin demektir. Bitkiler ışıktan yararlanarak su ve karbondioksidi çeşitli şekerlere dönüştürür, bu şekerler de bütün hayvanlar için gerekli besini sağlar. Ama bitkiler durağan, hareketsiz organizmalardır aynı zamanda. Kelimenin tam anlamıyla tek bir yere kök salmışlardır, yiyecek aramak için bir yerden bir yere göç edemezler. Dolayısıyla bu durağanlıklarını telafi etmek için yiyecek bulma –ışığı arayıp yakalama– yeteneklerinin olması gerekir. Yani ışığın nerede olduğunu bilmek durumundadırlar ve hayvanların yaptığı gibi yiyeceğe doğru

hareket etmekten ziyade, yiyeceğe doğru büyürler.

Bir bitki başka bir bitkinin büyüyüp üstünü kapatıp kapatmadığını, fotosentez için gerekli olan ışığın önünü kesip kesmediğini bilmek durumundadır. Bitki gölgede kaldığını fark edince, gölgeden kurtulmak için daha hızlı büyümeye başlar. Bitkiler hayatta kalma mücadelesi de vermek zorundadır, yani tohumlarından ne zaman çıkacaklarını, ne zaman çoğalacaklarını bilmeleri gerekir. Birçok bitki türü baharda büyümeye başlar, birçok memeli hayvan da bu dönemde doğum yapar. Bitkiler baharın geldiğini nasıl anlar? Günlerin uzamaya başladığını pitokromdan öğrenirler. Bitkiler ayrıca sonbaharda, kar yağmadan önce de çiçek açar ve tohumlarını toprağa bırakırlar. Sonbaharın geldiğini nasıl anlarlar? Gecelerin uzamaya başladığını pitokromdan öğrenirler.

Bitkilerin ve İnsanların Gördükleri

Bitkiler hayatta kalabilmek için çevrelerindeki dinamik görsel ortamın farkında olmak zorundadır. Bunun için ışığın yönünü, miktarını, süresini ve rengini bilmeleri gerekir. Bitkiler görünür (ve görünmez) elektromanyetik dalgaları algılar. Biz görece kısıtlı bir spektrum içindeki elektromanyetik dalgaları algılarken, bitkiler bizim algılayamadığımız kısa ve uzun elektromanyetik dalgaları algılayabilir. Bu dalgaları bize göre daha geniş bir spektrumda algılayabilseler de, resimler halinde görmezler. Bitkilerde ışık sinyallerini resme dönüştürecek bir sinir sistemi yoktur. Onun yerine ışık sinyallerini büyümek için faydalandıkları farklı ipuçlarına dönüştürürler. Bitkilerin gözleri yoktur, tıpkı bizim yapraklarımız olmadığı gibi.[12]

Ama bitkiler de biz de ışığı algılarız.

Görmek yalnızca elektromanyetik dalgaları *algılamak* değildir, aynı zamanda onlara karşı bir *tepkide* bulunmaktır. Retinalarımızın içindeki çomak ve koni hücreleri ışık sinyallerini algılar ve bu bilgiyi beyne iletirler, biz de bu bilgiye tepki veririz. Bitkiler görsel

sinyali fizyolojik düzeyde tanımlanabilen bir bilgi haline de getirebilirler. Darwin'in bitkilerinin ışığı gövdelerinin ucuyla görmeleri yeterli değildi; bu ışığı emmeleri, sonra da onu bir şekilde bitkiye eğilmesini söyleyen bir bilgiye dönüştürmeleri de gerekiyordu. Yani ışığa *tepki vermeleri* lazımdı. Birçok fotoreseptörden gelen karmaşık sinyaller, bitkinin büyüme hızını ortam değişikliklerine göre optimal düzeyde ayarlamasına olanak tanır, tıpkı bizdeki dört fotoreseptörün beynimizin birtakım resimler oluşturmasına izin vermesi, bunların da değişen ortamları yorumlamamızı ve değişikliklere tepki vermemizi sağlaması gibi.

Konuyu daha geniş bir perspektiften değerlendirirsek: Bitkilerdeki pitokromla insanlardaki kırmızı fotopsin aynı fotoreseptörler değildir; ikisi de kırmızı ışığı emer, ama farklı kimyasal yapılara sahip farklı proteinlerdir. Bizler gördüğümüz şeyleri yalnızca diğer hayvanlarda bulunan fotoreseptörler aracılığıyla görürüz. Nergis ise gördüğü şeyleri yalnızca bitkilerde bulunan fotoreseptörler aracılığıyla görür. Ama bitki ve insanlardaki fotoreseptörler, ışığı emen kimyasal bir boyayla bağlantılı bir proteinden oluşmaları açısından birbirine benzer; bir fotoreseptörün çalışması için gerekli fiziksel sınırlardır bunlar.

Gelgelelim her şeyde olduğu gibi burada da istisnalar vardır ve milyarlarca yıl birbirlerinden bağımsız bir şekilde evrim geçirmiş olmalarına rağmen bitkilerle hayvanların görme sistemlerinde ortak özellikler bulunur. Hem hayvanlarda hem de bitkilerde kriptokrom adı verilen mavi ışık reseptörleri vardır.[13] Kriptrokromun bitkilerdeki fototropizm üzerinde bir etkisi yoktur, ama bitkilerin büyümesinin düzenlenmesinde başka birçok rolü vardır, bunlardan biri de bitkinin iç saatini yönetmektir. Hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de normal gündüz ve gece döngüleriyle uyum içinde çalışan ve "sirkadiyen saat" adı verilen bir iç saat vardır. Biz insanlarda bu iç saat hayatımızın her bölümünü yönetir, bize acıktığımızı, tuvalete gitmemiz gerektiğini, yorgun olduğumuzu, kendimizi enerjik hissettiğimizi söyler. Bedenimizin davranışlarındaki bu günlük de-

ğişikliklere sirkadiyen ritimler adı verilir, çünkü hiç güneş ışığı almayan kapalı bir odada olsak da bu ritimler yaklaşık yirmi dört saatlik döngüler halinde devam eder. Uçakla dünyanın diğer ucuna seyahat ettiğimizde sirkadiyen saatimizin gündüz-gece sinyalleriyle arasındaki senkronizasyon bozulur; yani *jet lag* olarak adlandırılan olay meydana gelir. Sirkadiyen saat ışık sayesinde kendini yeniden ayarlar, ama bunun için birkaç gün gerekir. Karanlık otel odasında vakit geçirmekten ziyade, dışarıda, günışığında vakit geçirdiğimizde *jet lag*'dan daha hızlı kurtulmamızın nedeni de budur.

Kriptokrom, temel olarak sirkadiyen saatimizin ışık altında kendini yeniden ayarlamasından sorumlu mavi ışık reseptörüdür.[14] Kriptokrom mavi ışığı emer, sonra hücreye ortamın gündüz olduğu sinyalini gönderir. Bitkilerde de sirkadiyen saatler vardır; bu saatler yaprak hareketleri ve fotosentez gibi birçok bitkisel süreci düzenler. Yapay olarak bir bitkinin gündüz-gece döngüsünü değiştirirsek, bu bitki de *jet lag* yaşar (ama o bizim gibi huysuzlanmaz) ve tekrar düzelmesi için birkaç gün gerekir. Örneğin bir bitkinin yaprakları normalde akşama doğru kapanıp sabah tekrar açılıyorsa, bu bitkinin aydınlık-karanlık döngüsü tersine çevrildiğinde yaprakları karanlıkta (önceden gündüz olan zamanda) açılmaya ve aydınlıkta (önceden akşam olan zamanda) kapanmaya başlar. Yaprakların bu açılıp kapanma düzeni, yeni aydınlık-karanlık örüntülerine birkaç gün içinde uyum sağlar.

Bitkilerin kriptokromu da, tıpkı meyve sinekleri ve farelerdeki kriptokromlar gibi, dıştan gelen ışık sinyallerini iç saatle koordine etmede temel bir role sahiptir.[15] Sirkadiyen ritimlerin mavi ışıkla yönlendirildiği bu temel düzeyde bitkilerle insanlar esasen aynı biçimde "görürler". Kriptokromların çalışmalarını hiç aksatmadan, harikulade bir şekilde sürdürmesi evrimsel açıdan hiç şaşırtıcı değildir. Sirkadiyen saatler, evrimin erken dönemlerinde tekhücreli organizmalarda, henüz hayvan ve bitki âlemleri birbirinden ayrılmadan önce ortaya çıkmıştı. Bu ilk saatler muhtemelen hücreleri yüksek dozda UV ışımasının zararlarından koruyordu. Bu ilk saat-

lerde, bir kriptokrom ışık ortamını tarıyor ve hücre bölünmesinin gece gerçekleşmesini sağlıyordu. Bugün bile bakteri ve mantar gibi tekhücreli organizmalarda görece basit saatlere rastlamak mümkündür. Her organizmada yaygın olarak bulunan bu fotoreseptörde ışık algısının evrimi devam etmiş ve bu fotoreseptörler bitkilerle hayvanları birbirinden ayıran iki farklı görme sistemine dönüşmüştür. Fakat daha da şaşırtıcı olan şu ki, bitkiler koku da alır...

2

Bitkilerin Kokladıkları

Taşların hareket ettiği ve ağaçların konuştuğu vakidir.

– Shakespeare, *Macbeth*

BİTKİLER KOKU ALIR. Bitkilerin hayvan ve insanları cezbeden kokular yaydıkları barizdir, ama *kendi* kokularını ve komşu bitkilerin kokularını da algılarlar. Bitkiler meyvelerinin olgunlaştığını, komşularının budama makasıyla budandığını veya obur bir böcek tarafından yendiğini anlar, bunun kokusunu alırlar. Hatta bazı bitkiler domatesin kokusunu buğdayın kokusundan ayırabilir. Bitkilerin işleyebildiği görsel girdilerin çeşitliliğine karşılık koku alma yetenekleri sınırlıdır, ama bu yetenekleri çok hassastır ve bitkiye epey bilgi sağlar.

Günümüzde herhangi bir sözlükte "koklama" maddesine baktığınızda, bunun "koku sinirlerini etkileyen uyaranlar aracılığıyla kokuyu algılama" yeteneği olduğuna dair tanımlara rastlarsınız.[1] Koku sinirleri basitçe, burundaki koku reseptörlerini beyne bağlayan sinirler olarak tanımlanabilir. Koklama sırasında, uyaranlar havada çözünmüş halde bulunan küçük moleküllerdir. İnsanlarda koku alma, havada bulunan kimyasalları alan burun içi hücrelerini ve bu kimyasallardan gelen bilgileri işleyerek insanın çeşitli kokulara tepki vermesini sağlayan beyni içerir. Örneğin odanın bir ucunda bir parfüm şişesini açtığınızda, parfümün kokusunu odanın diğer

ucunda da alırsınız çünkü parfümden birtakım kimyasallar buharlaşır ve odanın her yanına yayılır. Bu moleküller çok seyrektir ama burnumuzda özellikle farklı kimyasallarla tepkiye giren binlerce reseptör vardır. Bir molekülün bir reseptörle bağ kurması kokuyu almamız için yeterlidir.

Bedenimizin koku algılama mekanizması, ışığı algılamayı sağlayan mekanizmadan farklıdır. Önceki bölümde de gördüğümüz üzere, bütün bir renk paletindeki renkleri görmemiz için kırmızı, yeşil, mavi ve beyazı birbirinden ayırt eden dört fotoreseptör sınıfı yeterlidir. Koku almada ise her biri kendine özgü bir uçucu kimyasala göre tasarlanmış, birbirinden farklı yüzlerce fotoreseptör söz konusudur.

Burundaki bir koku reseptörünün bir kimyasal maddeyle bağ kurması, kavramsal olarak anahtar-kilit sistemine benzer. Her kimyasal madde belli bir protein reseptörüne uyan kendine özgü bir yapıya sahiptir, tıpkı her anahtarın belli bir kilide uyan kendine özgü bir şekli olduğu gibi. Bir kimyasal madde belli bir reseptörle bağ oluşturduktan sonra birbirini izleyen sinyal dalgaları oluşur ve bu sinyaller beynin içindeki bir sinire ulaşarak onu ateşler, reseptörün uyarıldığı haberini verir. Biz bunu belli bir koku olarak yorumlarız. Biliminsanları mentol (nanedeki aromanın ana unsuru) ve putresin (leşten yayılan kötü kokunun kaynağı) gibi yüzlerce aromayı kaydetmiştir. Ama kokusunu aldığımız her aroma birçok kimyasalın karışımından oluşur genellikle. Örneğin nane kokusunun yarısı mentolden kaynaklanırken, kalan yarısı otuzdan fazla başka kimyasalın karışımından oluşur. Muhteşem bir spagetti sosunun, koyu kırmızı bir şarabın veya yeni doğmuş bir bebeğin kokusunu çok farklı şekillerde tarif edebilmemizin nedeni budur.

Peki bitkilerde durum nasıldır? Sözlükteki "koklama" tanımı bitkileri dışlar. Bitkiler koku dünyasıyla ilgili geleneksel anlayışımızın dışına itilmiştir, çünkü bir sinir sistemleri yoktur ve şüphesiz ki bir bitkide koklama, burunsuz yapılan bir işlemdir. Ama sözlükteki tanımı biraz eğip bükerek "uyaranlar aracılığıyla kokuyu algı-

lama" yeteneği haline getirebiliriz. Bitkiler tedavi edici kokular yayan canlılar olmanın ötesindedir gerçekten de. Peki bir bitki hangi kokuları alır ve kokular bir bitkinin davranışını ne şekilde etkiler?

Açıklanamayan Olaylar

Büyükannem biyoloji veya ziraat eğitimi almadı. Liseyi bile bitirmedi. Ama sert bir avokadonun olgun bir muzla birlikte bir kesekâğıdına koyularak yumuşatılabileceğini biliyordu. Bu sihri annesinden öğrenmişti, annesi de kendi annesinden vesaire. Aslında bu uygulama eski çağlara kadar uzanır; kadim kültürlerde meyveleri olgunlaştırmak için birçok yöntem kullanılırdı. Eski Mısırlılar incirleri olgunlaştırmak için aralarına birkaç tane yarılmış incir koyarlardı; eski Çin'de ise armutları olgunlaştırmak için armut dolu ardiyenin içinde tütsü yakılırdı.

Yirminci yüzyılın başlarında, Floridalı çiftçiler turunçgilleri kapalı alanlarda gaz sobası yakarak olgunlaştırırdı. Olgunlaşmayı sıcaklığın sağladığından emindiler, ki vardıkları bu sonuç mantıklı görünüyordu. Turunçgillerin yakınına elektrikli ısıtıcılar yerleştirip de meyvelerin olgunlaşmadığını görünce nasıl bir hayal kırıklığı yaşadıklarını tahmin edebilirsiniz. Sebep sıcaklık değilse, bu olgunlaşma sihrini yapan gaz sobası olabilir miydi?

Öyle olduğu anlaşıldı. 1924 yılında, ABD Tarım Bakanlığı'nın Los Angeles şubesinde görevli biliminsanlarından Frank E. Denny, gazyağı dumanında az miktarda etilen adı verilen bir molekül bulunduğunu ve herhangi bir meyvenin saf etilen gazına maruz bırakılmasının meyvede olgunlaşmayı başlattığını kanıtladı.[2] Denny'nin deneyde kullandığı limonlar etilene karşı o kadar hassastı ki, havadaki küçük miktarda (yüz milyonda bir oranında) bir etilene bile tepki verebiliyorlardı. Keza Çinlilerin kullandığı tütsülerin dumanında da etilen olduğu anlaşıldı. Yani basit bir bilimsel model oluşturularak, meyvelerin duman içinde bulunan az miktardaki etilenin "kokusunu aldığı" ve bu kokuyu hızlı olgunlaşmaya çevirdiği ileri sürü-

lebilir. Komşunun mangalından gelen dumanın kokusunu aldığımızda ağzımızın sulanması gibi, bir bitki de havada bir miktar etilen algıladığında yumuşar.

Ama bu açıklama şu iki önemli soruya cevap veremez: Birincisi, bitkiler dumandaki etilene neden tepki verir? Ve ikincisi, büyükannemin bir paketin içine iki meyveyi bir arada koymasının ve Mısırlıların incirleri yarmalarının bununla ne alakası var? Cambridge Üniversitesi'nden Richard Gane'in 1930'larda gerçekleştirdiği deneyler bize bazı cevaplar sunuyor. Gane olgunlaşmakta olan meyvelerin çevresindeki havayı incelemiş ve bu havanın içinde etilen olduğunu kanıtlamıştı.[3] Onun bu öncü çalışmasından bir yıl sonra, Cornell Üniversitesi'ndeki Boyce Thompson Enstitüsü'nde çalışan bir grup araştırmacı, etilenin meyvelerin olgunlaşmasını sağlayan evrensel bitki hormonu olduğu görüşünü ortaya attı. Akabinde, bu çalışmaları takip eden birçok araştırma incir dahil bütün meyvelerin bu organik bileşiği saldığını ortaya koydu. Yani etilen barındıran yalnızca duman değildir; normal meyveler de bu gazı dışarı salar. Mısırlılar incirlerini yardıklarında, bu meyvelerin içinden etilenin kolayca çıkmasını sağlıyorlardı. Örneğin sert bir armudu olgun bir muzla aynı pakete koyduğumuzda, muz etilen yayar, armut bunun "kokusunu alır" ve çabucak olgunlaşır. İki meyve fiziksel durumlarının bilgisini birbirlerine aktarır.

Meyveler arasındaki etilen sinyalleşmeleri canımız çektiğinde olgun meyvelere sahip olalım diye evrimleşmedi elbette. Bu hormon, bitkilerin kuraklık ve yaralanma gibi çevresel baskılara verdikleri tepkileri düzenlemek üzere evrimleşmiştir ve bütün bitkilerin (küçük yosunlar da dahil) yaşam döngüleri boyunca doğal olarak üretilir. Ama etilen özellikle bitkilerin yaşlanmalarında önemlidir, çünkü etilen yaprağın senesansının (sonbaharda yaprakların dökülmesini sağlayan yaşlanma süreci) temel düzenleyicilerindendir ve olgunlaşmakta olan meyvelerde *bol* miktarda üretilir. Olgunlaşmakta olan elmaların ürettiği etilen, meyvenin her tarafının eşit biçimde olgunlaşmasını sağlamakla kalmaz, yakınındaki diğer el-

maların da olgunlaşmasını sağlar, ki bu durumda daha fazla etilen üretilir, böylece etilenin etkisiyle bir olgunlaşma dalgası başlar. Ekolojik açıdan yararlı bir şeydir bu, çünkü tohumların yayılmasını kolaylaştırır. Şeftali ve küçük taneli meyveler gibi "yenmeye hazır" meyveler hayvanları cezbeder. Etilenin başlattığı olgunlaşma dalgasından nasibini alan yumuşak meyveler, hayvanlar için kolayca fark edilen bir pazar alanı meydana getirir, buradan beslenen hayvanlar daha sonra tohumları etrafa yayarlar.



Küsküt (*Cuscuta pentagona*)

Yiyecek Bulma

Cuscuta pentagona alışık olduğunuz bitkilerden değil. Boyu bir metreye kadar ulaşabilen, beş yapraklı küçük beyaz çiçekler veren, Kuzey Amerika'nın her yerinde rastlanan turuncu renkli, cılız bir sarmaşık. *Cuscuta*'nın (küsküt) belirgin özellikleri, yapraksız oluşu

ve klorofile sahip olmadığı için yeşil renkte olmayışıdır. Klorofil bitkilerin güneş enerjisini emerek fotosentez yapmalarını, yani ışığı şeker ve oksijene dönüştürmelerini sağlayan bir pigmenttir. Küsküt birçok bitkinin gerçekleştirdiği fotosentez işlemini gerçekleştiremez, yani ışıktan kendi yiyeceğini üretemez. Bu verilerden yola çıkarak küskütün açlık çekeceğini düşünürüz, ama öyle olmaz, aksine serpilip büyür. Küsküt hayatını başka şekilde sürdürür: Yiyeceğini komşularından sağlar. Küsküt bir asalak bitkidir. Hayatını sürdürmek için bir konakçı bitkiye sarılır ve o bitkinin damar sistemine bağlanarak besinini emer. Yaygın olarak bağbozan adıyla bilinen küsküt çiftçilerin başına beladır ve ABD Tarım Bakanlığı'nın "zararlı ot" olarak sınıflandırdığı bitkiler arasında yer alır. Ama küskütü asıl ilginç kılan, yemek konusunda öncelikleri olmasıdır: Saldıracağı komşu bitkileri seçer.

Küskütün kendine özgü, son derece incelikli lezzet algısının nedenlerine girmeden önce onun asalak hayata nasıl başladığına bir bakalım. Küsküt tohumları diğer bitki tohumları gibi çimlenir. Toprağa düştüğünde tohumlar açılır, yeni sürgünler gelişir ve kökleri toprağın içlerine ilerler. Ama kendi başına bırakılan genç küsküt hemen üzerinden geçineceği bir konakçı bulamazsa ölür. Küsküt filizi büyürken sürgününün ucunu küçük daireler halinde hareket ettirir, gözümüz bağlıyken etrafımızı yokladığımız veya gece karanlığında mutfak ışığının anahtarını el yordamıyla bulmaya çalıştığımız gibi etrafını kolaçan eder. Bu hareketler ilk bakışta gelişigüzel gibi görünse de, küsküt başka bir bitkinin (mesela bir domatesin) yanındaysa, ona yiyecek sağlayacak olan bu bitkinin bulunduğu yöne doğru eğilip oraya doğru büyümesini sürdürdüğü hemen anlaşılır. Küsküt domatesin bir yaprağını bulana kadar ona doğru eğilip büyür. Ama yaprağa dokunmaz, aşağıya yönelir ve domatesin *gövdesini* bulana kadar hareketini sürdürür. Sonra da nihai zafer hamlesini yaparak domatesin gövdesine sarılır, domatesin soymuk boru olarak da bilinen floemine (bitkinin şekersi özünü taşıyan damarlara) mikroskobik dokunaçlarını uzatır ve kendine doğru şeker

hortumlar, böylece gelişir ve zamanla çiçeklenir. Küsküt serpilip büyürken domates ise soldukça solar.

Dr. Consuelo De Moraes bu davranışı filme bile almıştır.[4] Penn Devlet Üniversitesi'nde çalışan bir böcekbilimci olan De Moraes, bitkilerin kendi aralarında uçucu kimyasallarla haberleşme konusunu araştırıyor. Üzerinde çalıştığı projelerden biri küskütün kurbanlarını nasıl belirlediği.[5] De Moraes, küskütün boş saksılara veya yapma bitkilerin olduğu saksılara doğru asla büyümediğini, nereye yerleştirilirse yerleştirilsin (aydınlığa, gölgeye vs.) istikrarlı biçimde domatese doğru büyüdüğünü kanıtladı. Bunun üzerine, küskütün domatesin *kokusunu aldığı* hipotezini ileri sürdü. Hipotezinin doğruluğunu kontrol etmek için öğrencileriyle birlikte küskütü saksıya ekti ve bir kutuya koyup üzerini kapattı, başka bir kutuya da bir domates bitkisi koyup kutunun üzerini örttü. İki kutu arasına bir boru yerleştirdi, boru iki kutunun içindeki havanın geçişini sağlıyordu. Kutuda kapalı halde duran küskütün her zaman boruya doğru büyüdüğü görüldü, bu da domates bitkisinin yaydığı kokunun boru aracılığıyla küskütün içinde bulunduğu kutuya doğru gittiğini ve küskütün bu kokuyu sevdiğini gösteriyordu.

Küskütün gerçekten de domates kokusuna yöneldiğini teyit etmek için De Moraes bir domates parfümü yapıp küskütün bu kokuya yönelip yönelmediğini kontrol etmeye karar verdi. Domatesin sap kısmının özünden bir *eau de domates* parfümü yaptı, bunu saksıya batırılmış kulak temizleme çubuklarının üzerine sıktı ve bu saksıyı küskütün yanına koydu. Kontrol grubu olarak da, domates parfümü yapımında kullandığı solventlerden bazılarını başka kulak temizleme çubuklarına bulayarak bu çubukları batırdığı saksıyı da küskütün yanına koydu. Beklediği üzere, De Moraes küskütü kandırmayı başardı; küsküt solventli kulak çubuklarına doğru değil de yiyecek bulacağını düşündüğü domates kokulu çubuklara yönelmişti.

Küskütün yiyecek bulmak için bir bitkinin kokusunu alabildiği anlaşılıyor. Ama daha önce de ifade ettiğim gibi, bu zararlı otun öncelikleri var. Domates ile buğday arasında seçim yapma olanağı ve-

rildiğinde küsküt domatesi seçer. Küskütü birbirine eşit mesafede bulunan ve birinin içinde buğday, diğerinin içinde domates olan iki saksı arasında yetiştirdiğinizde, domatesin olduğu saksıya yönelir. Sadece koku düzeyinde bile küsküt *eau de buğday*'ı değil, *eau de domates*'i tercih eder.

Temel kimyasal düzeyde *eau de domates* ile *eau de buğday* aslında birbirine benzer. İkisi de tek başına küskütü kendine çekebilen uçucu bir bileşik olan beta mirsen (kendine özgü yüzlerce kimyasal kokudan biri) içerir. O halde bu domates kokusu önceliğinin nedeni nedir? En akla yakın hipotez, bunun domatesin karmaşık bir koku buketine sahip olmasından kaynaklanıyor olabileceğidir. Domateste beta mirsenin dışında küskütü cezbeden iki uçucu kimyasal daha vardır ve bütün bu kimyasallar bir arada küsküt için dayanılmaz derecede cezbedici bir koku oluşturur. Buğdayda ise küskütü cezbeden yalnızca bir koku –beta mirsen– vardır, domateste bulunan diğer iki kimyasal yoktur. Dahası, buğday küsküt için daha az cezbedici olmanın yanı sıra, (Z)-3-Heksenil asetat üretir ve bu kimyasalın küskütü kendinden uzaklaştırma etkisi beta mirsenin cezbedici etkisinden daha fazladır. Aslına bakılırsa küsküt (Z)-3-Heksenil asetattan uzağa doğru büyür, yani buğdayı itici bulur.

Yaprak Misafiri Olmak

Biliminsanlarından oluşan iki ekip 1983 yılında söğüt ağacından lima fasulyesine kadar bitkiler arası iletişim konusunda bildiğimiz her şeyi kökünden değiştiren şaşırtıcı bulgular yayımladı. Bu biliminsanları, yakındaki yaprak yiyen böceklerin saldırıları konusunda ağaçların birbirini uyardığını iddia etmekteydi. Elde ettikleri sonuçlar görece açıktı; bu sonuçların ima ettiği şeyse çok şaşırtıcıydı. Çalışmalarıyla ilgili haberler kısa sürede popüler kültürde yayıldı, "konuşan ağaçlar" fikrini taşıyan haberler *Science* dergisinde yer bulmakla kalmadı, dünya genelinde bütün anaakım gazetelerde de yer aldı.

Washington Üniversitesi'nden David Rhoades ve Gordon Orians, tırtılların daha önce çadır tırtılları tarafından zarar gören söğüt ağaçlarına komşu olan söğüt ağaçlarının yapraklarını pek talan etmediklerini fark ettiler. Zarar gören ağaçlara komşu sağlıklı ağaçlar tırtıllara karşı dirençliydi çünkü –Rhoades'un keşfettiği gibi[6]– tırtıl istilasına karşı dirençli ağaçların yapraklarında fenollü ve tanenli kimyasallar vardı, bu kimyasallar yaprakları bu böcekler için sindirilmesi zor hale getiriyordu; zarar gören ağaçlardan yalıtılmış olan, tırtıl istilasına açık ağaçların yapraklarında ise bu kimyasallar yoktu. Biliminsanları zarar görmüş ağaçlarla sağlıklı komşuları arasında herhangi bir fiziksel bağa rastlamadıkları için –ortak köklere sahip değillerdi ve dalları birbirine değmiyordu– Rhoades tırtıl istilasına uğramış ağaçların sağlıklı ağaçlara havadan feromon aracılığıyla mesajlar gönderdiğini ileri sürdü. Başka bir deyişle, zarar gören ağaçlar sağlıklı komşularına "Dikkat et! Kendini koru!" mesajı göndermekteydi.

Bu araştırmadan üç ay sonra, Dartmouth Üniversitesi'nden Ian Baldwin ve Jack Schultz, Rhoades'un ifadelerini destekleyen ufuk açıcı bir makale yayımladı.[7] Rhoades'la temas halinde olan Baldwin ve Schultz, Rhoades ve Orians'ın yaptığı gibi doğada yetişen ağaçları gözlemlemekle yetinmemiş, deneylerini son derece sıkı bir denetim altında gerçekleştirmişti. Hava geçirmez pleksiglas kafeslerde büyümüş (otuz santim uzunluğunda) kavak ve akçaağaç fidelerini incelemişlerdi. Deneyleri için iki kafes kullanmışlardı. Birinde iki ağaç popülasyonu vardı: yarısı parçalanmış iki yaprağı olan on beş ağaç ile zarar görmemiş on beş ağaç fidesi. Diğerinde kontrol fideleri vardı ve elbette bunlar zarar görmemiş fidelerdi. İki gün sonra, zarar görmüş fidelerin üzerindeki yapraklarda tırtılların büyümesini engellediği bilinen toksik fenollü ve tanenli bileşikler dahil çeşitli kimyasalların miktarı artmıştı. Kontrol kafesindeki fidelerde bu bileşiklerin hiçbirinde bir artış olmamıştı. Bu deneyden elde edilen en önemli sonuç, zarar görmüş fidelerin bulunduğu kafesteki *zarar görmemiş* fidelerde de fenollü ve tanenli bileşiklerin



Aksöğüt (*Salix alba*)

miktarında büyük artış görüldüğünün tespit edilmesi olmuştu. Baldwin ve Schultz, deneylerindeki gibi kasten koparılarak veya Rhoades'un gözlemlerindeki gibi böceklerin yemesi sonucu zarar gören yaprakların bir gaz sinyali saldıklarını, zarar gören ağaçların bu sinyaller aracılığıyla zarar görmemiş ağaçlarla iletişim kurduklarını, bunun sonucunda zarar görmemiş ağaçların muhtemel böcek saldırısına karşı kendilerini korumaya aldıklarını ileri sürdü.

Bitkilerin bu tür sinyalleriyle ilgili bu çalışmalar,[8] doğru kontrolleri içermedikleri veya sonuçların doğru ama yorumlarının abartılı olduğu gerekçesiyle başka biliminsanları tarafından çoğunlukla görmezden gelindi. Öte yandan, popüler basın "konuşan ağaçlar" fikrini benimsemiş ve araştırmacıların çıkarımlarına insani nitelikler yüklemişti. ABD'deki *Los Angeles Times*, Kanada'daki *Windsor*



Akkavak (*Populus alba*)

Star ve Avustralya'daki *The Age* gibi gazeteler bu fikre bayılmıştı ve "Biliminsanları Bilimde Yeni Bir Yaprak Açtı, Ağaçların Konuştuğunu Keşfetti", "Şşşt. Küçük Bitkilerin Büyük Kulakları Var" gibi başlıklar taşıyan haberler yayımladılar. *Sarasota Herald-Tribune* başsayfasında "Biliminsanları Ağaçların Konuştuğu, Birbirine Karşılık Verdiği İnancında" başlığını kullandı. *New York Times* ise 7 Haziran 1983 tarihli baskısında "Ağaçlar Konuştuğunda" başlıklı bir yazıya yer verdi.[9] Bütün bu popüler ilgi biliminsanlarının Baldwin ve araştırma arkadaşlarının ileri sürdüğü kimyasal iletişim fikrini benimsemelerini sağlamadı. Ama son on yılda, bitkilerin koku yoluyla birbirleriyle iletişim kurduğu iddiası arpa, adaçayı çalısı, kızılağaç gibi çok sayıda bitki için doğrulandı ve o sıralarda daha üniversiteden yeni mezun genç bir kimyager olan Baldwin bilim

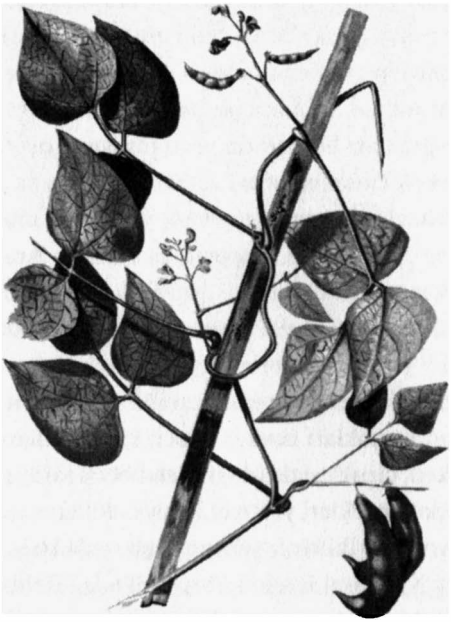
dünyasındaki kariyerine ünlü bir bilimadamı olarak devam etti.[10]

Bitkilerin komşu bitkilerin havadan gönderdiği kimyasal sinyallerden etkilenmesi artık bilimsel bir paradigma haline gelmiş olsa da, şu soru hâlâ baki: Bitkiler gerçekten de birbirleriyle iletişim mi kuruyor (yani yaklaşmakta olan tehlike konusunda birbirlerini bilerek mi uyarıyor) yoksa sağlıklı bitkiler istilaya uğramış (ama istilayı duyurma niyeti taşımayan) bu bitkilere kulak misafiri mi oluyorlar? Bir bitkinin havaya koku salması bir konuşma biçimi mi, yoksa bu, deyim yerindeyse, yalnızca bir gaz çıkarma olayı mı? Bir bitkinin yardım çağrısında bulunması ve komşusunu uyarması alegorik ve antropomorfik (insanbiçimci) açıdan güzel dursa da, bu gönderilen sinyalin özgün niyetini gerçekten yansıtıyor mu?

Martin Heil ile Meksika, Irapuato'da bulunan Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ndeki ekibi bu soruya bir cevap bulabilmek için yıllarca yabani lima fasulyesi (*Phaseolus lunatus*) üzerinde çalışmalar yürüttü.[11] Heil, böceklerin saldırısına uğradığında bir lima fasulyesi bitkisinin iki şekilde tepki verdiğini biliyordu. Böcekler tarafından yenen yaprakları havaya uçucu kimyasallardan oluşan bir karışım salarken, çiçekleri de (doğrudan böcek saldırısına hedef olmadıkları halde) böcekleri yiyen eklembacaklıları cezbeden bir bitki özü salgılıyordu.[12] İki binli yılların başlarında Heil, Almanya'daki Max Planck Kimyasal Ekoloji Enstitüsü'nde –Baldwin'in (halen) yönettiği enstitüde– çalışmıştı ve Baldwin gibi o da lima fasulyelerinin neden bu kimyasalları salgıladığını merak etmişti.

Heil ve çalışma arkadaşları, böceklerin saldırısına uğramış lima fasulyesi bitkilerini böceklerden uzak tutulan bitkilerin yanına koydu ve çeşitli yaprakların çevresindeki havayı kontrol etti. Üç farklı bitkinin toplam dört yaprağını seçtiler: böceklerin saldırısına uğramış bir bitkinin böcekler tarafından yenmiş bir yaprağı ile yenmemiş başka bir yaprağı olmak üzere iki yaprağını; bitkinin yakınındaki, böcek istilasına uğramamış sağlıklı bir bitkinin yaprağını ve böceklerden veya istilaya uğramış bitkilerden uzak tutulan bir bitkinin yaprağını. Her yaprağın çevresini saran havadaki uçucu kim-

yasalları, gaz kromatografisi-kütle spektrometresi adıyla bilinen gelişmiş bir teknikle tespit ettiler (*Kanıt Peşinde* dizisinde sık sık karşılaştığımız ve parfüm şirketlerinin yeni bir koku geliştirecekleri zaman kullandıkları bir teknik).



Yabani lima fasulyesi (*Phaseolus lunatus*)

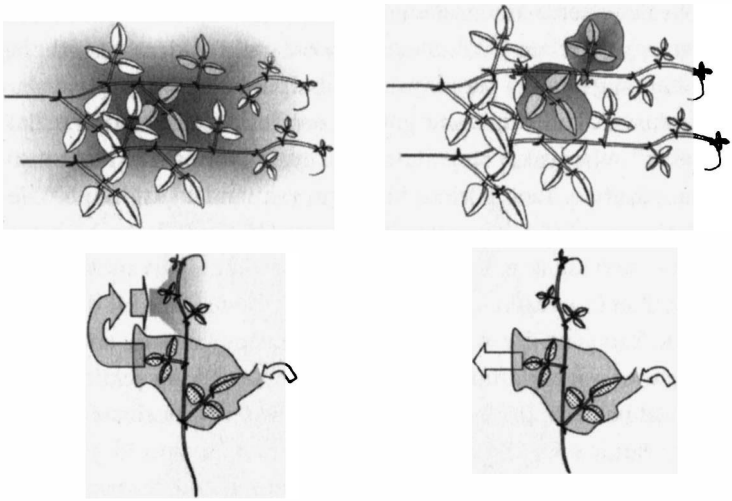
Heil, aynı bitkinin hastalıklı ve sağlıklı yapraklarından salınan havanın temelde aynı uçucu kimyasalları içerdiğini, kontrol yaprağının çevresindeyse bu gazların bulunmadığını gördü. Ayrıca, böcek istilasına uğramış bitkilerin yakınında bulunan lima fasulyelerinin sağlıklı yapraklarının çevresindeki havada da, böcek istilasına uğramış bitkilerin yapraklarında görülen uçucu kimyasallara rastlamıştı. Sağlıklı bitkilerin böcekler tarafından yenme ihtimali de daha azdı.

Bu deneylerde Heil, zarar görmemiş yaprakların böcek istilasına uğramış yapraklara yakın oluşlarının onlara böceklere karşı direnç avantajı sağladığını kanıtlayarak daha önce yapılmış çalışmaları doğrulamış oldu. Ama zarar görmüş bitkilerin başka bitkilerle "konuşarak" onları yakın bir istilaya karşı uyardıklarına ikna olmamıştı. Bunun üzerine, zarar görmüş bitkilerin yakınındaki sağlıklı bitkilerin, aslen aynı bitki üzerindeki diğer yaprakları hedefleyen bir iç sinyale bir nevi kulak misafiri oldukları varsayımını ileri sürdü.

Heil bu hipotezini test etmek için basit ama zekice bir deney tasarladı. Yan yana duran iki bitkiyi birbirinden ayırmadı, ama istilaya uğramış yapraklarını plastik poşetlerle sararak bu şekilde yirmi dört saat bekletti. İlk deneydeki gibi dört yaprağı incelediğinde sonuçlar farklı çıktı. Saldırıya uğrayan yapraklar önceki gibi aynı kimyasalları dışarı salarken, aynı fide üzerindeki diğer yapraklarla diğer fide üzerindeki yaprakların durumu şimdi kontrol bitkisinin yapraklarının durumuna benziyordu: Yaprakların çevresindeki hava temizdi.

Saldırıya uğramış yaprakların üzerindeki poşeti çıkaran Heil ve ekibi, genelde bilgisayarları soğutmak için mikroçipler üzerinde kullanılan küçük bir vantilatör yardımıyla poşetin içindeki havayı ya aynı fide üzerindeki diğer yapraklara ya da fidenin uzağına, açık alana doğru püskürttü. Sonra fidenin gövdesinin üst kısmındaki yapraklardan çıkan gazları kontrol ederek bu yaprakların ne kadar bitki özü ürettiklerini ölçtüler. Üzerlerine saldırıya uğramış yapraktan gelen hava püskürtülen yapraklar da aynı gazları çıkarmaya ve bitki özü üretmeye başlamışlardı; saldırıya uğramış yaprağın havasına maruz bırakılmamış olan yapraklardaysa herhangi bir farklılık yoktu.

Deneyin sonuçları dikkate değerdi, çünkü saldırıya uğramış bir yaprağın saldığı gazların, aynı bitkinin *diğer yapraklarını* başka saldırılardan koruması için gerekli olduğunu gösteriyordu. Başka bir deyişle, bir yaprak bir böcek veya bakteri saldırısına uğradığında kardeş yapraklarını muhtemel saldırılara karşı uyaran kokular



Heil'ın deneylerini tasvir eden bir illüstrasyon. Üst sıradaki iki çizimde Heil böceklerin gri renkteki yapraklara saldırmasına izin vermiş ve aynı fide üzerindeki diğer yapraklar ile komşu fide üzerindeki yaprakların çevresindeki havayı incelemişti. Üst solda her iki fidenin yapraklarının çevresindeki havanın aynı kimyasalları içerdiğini, üst sağda, Heil saldırıya uğramış yaprakları plastik poşetle sardığında, bu yaprakların çevresindeki hava ile her iki fide üzerindeki diğer yaprakların çevresindeki havanın farklı olduğunu görüyoruz. Altta Heil'ın ikinci deneyi yer alıyor. Heil saldırıya uğramış yaprakların çevresindeki havayı hem aynı fide üzerindeki diğer yapraklara (solda) hem de diğer fidenin yapraklarına püskürtüyor.

salar, böylece bu yapraklar kendilerini bu saldırılara karşı korurlar; bunu Çin Seddi'ndeki hisarlarda saldırı uyarısı için yakılan ateşlere benzetebiliriz. Bu şekilde bitki kendi varlığını garanti altına alır, zira saldırıya uğramış yaprakların yaydığı gazların "kokusunu alan" yapraklar yaklaşan saldırılara karşı daha dayanıklı olacaktır.

Peki ya komşu bitkide durum nasıldır? Saldırıya uğramış bitkiye yeterince yakınsa, komşu bitki saldırıya uğramış bitkinin yaprakları arasındaki bu iç "konuşmadan" yararlanır. Yakınındaki kokusal konuşmaya kulak misafiri olur, bu konuşma ona kendini koruma konusunda önemli bir bilgi verir. Doğada bu koku sinyali bir metreye yakın bir mesafede kalıcılığını korur (farklı uçucu sinyal-

ler, kimyasal özelliklerine bağlı olarak daha kısa veya daha uzun mesafelere kadar ulaşır). Türdeşleriyle iç içe yaşamayı seven lima fasulyelerinde bu mesafe, birinin başı belaya girdiğinde komşusunun bundan haberdar olması için yeter de artar bile.

Bir lima fasulyesi, komşusu yendiğinde tam olarak nasıl bir koku duyar? Tıpkı küsküt deneyindeki *eau de domates* gibi *eau de lima* da çeşitli aromalardan oluşan bir kokudur. Heil, 2009'da Güney Koreli meslektaşlarıyla ortak bir çalışma yürüttü ve koku sinyalindeki kimyasal haberciyi tespit etmek için, saldırıya uğramış bitkilerin yapraklarından salınan farklı uçucu bileşikleri analiz etti.[13] Burada işin püf noktası, saldırıya uğramış yaprakların diğer yapraklarla iletişiminden sorumlu olan kimyasal maddeyi tespit etmekti. Heil ve ekibi, yaprakların bakteri enfeksiyonundan sonra saldığı bileşiklerle böcek saldırısından sonra saldığı bileşikleri karşılaştırdı. İki durumda da benzer uçucu gazlar ortaya çıkmıştı, ama gazlar arasında bu iki durumu birbirinden ayıran iki gaz daha tespit edildi. Bakteri saldırısı altındaki yapraklar metil salisilat adlı bir gaz çıkarıyor, böceklerin yediği yapraklarsa bu gaz yerine metil jasmonat adlı bir gaz çıkarıyordu.

Metil salisilat, yapı bakımından salisilik aside çok benzer. Salisilik asit, söğüt ağacının kabuğunda bolca bulunur. Nitekim Yunan hekim Hipokrat, söğüt ağacının kabuğundaki acı bir maddeden söz eder ve bu maddenin ağrıları dindirdiğini, ateşi düşürdüğünü belirtir. Eski Ortadoğu'daki başka kültürler de Amerikan Yerlileri gibi söğüt kabuğunu ilaç olarak kullanmıştır. Günümüzdeyse salisilik asidi aspirinin (asetilsalisilik asit) öncüsü olarak tanıyoruz; ayrıca salisilik asit akneler için kullanılan birçok yüz yıkama solüsyonunun da ana maddesidir.

Söğüt ağacı salisilik asit üretiminde çok bilinen bir ağaçtır ve bu kimyasal yıllarca bu ağaçtan elde edilmiştir, ama her bitki bu kimyasalı çeşitli miktarlarda üretir. Bütün bitkiler ayrıca metil salisilat da (Bengay merheminin önemli bir maddesi) üretir. Peki ama bir bitki neden ağrı kesici ve ateş düşürücü üretir ki? Diğer fitokimya-

sal (yani bitki kaynaklı kimyasal) maddelerde de olduğu gibi, bitkiler salisilik asidi *bizim için* üretmezler. Bitkiler için salisilik asit, bitkinin bağışıklık sistemini güçlendiren bir "savunma hormonu" dur ve bu maddeyi, bakteri veya virüs saldırısına uğradıklarında üretirler. Salisilik asit çözünebilen bir maddedir ve tam enfeksiyonun ortaya çıktığı noktada salınır, böylece damarlar yoluyla bitkinin diğer kısımlarına bakteri saldırısının başladığı haberi verilir. Bitkinin sağlıklı kısımları bu habere bakteriyi öldürecek veya en azından yayılmasını önleyecek birtakım hamlelerle yanıt verir. Bu hamlelerden biri, enfeksiyon bölgesinin etrafına ölü hücrelerden bir set oluşturmaktır; bu set bakterinin bitkinin diğer kısımlarına hareket etmesini önler. Zaman zaman yapraklar üzerinde bu setleri görürsünüz; bunlar beyaz nokta biçiminde kendilerini belli eder. Yaprak üzerindeki bu noktalar, hücrelerin, yakınlarındaki bakteriler başka yerlere sıçramasın diye kelimenin tam anlamıyla kendilerini öldürdükleri yerlerdir.

Geniş anlamda, salisilik asit bitki ve insanlarda benzer işlevlere sahiptir. Bitkiler salisilik asidi enfeksiyonlardan korunmak için (bir başka deyişle, hasta olduklarında) kullanırlar. Biz de salisilik asitten antik çağlardan beri yararlandık, şimdi de onun çağdaş türevi olan aspirini ağrı ve sancılara neden olan enfeksiyona bağlı hastalıklarda kullanıyoruz.

Heil'ın deneylerine dönecek olursak: Heil, lima fasulyesinin bakteri saldırısına uğradığında salisilik asidin uçucu bir formu olan metil salisilat salgıladığını bulguladı. Bu sonuç on yıl önce Rutgers Üniversitesi'nde Ilya Raskin'in laboratuvarında yaptığı deneyi destekliyordu.[14] Raskin yaptığı deneyle metil salisilatın, tütün bitkisinin viral enfeksiyondan sonra ürettiği uçucu bileşiğin ana maddesi olduğunu kanıtlamıştı. Bitkiler çözünürlük özelliği taşıyan salisilik asidi uçucu özellikteki metil salisilata, metil salisilatı da salisilik aside dönüştürebilir.[15] Salisilik asit ile metil salisilat arasındaki farkı anlamanın yollarından biri şudur: Bitkiler salisilik asidi *tadar*, metil salisilatı ise *koklar*. (Bilindiği gibi, tat ve koku duyuları bir-

biriyle ilişkili duyulardır. Aralarındaki en önemli fark, çözünür molekülleri dilimizle *tatmamız*, uçucu molekülleri burnumuzla *koklamamızdır*.)

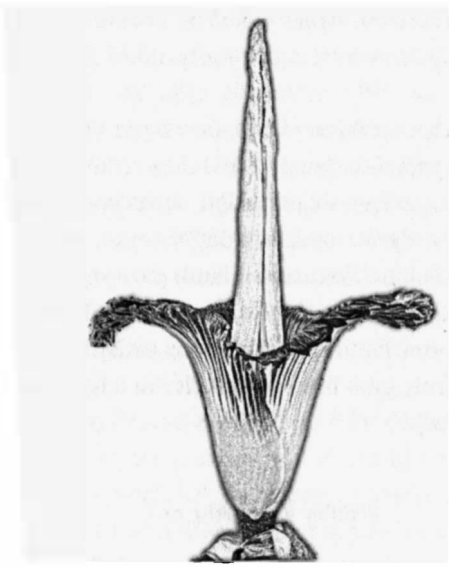
Heil, hastalıklı yaprakları plastik poşetlerle yalıtarak metil salisilatın hastalıklı yapraklardan aynı bitkinin ve komşu bitkinin sağlıklı yapraklarına geçişini engellemişti. Daha sonra hastalıklı yaprakların havası üzerlerine püskürtüldüğündeyse, sağlıklı yapraklar nihayet metil salisilatın kokusunu alarak gazı yaprak yüzeyindeki küçük açıklıklardan (stomata) içlerine çekmişti. Yaprağın derinine nüfuz ettikten sonra metil salisilat tekrar salisilik aside dönüştürülmüştü (bildiğimiz gibi, bitkiler kendilerini hasta hissettiklerinde salisilik asit alırlar).[16]

Bitkiler Koku Alır mı?

Bitkiler kendilerine özgü çeşitli kokular yayar. Yazın bir bahçede yürürken aldığınız gül kokularını, sonbaharın ortalarında burnunuza gelen yeni kesilmiş ot kokusunu veya geceleri çiçek açmış yasemin kokularını düşünün. Pazarda olgun muzlardan yayılan ve envai çeşit kokuyla karışarak burnunuza gelen o tatlı kokuya ne buyurulur? Hiç bakmadan bir meyvenin yenmeye hazır olduğunu anlarız. Öte yandan bir botanik bahçesindeki hiçbir ziyaretçi dünyanın en büyük (ve en kokulu) çiçeği olan ve daha çok ceset çiçeği adıyla bilinen *Amorphophallus titanum*'un o iğrenç kokusuna karşı kayıtsız kalamaz. (Neyse ki bu bitki yalnızca yılda bir kez açar.)

Bu kokuların çoğu bitki ve hayvanlar arasındaki karmaşık iletişimde kullanılır. Bu kokular polen taşıyıcılarını çiçeklere, tohum taşıyıcılarını meyvelere çeker, hatta yazar Michael Pollan'ın da belirttiği gibi,[17] insanları çiçekleri dünyanın her tarafına yaymaya teşvik eder. Ama gördüğümüz üzere, bitkiler yalnızca koku yaymakla kalmayıp başka bitkileri de koklarlar.

Elbette biz de bitkiler gibi, havadaki uçucu bileşikleri algılarız. Birçok şeyi, özellikle de yiyeceklerin kokusunu almak için burnu-



Ceset çiçeği (*Amorphophallus titanum*)

muzu kullanırız. Ama "koku almak" güzel yiyeceklerin kokusunu almaktan çok daha başka anlamları da içerir. Konuşma dilinde "yakında kokusu çıkar" veya "tehlike kokusu alıyorum" gibi kokuya dair birçok ifade vardır ve kokular anı ve duygularla yakın bir ilişki içindedir. Burnumuzdaki koku reseptörleri limbik sisteme (duyguların kontrol merkezi) ve evrimsel olarak beynimizin en eski kısmına doğrudan bağlıdır. Bitkiler gibi biz de feromonlar aracılığıyla iletişim kurarız, ama çoğunlukla bunun farkında değilizdir.

Bir kişinin salgıladığı feromonlar başka bir kişide sosyal bir tepki başlatır. Sineklerden babunlara kadar farklı hayvanlardaki feromonlar çeşitli durumları ifade eder: sosyal baskınlık, cinsel ilişkiye hazır oluş, korku vb. Kokulardan etkilenir ve çevremizdekileri etkileyen kokular salgılarız. Örneğin birbirine yakın yerlerde yaşayan kadınların aynı dönemlerde âdet görmesinin terlerindeki koku ipuçlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. *Science* dergisinde

yakın zamanlarda yayımlanan kışkırtıcı bir araştırma, kadınların olumsuz duygulara bağlı kokusuz gözyaşlarını koklayan erkeklerin testosteron seviyesinin düştüğünü ve cinsel uyarılma oranlarının azaldığını göstermiştir.[18] Yani son derece hassas koku sinyalleri ruhumuzu birçok yönden etkileyebilir.

Bitkiler ve hayvanlar havadaki uçucu bileşikleri algılayabilir algılamasına, ama bitkilerde bu gerçekten koklama olarak kabul edilebilir mi? Elbette bitkilerde koku sinyalini yorumlayan bir beyne bağlanan koku sinirleri yoktur ve 2011 yılı itibariyle, bitkilerde uçucu kimyasalları algılayan yalnızca bir reseptör tespit edilmiştir, o da etilen reseptörüdür. Ama olgunlaşmış meyveler, küsküt, Heil'ın bitkileri ve doğal dünyamızdaki floranın diğer üyeleri de tıpkı bizim gibi feromonlara tepki verir. Bitkiler havada uçucu bir kimyasal tespit eder ve bu sinyali (sinirleri olmasa da) fizyolojik bir tepkiye dönüştürürler. Bu da koklama olarak kabul edilebilir elbette.

O halde, bitkiler koku sinirleri olmadan, kendilerine özgü biçimlerde "koku alabiliyorlarsa", kendilerine dokunulduğunda bunu duyu sinirleri olmadığı halde "hissedebilirler" mi?

3

Bitkilerin Hissettikleri

Yüz çiçeğe dokunacak
Ve birini bile koparmayacağım.

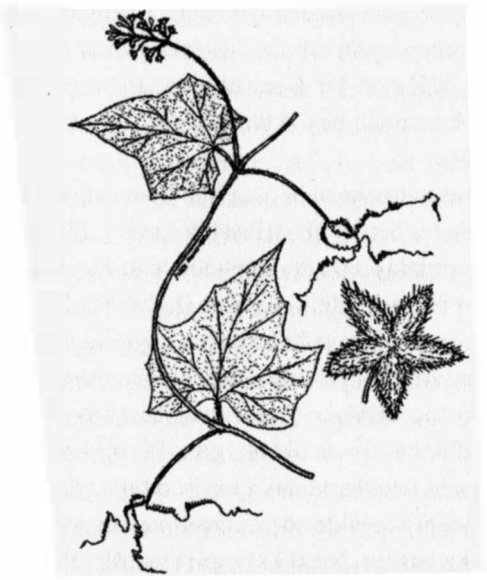
– Edna St. Vincent Millay,
"Bir Tepede İkindi Vakti"

ÇOĞUMUZ her gün bitkilerle haşır neşir oluruz. Kimi zaman bitkiler yumuşak ve keyif vericidir, gün ortasında parkta üzerinde keyifli bir şekerleme yapılan çimenler veya ipek çarşaf üzerine serpiştirilmiş taze gül yaprakları gibi. Kimi zaman da sert ve acıtıcıdır: Ormana doğru uzanan yılankavi bir yol üzerinde bulunan böğürtlenlere ulaşmak için rahatsız edici dikenlerin arasından geçeriz veya yola taşmış bir ağacın gövdesine takılıp düşeriz. Ama çoğu durumda bitkiler, etkileşime girmekle birlikte varlıklarını gözardı ettiğimiz pasif nesneler, atıl aksesuarlardır. Papatyanın yapraklarını koparırız. Biçimsiz uzamış ağaç dallarını keseriz. Peki ya bitkiler onlara dokunduğumuzun farkındaysa?

Bitkilerin kendilerine dokunulduğunun farkında olduğunu keşfetmek biraz şaşırtıcı, hatta biraz da huzursuz edicidir. Kendilerine dokunulduğunun farkında olmanın dışında bitkiler, sıcakla soğuğu ayırt edebilir ve dallarının rüzgârda salındığını bilirler. Bitkiler doğrudan teması hissedebilir: Sarmaşıklar gibi bazı bitkiler, çit gibi bir nesneyle temasları halinde hızla büyümeye başlayıp çite sarılabilirler ve Venüs sinek kapanı, yapraklarına bir sinek konduğunda çe-

nesini kasıtlı bir şekilde kapatır. Bitkiler görünüşe göre kendilerine çok fazla dokunulmasından da hoşlanmazlar, zira bir bitkiye dokunmak veya onu sallamak o bitkinin büyümesinin durmasına yol açabilir.

Bitkiler kelimenin geleneksel anlamıyla "hissetmezler" elbette. Örneğin pişmanlık hissetmezler; hisleriyle hareket etmezler. Zihinsel veya duygusal bir durumla ilgili içgüdüsel bir farkındalıkları yoktur. Ama dokunmayı algılarlar ve bazıları bizden daha iyi "hisseder". İtdolanbacı (*Sicyos angulatus*) gibi bitkilerin dokunma duyuları bizimkinden on kat hassastır. İtdolanbacının sarınıcı organları (sülükleri) 0,25 gram ağırlığındaki bir sicimi hissedebilir ve bu dokunuşun ardından yakındaki bir nesneye sarılmak için harekete geçebilir. Çoğumuz ise parmağımıza dokunan bir sicimi ancak 2 gram ağırlığındaysa hissedebiliriz. Öte yandan bitkilerin dokunma hissi insanlarınkinden daha hassas olsa da, bitkiler ve hayvanlar do-



İtdolanbacı (*Sicyos angulatus*)

kunmayı hissetme konusunda şaşırtıcı benzerliklere sahiptir.

Dokunma duyumuz, acı verici bir yanma hissinden hafif bir meltem esintisine kadar çok çeşitli duyusal algıları iletir. Bir nesneye temas ettiğimizde sinirler harekete geçer ve beyne duyunun türünü –baskı, acı, sıcaklık vb.– bildiren bir sinyal gönderir. Fiziksel duyuların hepsi, derimizin altındaki, kaslarımızdaki, kemiklerimizdeki, eklemlerimizdeki ve iç organlarımızdaki belli duyu nöronları aracılığıyla sinir sistemimiz tarafından algılanır. Farklı türdeki duyu nöronlarının eylemleri sonucu çok çeşitli fiziksel duyu deneyimleri yaşarız: gıdıklanma, sancı, ısı, hafif dokunuş, hafif ağrı gibi. Nasıl ki ışığın farklı renklerine özgü fotoreseptörler varsa, farklı dokunsal deneyimlere özgü duyu nöronları da vardır. Kolunuzda bir karıncanın yürümesi sırasında farklı, spada yaptırdığınız İsveç masajı sırasında farklı reseptörler harekete geçer. Vücudumuzda soğuk için ayrı, sıcak için ayrı reseptörler vardır. Ama bütün bu farklı türdeki duyu nöronları temelde aynı şekilde hareket eder. Parmaklarınızla bir şeye dokunduğunuzda, dokunmaya özgü duyu nöronları (mekanoreseptör adıyla bilinirler) omurilikteki merkezi sinir sistemine bağlanan bir aracı nörona sinyal gönderir. Orada başka nöronlar bu sinyali beyne ulaştırır ve beyin bize bir şey hissettiğimizi bildirir.

Nöral iletişimde söz konusu olan ilke bütün sinir hücreleri için geçerlidir: Bütün bu iletiler elektriksel iletilerdir. İlk uyaran, depolarizasyon (kutupsuzlaşma) adıyla bilinen hızlı bir elektrokimyasal tepki başlatır ve bu tepki sinir boyunca ilerler. Bu elektrik dalgası komşu nörona çarpar ve bu sefer bu nöron boyunca ilerler, o da başka nörona çarpar vb. Nihayetinde sinyal beyne ulaşır. Sinyalin herhangi bir evrede engellenmesi yıkıcı sonuçlara neden olabilir, tıpkı travmatik omurilik hasarında olduğu gibi: Bu tür hasarlarda sinyal kesilir ve etkilenen uzuvlarda duyu kaybı ortaya çıkar.

Elektrokimyasal sinyalde söz konusu mekanizmalar karmaşık olsa da temel ilke basittir. Nasıl ki bir pil elektrik yükünü farklı kısımlarında barındırdığı farklı elektrolitler sayesinde koruyorsa, bir

hücre de içindeki ve dışındaki çeşitli miktarlardaki tuzlar sayesinde bir elektrik yüküne sahiptir. Hücre dışında sodyum, hücre içinde ise potasyum fazladır. (Gıdalarımızda tuz dengesi bu nedenle çok önemlidir.) Diyelim ki başparmağınızla klavyedeki boşluk tuşuna basarken bir mekanoreseptör aktive olduğunda, temas noktasının yakınındaki hücrelerin zarında belli kanallar açılır ve bunlar hücre içine sodyum girmesine izin verir. Bu sodyum hareketi hücrenin elektrik yükünü değiştirir, bu da hücre zarındaki başka kanalların açılmasına ve sodyum akışının artmasına neden olur. Bunun sonucunda kutuplaşma meydana gelir ve bu kutuplaşma, deniz boyunca uzanan dalga misali nöron boyunca ilerler.

Nöronun sonunda, nöronun başka bir nöronla buluştuğu kesişme noktasında, aksiyon potansiyeli başka bir iyonun, yani kalsiyumun yoğunluğunda hızlı bir değişime neden olur. Kalsiyum yoğunluğundaki bu ani artış, aktif nörondan nörotransmitterlerin salınması için gereklidir; aktif nörondan salınan nörotransmitterler bir sonraki nörona geçer. Bu hareket bu nöron içinde yeni bir aksiyon potansiyelleri dalgası başlatır. Elektriksel aktivitedeki bu ani artışlar sinirlerin iletişim kurma biçimlerini –bir reseptörden beyne veya bir uzvun hareketini sağlamak için beyinden bir kasa– örnekler. Hastanelerdeki kardiyak monitörleri kalp fonksiyonuyla ilgili olarak bu elektriksel aktiviteleri gösterir – aktivitede ani bir artış olur, sonra bir durulma olur, ardından tekrar artış olur vb. Mekanosensori nöronlar da beyinde benzer aktivite artışlarına neden olur ve bu artışların frekansı duyunun kuvvetini bildirir.

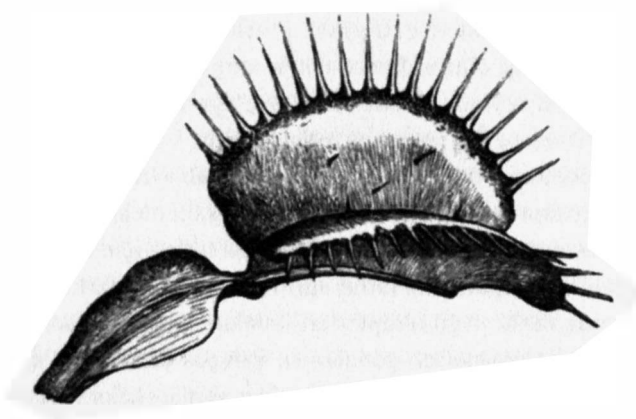
Ama dokunma ve ağrı/acı biyolojik açıdan aynı şeyler değildir. Ağrı, dokunma reseptörlerinden gelen sinyallerdeki artışın sonucunda oluşmaz. Tenimizde farklı dokunma türleri için farklı reseptör nöronlar bulunur, ama farklı ağrı türlerine özgü farklı reseptör nöronlar da vardır. Ağrı reseptörleri (bunlara nosiseptör adı verilir) beyne aksiyon potansiyeli göndermek için çok daha güçlü uyaranlara ihtiyaç duyar. Advil, Tylenol ve diğer ağrı kesiciler nosiseptörlerden gelen sinyalleri engelleyerek ağrıyı dindirirler, ama mekano-

reseptörlerden gelen sinyalleri engelleyemezler.

O halde insanda dokunma duyusu, vücudun iki farklı bölümünde meydana gelen eylemlerin bir kombinasyonudur: Bu bölümler dokunmanın baskısını algılayıp bu baskıyı elektrokimyasal sinyale dönüştüren hücreler ve bu elektrokimyasal sinyali işlemden geçirip onu belli duygu türlerine dönüştüren ve bir tepki başlatan beyindir. Peki bitkilerde ne olur? Onlarda da mekanoreseptörler var mıdır?

Venüs Kapanı

Venüs sinek kapanı[1] (*Dionaea muscipula*) dokunmaya tepki veren bitkilerin tipik bir örneğidir. Bu bitki Kuzey ve Güney Carolina'nın nitrojen ve fosfordan azade bataklıklarında büyür. Böyle gıda yoksunu bir ortamda hayatta kalabilmek için Dionaea besin ihtiyacını yalnızca ışıktan değil, böceklerden ve hatta küçük hayvanlardan karşılamak gibi harikulade bir yetenek geliştirmiştir. Bu bitkiler diğer bütün yeşil bitkiler gibi fotosentez yapar, ama aynı zamanda yırtıcı hayvanlar gibi avlanarak da günlük besinlerine hayvan proteiniyle destek olurlar.



Venüs sinek kapanı (*Dionaea muscipula*)

Venüs sinek kapanının yaprakları belirgindir: Orta damarından iki yana iki ana dilim halinde açılırlar; bu iki dilimin uçlarında, siliya adı verilen ve tarağı andıran uzun çıkıntılar yer alır. Bir kenarlarından bir mafsalla birbirine bağlı olan bu iki dilim normalde belli bir açıyla durarak V biçiminde bir yapı oluşturur. Bu dilimlerin iç kısımları pembe ve mor renktedir ve birçok canlı için dayanılmaz derecede cezbedici bir özsu salgılar. Mütevazı boyutlarda bir böcek, meraklı bir uçuç böceği, hatta oralarda gezinen bir kurbağa bitkinin yaprakları üzerine çıkınca iki yaprak şaşırtıcı bir güçle kapanır, bunu beklemeyen avı arasına alır ve iç içe geçen siliyanın hapishane parmaklıklarıyla oradan çıkışını engeller.[2] Kapan müthiş bir hızla kapanır: Venüs sinek kapanı, bizim sinir bozucu bir sineğe yaptığımız beyhude hamleden daha hızlı bir hamleyle, saniyenin onda birinde kapanır. Harekete geçtikten sonra kapan sindirim sıvıları salgılar ve zavallı avını eritip sindirir.

Venüs sinek kapanı ve diğer et yiyen bitkiler hakkında ayrıntılı bir makale yayımlayan ilk biliminsanlarından biri olan Charles Darwin, bu muazzam özellikleri nedeniyle bu bitkiyi "dünyanın en muhteşem bitkilerinden biri" olarak tarif etmiştir.[3] Darwin'in etçil bitkilere olan ilgisi, naif bir merakın bir biliminsanının ufuk açıcı keşifler yapmasını nasıl sağlayabileceğine güzel bir örnektir. Darwin 1875 tarihli *Insectivorous Plants* (Böcekçil Bitkiler) başlıklı incelemesine şu sözlerle başlar: "1860 yazında, Sussex fundalığında güneş gülü bitkisinin (*Drosera rotundifolia*) yapraklarının çok sayıda böceği yakaladığını hayretle müşahede ettim. Böceklerin bu şekilde yakalandığını duymuştum, ama konu hakkında başka bir şey bilmiyordum."[4] Darwin konu hakkında neredeyse hiçbir şey bilmiyorken, on dokuzuncu yüzyılda Venüs sinek kapanı dahil etçil bitkiler konusunda önde gelen uzmanlardan biri haline geldi. Bu konudaki çalışmalarına bugün hâlâ gönderme yapılır.

Bugün artık Venüs sinek kapanının avını yokladığını ve kapanın içine doğru ilerleyen organizmanın sindirilmeye uygun boyutta olup olmadığını algıladığını biliyoruz. Bitkinin yaprağının her dili-

minin içindeki pembe yüzeyde büyük siyah tüyler vardır ve bu tüyler kapanın kapanmasını sağlayan birer tetik görevi görür. Ama bir tüye dokunmak kapanın kapanmasını sağlamaya yetmez; yapılan çalışmalar bunun için yirmi saniye içinde en az ikisine dokunmak gerektiğini göstermiştir. Bu durum avın ideal boyutta olduğuna ve kapandıktan sonra kapandan dışarı çıkamayacağına işaret eder. Tüyler son derece hassastır, ama aynı zamanda çok seçicidir. Darwin *Insectivorous Plants*'te şöyle der:

> Liflerin [tüylerin] üstüne belli bir yükseklikten düşen su damlaları veya kesik kesik akan cılız bir su, bıçakların kapanmasına neden olmuyor. ... Bitkinin en şiddetli yağmura bile aldırdığı yok. ... Birkaç kere ince bir tüple var gücümle liflere hava üfledim, hiçbir şey olmadı; hiç kuşkusuz bitki güçlü bir rüzgâra da böyle kayıtsız kalıyordur. Buradan bu liflerin özelleşmiş bir hassasiyete sahip olduklarını anlıyoruz.[5]

Darwin kapanın kapanmasına kadarki bir dizi olayı ve hayvansal proteinin bitkiye sağladığı besin avantajını ayrıntısıyla tarif etmesine rağmen, bitkinin yağmurla sineği birbirinden ayıran ve sineğin kapana sıkışmasını sağlayan sinyal mekanizmasını çözmeyi başaramamıştı. Yaprak dilimlerinin avın et kokusunu emdiğine kanaat getirmiş ve yapraklar üzerinde her tür protein ve maddeyle deneyler gerçekleştirmişti. Ama bütün bu çalışmalar sonuç vermemişti, zira bu maddelerin hiçbiriyle kapanın kapanmasını sağlayamamıştı.

Darwin'in çağdaşı John Burdon-Sanderson, kapanın tetik mekanizmasını hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde açıklayan önemli bir keşifte bulundu.[6] Londra'daki University College'da uygulamalı fizyoloji bölümünde öğretim üyesi ve aynı zamanda tıp doktoru olan Burdon-Sanderson, kurbağalardan memelilere kadar bütün hayvanlarda bulunan elektriksel itkiler üzerine çalışmalar yürütmüş, Darwin'le yazışmaları sonucunda ise Venüs sinek kapanı bitkisine özel bir ilgi beslemeye başlamıştı. Burdon-Sanderson, Venüs sinek kapanı bitkisinin yaprağına dikkatlice bir elektrot yerleştirdi ve iki tüye dokunmanın hayvan kasları kasılırken gözlemlene-

ne benzer bir aksiyon potansiyeline neden olduğunu keşfetti. Elektrik akımının dinlenme haline dönmesi için saniyeler geçmesi gerektiğini bulguladı. Bir böceğin kapanın içindeki tüylere sürtündüğünde depolarizasyona neden olduğunu, bunun da yaprağın iki diliminde algılandığını fark etti.

Burdon-Sanderson'ın Venüs sinek kapanının içindeki iki tüye uygulanan baskının bir elektrik sinyaline neden olduğuna ve bu sinyalin ardından kapanın kapandığına dair keşfi, meslek hayatının en önemli keşiflerinden biriydi ve elektriksel aktivitenin bitki gelişimini düzenlediğini gösteren ilk kanıttı. Ama Burdon-Sanderson elektrik sinyalinin kapanın kapanmasının doğrudan nedeni olduğunu ancak varsayım olarak ileri sürebilmişti. Yüz yıldan fazla bir zaman sonra Alexander Volkov ve Oakwood Üniversitesi'ndeki (Alabama) çalışma arkadaşları, kapanın kapanmasını sağlayan sinyalin elektrik uyarımı olduğunu kanıtladı.[7] Araştırma ekibi, bitkinin yaprağının açık dilimlerine bir çeşit elektroşok terapisi uygulamış, bu da tetikleyici tüylere doğrudan dokunulmadan kapanın kapanmasına neden olmuştu. Volkov'un bu çalışması ve daha önce başka laboratuvarlarda yaptığı araştırmalar da tek bir tetikleyici tüye dokunulduğunda kapanın bu dokunuşu hatırladığını ve başka bir tüyün daha tetiklenmesini beklediğini, bu tetiklenme gerçekleştikten sonra kapanın kapandığını ortaya koydu.[8] Bu araştırma, Venüs sinek kapanının kaç tüyünün tetiklendiğini hatırlamasını sağlayan mekanizmaya ancak yenilerde ışık tuttu; bu mekanizmayı altıncı bölümde inceleyeceğiz. Bitkilerin hatırlama yöntemlerine geçmeden önce, elektrik sinyali ile yaprakların hareketi arasındaki bağlantıyı biraz incelememizde yarar var.

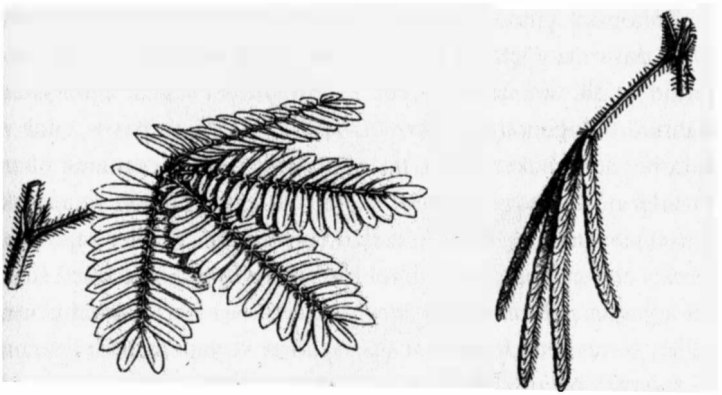
Su Gücü

Burdon-Sanderson, Venüs sinek kapanının kapanışı sırasında tespit ettiği elektrik sinyalinin bir sinirin ve kasılan bir kasın hareketine çok benzediğini gözlemledi. Burdon-Sanderson sinirlerin olmadığı

bir durumda aksiyon potansiyellerinin nasıl gerçekleştiğini açıklayabiliyordu, ama kasların olmadığı bir durumda hareket mekanizmasını anlamakta güçlük çekiyordu. Venüs bitkisindeki aksiyon potansiyellerinin, kapanın kapanmasını harekete geçirecek kas benzeri açık bir hedeflerinin olmadığı düşüncesindeydi.

Küstüm otu (*Mimosa pudica*) bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda yaprak hareketlerinin dünyasının anlaşılmasını sağlayan harika bir deneysel sistem geliştirildi, sonra da bu sistem diğer bitkilere genelleştirildi. Küstüm otu Güney ve Orta Amerika'nın yerli bitkisidir, ama o muhteşem hareketli yaprakları nedeniyle artık dünyanın her yerinde süs bitkisi olarak yetiştiriliyor. Yaprakları dokunmaya karşı aşırı hassastır, içlerinden birine parmağınızla dokunduğunuzda bütün yaprakçıkları hemen kapanır ve sarkar. Yaprakçıklar ancak birkaç dakika sonra tekrar açılır, dokunduğunuzda tekrar hızla kapanır. Küstüm otunun Latince adındaki *pudica* bu hareketi yansıtır; *pudica* Latincede "utangaç" anlamına gelir. Küstüm otu birçok bölgede "hassas bitki" adıyla da bilinir. Bitkinin bu olağandışı davranışı Batı Hint Adaları'nda "sahte ölüm" olarak adlandırılır ve İbranicede bu bitki "dokunma bana", Bengal dilinde ise "utangaç bakire" adıyla anılır.

Küstüm otunun yapraklarının kendine özgü bu kapanıp açılma hareketi, elektrofizyoloji düzeyinde bile Venüs sinek kapanının hareketlerine çok benzer. Bu benzerliği, Hindistan'ın Kalküta kentinde yaşayan ve önceleri tanınmış bir hekimken daha sonra kariyerini bitki fizyoloğu olarak sürdüren Sir Jagadish Chandra Bose fark etmiştir.[9] Bose, Büyük Britanya Kraliyet Enstitüsü'ne bağlı Davy Faraday Araştırma Laboratuvarı'nda araştırmalarını sürdürürken, 1901' de Royal Society'de verdiği bir konferansta, küstüm otunun yapraklarına dokunulduğunda bu dokunuşun bir aksiyon potansiyeli başlattığını, bu aksiyon potansiyelinin yaprak boyunca ilerlediğini ve yaprakçıkların hızla kapanmasına neden olduğunu ifade etmiştir. (Ne yazık ki Burdon-Sanderson, Bose'nin çalışmalarına karşı çok eleştirel bir tutum içindeydi ve *Proceedings of the Royal Society of*



Küstüm otu (*Mimosa pudica*)

London dergisine onun küstüm otuyla ilgili makalesini reddetmeleri gerektiğini bildirdi, ama daha sonra birçok laboratuvarda yapılan çalışmalar Bose'nin gerçekten de haklı olduğunu kanıtladı.[10])

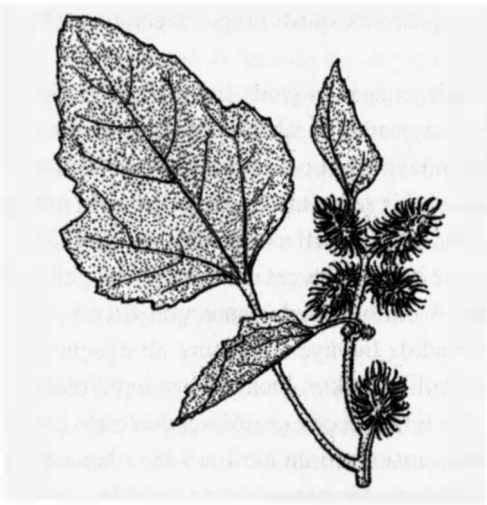
Yapılan araştırmalar, elektrik sinyallerinin pulvinus adı verilen ve yaprakların hareketini sağlayan motor hücreler olan bir grup siniri etkilediğini ve bunun sonucunda küstüm otunun yapraklarının sarktığını ortaya koydu. Pulvinusun kassız bir ortamda yaprakları nasıl hareket ettirdiğini anlamak için, temel bitki hücresi biyolojisi hakkında biraz bilgiye ihtiyacımız var. Bitki hücresi iki ana kısımdan oluşur. Hayvan hücresindekine benzeyen protoplast su balonunu andırır, bir sıvıyı çepeçevre saran ince bir zardır. İçindeki bu sıvı, çekirdek, mitokondri, proteinler ve DNA gibi birçok mikroskobik unsuru barındırır. Bitki hücrelerinin kendine özgü özelliği, protoplastın hücrenin başka bir bölümü –hücre duvarı adı verilen kutu gibi bir yapı– içinde bulunmasıdır. Hücre duvarı, destekleyici bir iskelet yapısı olmayan bitkiye dayanıklılık sağlar. Odun, pamuk ve cevizde hücre duvarları kalın ve sağlamken, yapraklarda ve çiçek yapraklarında ise ince ve esnektir. (Hücre duvarları bizim için çok önemlidir çünkü onları kâğıt, mobilya, giysi, halat, hatta yakıt yapımında kullanırız.)

Protoplast içinde normalde öyle çok su vardır ki çevresini saran hücre duvarına güçlü bir basınç yapar, bu da bitki hücrelerinin çok gergin ve dik olmalarını ve yük kaldırmalarını sağlar. Bitki sudan mahrum olduğundaysa hücre duvarlarında çok az basınç olur ve bitki boynunu büker. Bitki, hücrelerine su basıp boşaltarak hücre duvarlarındaki basıncı kontrol edebilir. Küstüm otunun yaprakçıklarının tabanında pulvinus hücreleri bulunur; bu hücreler yaprakları hareket ettiren minik birer hidrolik pompa görevi görür. İçleri suyla dolduğunda pulvinus hücreleri yaprakçıkları iterek açılmalarını sağlar; su kaybettiklerindeyse basınç düşer ve yaprakçıklar kapanır.

Aksiyon potansiyelleri nerede devreye girer? Aksiyon potansiyelleri hücreye suyu ne zaman içeri alıp ne zaman boşaltacağını söyleyen kritik sinyallerdir. Normal koşullar altında, küstüm otunun yaprakları açıkken pulvinus hücreleri potasyum iyonuyla doludur. Hücre içindeki potasyum yoğunluğunun hücre dışındakine oranla yüksek oluşu suyun hücre içine dolmasına neden olur; ama su potasyumu seyreltmeye yetmez, bunun sonucunda hücre duvarında büyük bir basınç oluşur – ve yaprakların dikleşmesine neden olur. Elektrik sinyalleri pulvinusa ulaştığında potasyum kanalları açılır ve potasyum hücreyi terk ederken su da terk eder. Bu da hücrenin gevşemesine neden olur. Sinyal geçtikten sonra, pulvinus hücrelere tekrar potasyum pompalar ve suyun artışıyla birlikte yaprakları tekrar açılır. İnsanlardaki nöral iletişimde kritik iyonlardan bir diğeri olan kalsiyum, potasyum kanallarının açılmasını düzenler ve ileride de göreceğimiz gibi, bitkilerin dokunmaya verdiği tepkide önemli bir rol oynar.

Olumsuz Bir Dokunuş

1960'ların başlarında Frank Salisbury, Kuzey Amerika'nın her yerinde bulunan ve genellikle yürüyüş sırasında insanların giysilerine yapışan oval biçimli kozalağımsı çiçekleriyle tanınan pıtrakta (*Xanthium strumarium*) çiçeklenmeyi başlatan kimyasalları araştırıyor-



Pıtrak (*Xanthium strumarium*)

du. Salisbury ve Colorado Eyalet Üniversitesi'ndeki teknisyen ekibi, bitkinin nasıl büyüdüğünü anlamak için her gün sahaya çıkıp yaprak uzunluğunu cetvelle ölçmeye karar verdi. Salisbury, ölçümü yapılan yaprakların hiçbir zaman normal uzunluklarına ulaşmadıklarını hayretle fark etti. Bununla da kalmamış, deney devam ederken yapraklar sararmış ve ölmüştü. Aynı bitki üzerinde yer alıp da ölçülmeyen, yani dokunulmamış diğer yapraklar ise gelişmişti. Salisbury bu durumu şöyle ifade edecekti: "Her gün birkaç saniye dokunulduğunda pıtrak yaprağının ölebileceğini gösteren önemli bir keşifle karşı karşıyaydık!"[11]

Salisbury'nin ilgisi başka yönde olduğundan, bu gözleminin daha geniş bir bağlamda ele alınması için on yıl geçmesi gerekti. 1970'lerin başlarında Ohio Üniversitesi'nde çalışan bitki fizyoloğu Mark Jaffe, dokunmayla büyümenin engellenmesinin bitki biyolojisinde yaygın bir fenomen olduğunu fark etti. Mekanik uyarımın bitkinin büyümesi üzerindeki bu genel etkisini tarif etmek için, Yunanca *thigmo-* (dokunma) ve *morphogenesis* (şekil yaratma) terim-

lerini bir araya getirerek oluşturduğu "tigmomorfojenez" terimini ortaya attı.[12]

Elbette bitkiler rüzgâr, yağmur, kar gibi çeşitli dokunsal streslere maruz kalır; hayvanlar da sık sık bitkilerle temasta bulunur. Dolayısıyla, dokunmaya tepki olarak bir bitkinin büyümesini durdurmasında şaşılacak bir şey olmasa gerek. Bir bitki nasıl bir çevrede yaşadığını hisseder. Dağ sırtlarında büyüyen ağaçlar sık sık güçlü rüzgârlara maruz kalır ve bu çevresel strese dal gelişimlerini kısıtlayarak ve kısa, kalın bir gövde yapısı geliştirerek uyum sağlarlar. Korunaklı bir vadide büyüyen aynı türe ait ağaçlar ise uzun, ince gövdeli ve sık dallı olacaktır. Dokunmaya tepki olarak büyümenin yavaşlaması, bir bitkinin çok çeşitli –çoğunlukla da şiddetli– sarsıntıları atlatma şansını artıran evrimsel bir adaptasyonun sonucudur. Aslında, ekolojik bir perspektiften baktığımızda, bir bitki bizim ev inşa ederken karşılaştığımız birçok seçenekle karşı karşıyadır. İnşaatın temelinde ne tür şeyler kullanmalıyız? Evin yapı iskeleti nasıl olmalı? Rüzgârı az veya deprem riski düşük bir yerde yaşayacaksanız, evinizin daha çok dış görünüşüne harcama yapabilirsiniz. Şiddetli rüzgârların olduğu veya deprem riskinin yüksek olduğu yerlerde ise temel ve yapı iskeletinin güçlü olmasına öncelik vermeniz gerekir.

Ağaçlar için geçerli olan şey ilk bölümde karşılaştığımız arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*) için de geçerlidir. Laboratuvarda günde birkaç kez dokunulan bir arabidopsis bitkisi, kendi haline bırakılana oranla daha bodur kalacak ve daha az çiçek verecektir. Günde birkaç kez yaprağını okşamak bitkinin fiziksel gelişimini tamamen değiştirir. Bitkinin genel büyümesindeki bu değişimi fark etmemiz birkaç gün alsa da, hücresel düzeyde verilen tepki çok daha hızlıdır. Janet Braam ve Rice Üniversitesi'ndeki araştırmacı arkadaşları, bir arabidopsisin yaprağına dokunmanın bitkinin *genetik* yapısında hızlı değişikliklere neden olduğunu kanıtlamıştır.

Braam'ın bu olayı keşfi büyük ölçüde tesadüf eseriydi. Stanford Üniversitesi'nde genç bir araştırma görevlisiyken Braam dokunma-

nın bitkilerdeki etkilerinden ziyade bitki hormonlarının harekete geçirdiği genetik programlar konusuna ilgi duyuyordu. Gibberellin hormonunun bitki biyolojisine etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla gerçekleştirdiği deneylerinden birinde, arabidopsis yapraklarına bu hormonu püskürttü, sonra da bu muameleden dolayı hangi genlerin aktive olduğunu kontrol etti. Hormonu püskürttükten sonra birçok genin hızla etkinleştiğini fark etti ve bu genlerin gibberelline tepki verdiği sonucuna vardı. Ama daha sonra, yapraklara birçok başka madde (su bile) püskürtüldüğünde bu genlerin yine aktive olduğu ortaya çıktı.

Yenilgiyi kabul etmeyen Braam bu genlerin suyla bile neden aktif hale geçtiğini ortaya çıkarmak üzere araştırmalarını sürdürdü. Sıvı püskürtme işlemlerinin ortak faktörünün bitkiye püskürtülen sıvının yaprak üzerinde yarattığı *fiziksel duygu* olduğunu fark edince Braam bir "evreka!" ânı yaşadı ve keşfettiği genlerin yapraklara yapılan fiziksel muameleye tepki verdikleri hipotezini ileri sürdü. Hipotezini kontrol etmek için deneylerini sürdürdü, ama bundan sonra bitkilere sıvı püskürtmekten ziyade onlara eliyle dokundu. Bitkilere hormon veya su püskürtüldüğünde harekete geçen genlerin onlara dokunulduğunda da harekete geçtiğini memnuniyetle fark etti. Braam yeni keşfettiği bu genlerin dokunmayla aktif hale geçtiği sonucuna vardı ve bitkiye dokunulduğunda harekete geçtikleri için bu genlere (İngilizcede dokunma anlamına gelen *touch* sözcüğünün sessiz harflerinden türetilmiş) "*TCH* genleri" adını verdi.[13]

Bu keşfin önemini daha iyi kavrayabilmek için genlerin nasıl çalıştığına kısaca bir göz atmamız yararlı olacaktır. Arabidopsis bitkisinin her hücresinin çekirdeğinde yer alan DNA yaklaşık yirmi beş bin genden oluşur. En basit düzeyde, her gen bir proteinin kodunu taşır. DNA her hücrede aynıdır, ama farklı hücreler farklı proteinler içerir. Örneğin bitkinin yaprağındaki bir hücrede, kökündeki bir hücredekinden farklı proteinler bulunur. Yaprak hücresinde fotosentez için güneş ışığını emen proteinler varken, kök hücresinde hücrenin topraktan mineralleri emmesine yardımcı olan proteinler

vardır. Farklı hücre türleri farklı proteinler içerir, çünkü her bir gen türünde farklı genler aktiftir – daha doğrusu, farklı gen transkripsiyonları veya yazılımları (yani RNA'dan DNA'ya genetik bilgi aktarımı) gerçekleşir. Bazı genler her hücrede yazılır (zar yapımı için gerekli genler gibi örneğin), ama çoğu genin transkripsiyonu yalnızca belli hücre tiplerinin alt türlerinde gerçekleşir. Dolayısıyla, her bir hücre yirmi beş bin genin her birini aktif hale getirecek *potansiyele* sahip olsa da, pratikte belli bir hücre tipinde yalnızca birkaç bin gen aktiftir. Birçok genin aynı zamanda dış çevre tarafından da kontrol ediliyor oluşu bu durumu daha da karmaşık hale getirir. Yapraklarda bazı genlerde, yalnızca yapraklar mavi ışık gördüğünde transkripsiyon gerçekleşir. Bazı genlerde gecenin bir yarısı, bazılarında sıcak havaların ardından, bazılarında bakteri saldırısından sonra, bazılarında da dokunmadan sonra transkripsiyon gerçekleşir.

Dokunmayla aktifleşen bu genler hangileridir? Braam'ın tanımladığı ilk *TCH* genleri, hücreye kalsiyum sinyali gönderme işleminde rol oynayan proteinleri kodlayan genlerdi. Daha önce gördüğümüz üzere, kalsiyum hem hücrenin elektrik yükünü düzenleyen hem de hücreler arası iletişimde rol oynayan önemli tuz iyonlarından biridir. Bitki hücrelerinde, kalsiyum hücrenin turgor basıncının sürekliliğinin sağlanmasına yardımcı olur (küstüm otu bitkisinde pulvinus hücrelerinde olduğu gibi), aynı zamanda da bitkinin hücre duvarının bileşenlerinden biridir. Kalsiyum nörondan nörona elektrik sinyalinin aktarımındaki önemli rolü nedeniyle insanlar ve diğer hayvanlar için temel bir maddedir, ayrıca kasların kasılması için de vazgeçilmez bir kaynaktır. Kalsiyumun birbirinden bu kadar ayrı olayları aynı zamanda nasıl yönlendirdiği tümüyle bilinmemekle birlikte, bu alan bilimsel araştırmaların yoğun biçimde sürdürüldüğü alanlardan biridir.

Biliminsanları, bir dalın sallanması veya kökün kayaya dayanması gibi mekanik uyaranların ardından bitki hücresinde kalsiyum iyonlarının yoğunluğunun aniden artıp zirve yaptığını, sonra da azaldığını biliyorlar. Bu ani artış hücre zarının tamamının elektrik

yükünü etkiler, ama aynı zamanda yoğunluğundaki bu artış sırasında kalsiyum "ikinci haberci" olarak, belli reseptörlerden belli çıktılara bilgi aktaran bir aracı molekül olarak birçok hücresel faaliyeti de doğrudan etkiler. Bu serbest çözünebilir kalsiyum kendi başına tepkiye neden olmakta çok etkili değildir çünkü çoğu protein kalsiyumla doğrudan bağ oluşturamaz; bu nedenle gerek bitkilerde gerekse hayvanlarda kalsiyum genellikle az sayıda kalsiyum bağlayıcı proteinle birlikte iş görür.

Bu bağlayıcı proteinler içinde üzerinde en çok araştırma yapılmış olanı kalmodulindir (*modüle* edilmiş *kal*siyum proteini). Kalmodulin görece küçük ama çok önemli bir proteindir; kalsiyumla bağ oluşturduğunda, bellek, enflamasyon, kas fonksiyonu ve sinir gelişimi gibi insan vücudundaki birçok işlemde rol oynayan birçok proteinle etkileşime girer, onların aktivitelerini düzenler. Tekrar bitkilere dönecek olursak, Braam tespit ettiği ilk *TCH* geninin kalmodulini kodladığını ortaya koydu. Yani bir bitkiye –arabidopsis veya papayaya– dokunduğunuzda bitkinin yaptığı ilk şey daha fazla kalmodulin üretmek olur. Bitkinin daha fazla kalmodulin üretmesinin nedeni, büyük ihtimalle aksiyon potansiyelleri sırasında ürettiği kalsiyumdan yararlanmaktır.

Braam ve diğer biliminsanlarının bu alanda araştırmalarını sürdürmeleri sayesinde, arabidopsisin yaprağına bir böcek konduğunda, bir hayvan yanından sürtünerek geçtiğinde veya rüzgâr dallarını salladığında genlerinin (kalmodulin ve kalsiyumla alakalı diğer proteinler de dahil olmak üzere) yüzde 2'sinden fazlasının aktive olduğunu artık biliyoruz.[14] Bu, şaşırtıcı derecede çok gen demektir ve iş mekanik uyaranlara ve hayatta kalma mücadelesine gelince bitkilerin tepkilerinin ne kadar geniş kapsamlı olduğunu gösterir.

Bitki ve İnsanlarda Dokunma Duyusu

Biz insanlar uzmanlaşmış mekanosensori reseptör sinirleri ve bu sinirlerden iletilen sinyalleri duygusal çağrışımları olan duyulara tercüme eden bir beyin sayesinde çeşitli ve karmaşık fiziksel duyuları algılayabiliriz. Bu reseptörler çok çeşitli dokunsal uyaranlara tepki vermemizi sağlar. "Merkel diskleri" adlı bir mekanosensori reseptör, tenimizin ve kaslarımızın üzerindeki uzun süreli dokunuşu ve baskıyı algılar. Ağzımızın içindeki nosiseptörler, kırmızı acı biberlerde bulunan son derece acı bir kimyasal olan kapsaisinle aktif hale geçer; yine nosiseptörler apandistimizin iltihaplandığını bize apendektomiden önce haber verir. Ağrı reseptörleri, tehlikeli bir durumdan kaçınmamızı veya vücudumuzun içindeki tehlike arz edebilecek fiziksel sorundan haberdar olmamızı sağlar.

Bitkiler dokunuşu hissedebilir ama acı hissetmezler. Tepkileri de öznel değildir. Bizimse dokunma ve acı algımız özneldir, kişiden kişiye değişir. Hafif bir dokunuş kimileri için haz vericidir, kimileri içinse rahatsız edici bir gıdıklama. Bu öznelliğin temeli, bir iyon kanalının açılması için gerekli baskı eşiğini etkileyen genetik farklılıklardan, dokunsal duyuları korku, panik ve üzüntü gibi duygusal çağrışımlara bağlayan ve fizyolojik tepkilerimizi alevlendirebilen psikolojik farklılıklara kadar çeşitlilik gösterir.

Bitkiler bu öznel sınırlamalardan muaftır, çünkü beyinleri yoktur. Ama bitkiler mekanik uyaranları hisseder ve farklı türde uyaranlara kendilerine özgü biçimlerde tepki verirler. Bu tepkiler bitkinin acıdan uzak kalmasını değil, gelişimini mevcut ortama en iyi şekilde uyarlamasını sağlar. Leeds Üniversitesi'nden Dianna Bowles ve araştırma ekibi bunun şaşırtıcı bir örneğini ortaya koydu.[15] Daha önceki araştırmalar, domatesin bir yaprağını yaralamanın aynı bitki üzerindeki sağlıklı yapraklarda tepkilere neden olduğunu göstermişti (2. Bölüm'de aktarılan araştırma türlerindeki gibi). Bu tepkilerden biri de, sağlıklı yapraklarda proteinaz adlı gen sınıfının transkripsiyonudur.

Bowles yaralı yapraktan sağlıklı yapraklara gönderilen sinyalin doğasını merak ediyordu. Genel geçer görüş, kimyasal bir sinyal salgılandığı ve bu sinyalin yaralı yaprağın damarlarından bitkinin her yerine taşındığı biçimindeydi. Bowles ise bu sinyalin elektriksel bir sinyal olduğu hipotezini ileri sürüyordu. Bu hipotezini test etmek için bir domates yaprağını kızgın bir çelik parçasıyla yaktı ve aynı bitkinin yaralı yapraktan uzaktaki sapında elektrik sinyali tespit edilebildiğini fark etti. Yaprağı sapa bağlayan sapsı yapı (petiol) dondurulduğunda bile bitki bu sinyali alabiliyordu. Bowles, petiolü dondurmanın yapraktan sapa doğru kimyasal akışı engellediğini, ama elektrik akımını engellemediğini gördü. Hatta yanmış yaprağın petiolünü dondurduğunda, sağlıklı yapraklar proteinaz inhibitör genlerinin transkripsiyonunu hâlâ gerçekleştirmekteydi. Yaprak acı hissetmemişti. Domates kızgın metale ondan uzaklaşarak değil, diğer yapraklarını tehlike potansiyeli taşıyan ortama karşı uyararak tepki vermişti.



Domates (*Solanum lycopersicum*)

Durağan, köklü organizmalar olan bitkiler geri çekilemeseler veya kaçamasalar da, metabolizmalarını farklı ortamlara uyum sağlayacak şekilde *değiştirebilirler*. Bitki ve hayvanların organizma düzeyinde, dokunma ve diğer fiziksel uyaranlara karşı tepkileri farklı farklı olmasına rağmen, hücresel düzeyde oluşturdukları sinyaller şaşırtıcı derecede benzerdir. Bir bitki hücresinin mekanik uyarımı, tıpkı bir sinirin mekanik uyarımı gibi, hücrenin iyon koşullarında değişikliğe neden olur, bunun sonucunda bir elektrik sinyali ortaya çıkar. Yine hayvanlarda olduğu gibi, bu sinyal potasyum, kalsiyum, kalmodulin gibi iyon kanalları ile diğer bitki bileşenlerinin eşgüdümlü hareketiyle gerçekleşir ve hücreden hücreye ilerleyebilir.

Kulaklarımızda da uzmanlaşmış bir mekanoreseptör türü bulunur. Bitkiler tenimizdekine benzer mekanoreseptörler sayesinde dokunmayı hissedebildiklerine göre, kulaklarımızdakine benzer mekanoreseptörler sayesinde de duyuyor olabilirler mi acaba?

4

Bitkilerin Duydukları

Tapınağın çanları sustu
ama çiçeklerden gelen sesi
hâlâ duyuyorum.

– Matsuo Başo

ORMANLAR seslerle yankılanır. Kuşlar şakır, kurbağalar vıraklar, cırcırböcekleri öter, rüzgârla savrulan yapraklar hışırdar. Bu hiç susmayan orkestrada tehlikeyi haber veren, çiftleşme ritüelleriyle alakalı, tehditkâr, teskin edici sesler vardır. Bir sincap bir ağaca atlar, kırık bir dal çatırtıyla kopup düşer; bir kuş başka bir kuşun ötüşüne karşılık verir. Hayvanlar ses karşısında sürekli harekete geçer, bu sırada da başka sesler üretirler, döngüsel bir kakofoniye katkıda bulunurlar. Ormanlar böyle hışırtı ve çıtırtılarla çınlarken bile bitkiler çevrelerindeki bu gürültü patırtıya karşı tepkisiz kalır, sessiz sedasız yaşamayı sürdürür. Bitkiler ormanın gürültüsüne karşı sağır mıdır? Yoksa onların tepkilerine karşı biz mi körüz?

Bitkilerin buraya kadar incelediğimiz duyularına ışık tutan birçok araştırma varken, sese tepkileri konusunda yapılmış güvenilir, ikna edici araştırmaların sayısı çok azdır. Müziğin bitkilerin gelişimini etkileyebileceğine dair birçok anekdota dayalı bilginin varlığı düşünüldüğünde, şaşırtıcı bir durumdur bu. Bitkilerin koku alabildiğini duyduğumuzda bunu durup bir kez daha düşünme ihtiyacı duyarken, bitkilerin duyabildiği fikrini hiç şaşırtıcı bulmayız. Ço-

ğumuz klasik müzik çalan odalarda serpilip büyüyen bitkilerle ilgili hikâyeler duymuşuzdur[1] (bazıları bitkilerin gelişimini pop müziğin etkilediğini ileri sürer gerçi). Aslında müzik ve bitkilerle ilgili araştırmaları, ilkokul öğrencileri ve bilimsel yöntemi esas alan laboratuvarlarda görülen kontrollere pek de bağlı kalmayan amatör araştırmacılar yapmıştır daha çok.[2]

Bitkilerin gerçekten de duyup duymadığı sorusuna geçmeden önce insandaki duyma mekanizmasını biraz anlamaya çalışalım. "Duyma"nın yaygın tanımlarından biri "kulak gibi bir organ aracılığıyla titreşimleri tespit ederek sesi algılama yeteneği" biçimindedir.[3] Ses, havada, suda, hatta kapı ve yerkabuğu gibi katı nesnelerde ilerleyen bir basınç dalgaları dizisidir. Bu basınç dalgaları, bir şeye (davula mesela) vurmak veya havanın ritmik bir biçimde sıkışmasına neden olan tekrarlı bir titreşim başlatmak (gerili bir teli çekip bırakmak gibi) suretiyle ortaya çıkarılır. Bu hava basıncı dalgalarını, iç kulağımızdaki dokunmaya duyarlı tüy hücrelerinin algı yetenekleri sayesinde algılarız. Uzmanlaşmış mekanosensöri sinirler olan bu hücrelerden, bir hava basıncı dalgası (bir ses) üzerlerine çarptığında eğilen stereosilya adlı tüy benzeri iplikçikler uzanır.

Kulaklarımızın içindeki bu tüy hücreleri iki tür bilgi taşır: ses şiddeti (*volume*) ve ses perdesi. Ses şiddeti (bir başka deyişle, sesin *kuvveti*) kulağa ulaşan ses dalgasının yüksekliğiyle veya daha çok bilinen adıyla ses genliğiyle belirlenir. Yüksek seslerin genliği yüksek, alçak seslerinki ise düşüktür. Ses genliği ne kadar yüksekse stereosilya o kadar eğilir. Ses perdesi ise basınç dalgalarının *frekansının* bir sonucudur, yani genliği ne olursa olsun dalganın saniyede ne sıklıkla algılandığıyla ilgilidir. Dalganın frekansı arttıkça, stereosilyanın öne arkaya eğilip bükülme hızı ve ses perdesi de artar.[4]

Tüy hücrelerindeki stereosilya titreşirken aksiyon potansiyelleri başlatır (önceki bölümde karşılaştığımız diğer mekanoreseptörlerin yaptığı gibi); bu aksiyon potansiyelleri işitme sinirine, oradan da beyne iletilir, beyin bu bilgiyi farklı sesler biçiminde yorumlar. Dolayısıyla insanlarda işitme iki anatomik olayın bir sonucudur: Ku-

laklarımızın içindeki tüy hücreleri ses dalgalarını alır ve beynimiz bu bilgiyi farklı seslere tepki vermemizi sağlayacak şekilde işler. Bu durumda, bitkiler gözleri olmadığı halde ışığı algılayabiliyorsa, kulakları olmadığı halde sesleri de algılayabilirler mi?

Rock-and-Roll Botaniği

Bitkilerin müziğe tepki verdiği fikri şu veya bu şekilde çoğumuzun ilgisini çekmiştir. Bitkilerde görme ve hissetmeyle ilgili ufuk açıcı araştırmalarını yüz yıldan uzun bir süre önce gerçekleştirdiğini bildiğimiz Charles Darwin bile bitkilerin sesleri algılayıp algılamadığını, onlara kendi enstrümanıyla çaldığı ezgileri dinleterek test etmişti. En tuhaf deneylerinden birinde Darwin, fagot müziğinin (hayatını biyoloji alanındaki araştırmalara adamış bir biliminsanı olmasının yanı sıra usta bir fagot icracısıydı zira) bitki büyümesi üzerindeki etkilerini gözlemlemişti. Darwin bu deneyinde fagot müziğinin küstüm otunun yapraklarının kapanmasına neden olup olmadığını araştırmış, yaprakların kapanmadığını görünce de bu çalışmasını "aptalca bir deney" olarak nitelemişti.[5]

Darwin'in başarısızlıkla sonuçlanan girişimlerinden beri bitkilerin işitsel yetenekleri konusunda çok fazla araştırma yapılmadı. Sadece geçen yıl bitkilerin ışığa, kokuya ve dokunmaya karşı tepkileriyle ilgili yüzlerce bilimsel makale yayımlanırken, son yirmi yıl içinde bitkilerin sese karşı tepkilerini inceleyen makale sayısı parmakla sayılacak kadar az ve bunların çoğu, benim standartlarıma göre bitkilerin "duyduğu"nu kanıtlayan bulgular olmaktan uzak.

Bu makalelerden biri (gayet gülünç bir makale) *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* dergisinde yayımlandı.[6] Makalenin yazarları psikoloji ve tıp alanlarında ders veren Gary Schwartz ile optik bilimler bölümünde ders veren Katherine Creath. İkisi de Schwartz'ın VERITAS Araştırma Programı'nı kurduğu Arizona Üniversitesi'nde öğretim üyesi.[7] Bu programda "bir kişinin bilincinin (veya kişiliğinin ya da kimliğinin) kişinin fiziksel ölümün-

den sonra da varlığını sürdürdüğü hipotezi" araştırılıyor. Ölümden sonra bilinç üzerinde araştırma yapmanın bazı zorlukları var elbette,[8] dolayısıyla Schwartz "şifa enerjisi" konusunda da araştırma yapıyor. Araştırmalarda insan katılımcılar telkinlerin gücünden çok fazla etkilenebildikleri için Schwartz ve Creath, "müzik, gürültü ve şifa enerjisinin biyolojik etkileri"ni[9] ortaya çıkarmayı hedefleyen araştırmalarında insan yerine bitkilerden yararlanmışlar. Elbette bitkiler, plasebo etkisinden veya bildiğimiz kadarıyla müzik tercihlerinden etkilenmezler (gerçi deneyleri gerçekleştiren ve analiz eden araştırmacılar etkilenebilirler).

Creath ve Schwartz, şifa enerjisi ile "yumuşak" bir müziğin (Amerikan Yerlilerinin flüt müziği ve doğa seslerinden oluşan –ve deneycilerin kendi seçimleri olduğu belirtilen– bir müziğin) tohumların büyümesinde etkili olduğu hipotezini ortaya atmışlardı.[10] Yazarlar elde ettikleri verilerin, hafif müzik sesleri sırasında sessiz ortama oranla daha fazla kabak ve bamya tohumunun çimlendiğine işaret ettiğini belirtiyordu. Ayrıca, Creath'in elleriyle tohumlara uyguladığı şifa enerjisiyle çimlenme oranının arttığını da ekliyorlardı.[11] Bu sonuçların başka bitki laboratuvarlarında gerçekleştirilen araştırmalarda doğrulanmadığını söylemeye gerek bile yok, ama Creath ve Schwartz'ın elde ettikleri sonuçları desteklemek amacıyla atıfta bulundukları kaynaklardan biri Dorothy Retallack'ın *The Sound of Music and Plants* (Müzik Sesi ve Bitkiler) adlı kitabıydı.

Dorothy Retallack, kendi tarifiyle, "doktor eşi, ev hanımı ve on beş torun sahibi" bir kadındı,[12] 1964'te, yani son çocuğu üniversiteden mezun olduktan sonra, bugün artık var olmayan Temple Buell College'a lisans öğrencisi olarak kaydını yaptırmıştı.[13] Çoğunlukla sinagoglarda, kiliselerde ve cenaze evlerinde söyleyen profesyonel bir mezzo soprano olan Retallack, Temple Buell'de müzik alanında uzmanlaşmaya karar vermişti. Zorunlu seçmeli bilim dersi için Biyolojiye Giriş dersini almış ve öğretmeni ondan ilgisini çekebilecek bir deney gerçekleştirmesini istemişti. Retallack'ın zorunlu biyoloji dersi ile müzik sevgisini birleştirmesinden ise anaakım bilimin red-



Dorothy Retallack, danışmanı Dr. Francis Broman ile birlikte laboratuvarda.

dettiği ama popüler kültürün hemen kucakladığı bir kitap ortaya çıkmıştı.

Retallack'ın *The Sound of Music and Plants* adlı kitabı 1960'ların kültürel-siyasi iklimine açılan bir pencere gibidir, ama aynı zamanda Retallack'ın bakış açısına da ışık tutar. Retallack, yüksek sesli rock müziğin üniversite öğrencileri arasındaki antisosyal davranışlarla ilintili olduğuna inanan bir sosyal muhafazakâr ile müzikle fizik ve bütün doğa arasında kutsal bir ahenk olduğuna inanan bir New Age dini ispiritizmacısının benzersiz bir karışımıydı.

Retallack, 1959'da yayımlanan *The Power of Prayer on Plants* (Duanın Bitkiler Üzerindeki Gücü) başlıklı kitabın çok ilgisini çektiğini belirtiyordu.[14] Bu kitabın yazarı, yanlarında dua okunan bitkilerin geliştiği, kötü şeyler söylenen bitkilerinse öldüğü iddiasın-

daydı. Retallack, olumlu ve olumsuz müzik türleriyle benzer etkiler elde edilip edilmeyeceğini merak etmişti (hangi müzik türünün olumlu, hangisinin olumsuz olduğu Retallack'ın kendi müzik beğenisiyle belirlenmişti elbette). Bu soru Retallack'ın araştırmasının temeli haline geldi. Farklı müzik türlerinin bitkilerin büyümesi üzerindeki etkilerini gözlemlerken, çağdaşlarına rock müziğin tehlike potansiyeli taşıdığına dair kanıt sunabileceğini ummaktaydı – yalnızca bitkiler için değil insanlar için de.

Retallack farklı bitkilere (her deneyde devetabanı, mısır, turnagagası, menekşe gibi farklı bir bitki türü kullanmıştı) Bach, Schönberg, Jimi Hendrix ve Led Zeppelin dahil çeşitli müzik kayıtları dinletmiş, sonra da büyümelerini kontrol etmişti. Hafif klasik müzik (Muzak denilen, hepimizin bilip sevdiği dinlendirici asansör müziği de dahil) dinletilen bitkilerin geliştiğini, *Led Zeppelin II* albümü veya Hendrix'in *Band of Gypsys* albümü dinletilenlerinse gelişimlerinin durduğunu bildiriyordu. Bitkilere asıl John Bonham ve Mitch Mitchell gibi efsanevi davulcularınkine benzer davul performanslarının zarar verdiğini göstermek için Retallack deneylerini aynı albümlerin perküsyonu çıkarılmış kayıtlarını bitkilere dinleterek tekrarladı.

Tıpkı ileri sürdüğü gibi, "Whole Lotta Love" ve "Machine Gun" ın davulsuz versiyonları bitkilere davullu versiyonları kadar zarar vermemişti. Bitkilerin Retallack'ınkiyle örtüşen bir müzik zevkleri olduğu anlamına mı geliyordu bu? Daha da endişe verici olanı, Retallack bu bulgulardan rock müziğin gençler üzerinde olumsuz etkisi olduğu sonucuna vardığına göre, bu deney sonuçları –müzik setinde bangır bangır Zeppelin ve Hendrix çalarken ders çalışarak büyüyen biri olarak– benim de zarar görmüş olabileceğim anlamına mı geliyordu?

Benim ve diğer Zeppelin hayranları için iyi haber şu ki, Retallack'ın çalışmaları bilimsel eksikliklerle doluydu.[15] Örneğin her deneyi az sayıda bitkiyle (beşten az) yapmıştı. Deneylerin sayısı da çok azdı, istatistiksel analiz için yeterli değildi. Deney tasarımı kö-

tüydü –çalışmalarının bazılarını arkadaşlarının evinde gerçekleştirmişti– ve toprağın nemi gibi bazı parametreler toprağa parmak batırılarak belirlenmişti. Retallack kitabında birçok uzmana atıfta bulunsa da, bunların hiçbiri biyolog değildi. Müzik, fizik ve teoloji alanlarında uzman kişilerdi bunlar, atıfta bulunduklarından bazıları da bilimsel ehliyeti olmayan kişilerdi. Hepsinden önemlisi de, araştırması güvenilir bir laboratuvarda tekrar edilmemişti.

Ian Baldwin'in bitki iletişimi ve uçucu kimyasallar üzerine yaptığı ve önce anaakım bilim camiasının direnciyle karşılaşan ama zamanla birçok laboratuvarda doğrulanan çalışmalarından (2. Bölüm' de karşılaşmıştık) farklı olarak, Retallack'ın müzikal bitkileri bilimin çöp tenekesine havale edildi. Retallack'ın bulguları bir gazete yazısında yer almakla birlikte, elde ettiği sonuçları saygın bir bilimsel dergide yayımlatma çabaları başarısızlıkla sonuçlandı ve kitabı bir süre sonra New Age literatüründe yerini aldı. Ama bu durum kitabın dönemin kültürel ruhunun bir parçası haline gelmesini engellemedi elbette.

Retallack'ın sonuçları 1965'te yayımlanan önemli bir çalışmanın sonuçlarıyla da çelişmekteydi.[16] New York Botanik Bahçesi'nde görevli Richard Klein ve Pamela Edsall adlı biliminsanları, bitkilerin gerçekten de müzikten etkilenip etkilenmediğini belirlemek üzere çeşitli testler yapmaya karar vermişlerdi. Onları buna yönelten, Hindistan'da yapılan ve müziğin –içlerinde kadife çiçeğinin de (*Tagetes erecta*) yer aldığı– çeşitli bitkilerde dal sayısını artırdığını iddia eden çalışmalardı. Klein ve Edsall bu çalışmaları tekrar ederek sağlamalarını yapmak için kadife çiçeklerine şu parçaları dinlettiler: bir Gregoryen ilahisi, Mozart'ın 41 Numaralı C Majör Senfonisi, Dave Brubeck'in "Three to Get Ready" adlı parçası, David Rose Orkestrası'nın seslendirdiği "The Stripper" adlı parça ve The Beatles'ın "I Want to Hold Your Hand" ve "I Saw Her Standing There" adlı parçaları.

Klein ve Edsall, sıkı bir bilimsel denetim altında gerçekleştirilen bu araştırmalarında, müziğin kadife çiçeklerinin büyümesini et-



Kadife çiçeği (*Tagetes erecta*)

kilemediği sonucuna vardı. Bu tür araştırmaları hoş karşılamadıklarını esprili bir dille şöyle ifade ettiler: "Ne 'The Stripper'ın etkisiyle yapraklarda bir dökülme görüldü, ne de The Beatles'ın parçaları çalınırken bitkinin sapında herhangi bir nütasyona[17] rastlandı."[18] Bu sonuçlarla Retallack'ın daha sonra yaptığı çalışmalarda elde ettiği sonuçlar arasındaki çelişkiyi nasıl açıklayabiliriz? Ya Klein ve Edsall'ın kadife çiçeklerinin müzik beğenisi Retallack'ınkilerden farklıydı ya da Retallack'ın çalışmasındaki temel metodolojik ve bilimsel tutarsızlıklar güvenilir olmayan sonuçlara neden olmuştu (ki bu ikinci ihtimal daha makul görünüyor).

Klein ve Edsall'ın araştırması saygın bir bilimsel dergide yayımlanmışsa da, halkın geneli tarafından görülmedi ve Retallack'ınkine benzer araştırmalar 1970'lerde popüler basını işgal etmeyi sürdürdü. Peter Tompkins ve Christopher Bird'ün 1973'te yayımlanan ikonlaşmış *Bitkilerin Gizli Yaşamı* adlı kitaplarında da Retallack'ınkine benzer araştırmalar öne çıkar. Tanıtım yazısında bunun

"Bitkilerle insanlar arasındaki fiziksel, duygusal ve manevi ilişkilere dair harikulade bir anlatı" olduğu belirtilir. Kitabın "Bitkilerin Ahenkli Yaşamı" başlığını taşıyan, kıvrak bir dille kaleme alınmış bölümünde yazarlar bitkilerin Bach ve Mozart'ın müziğine olumlu tepki vermekle kalmadığını, Ravi Shankar'ın sitarıyla seslendirdiği Hint müziğini belirgin bir biçimde tercih ettiğini de belirtirler.[19] *Bitkilerin Gizli Yaşamı*'nda yer alan bilimsel verilerin çoğu çok az sayıda test bitkisini temel alan öznel izlenimlere dayanır. Tanınmış bitki fizyoloğu, profesör ve kuşkucu Arthur Galston, 1974 tarihli bir yazısında meseleyi kısa ve öz biçimde şöyle ifade eder: "*Bitkilerin Gizli Yaşamı*'nın sorunu şu ki, kitap neredeyse tümüyle, yeterli kanıt olmadan sunulan tuhaf iddialardan oluşuyor."[20] Ama bu, *Bitkilerin Gizli Yaşamı*'nın çağdaş kültürü etkilemesini engellememiştir.

Yakın zamanlarda elde edilmiş, bitkilerin sese tepki verdiğini *destekleyen* herhangi bir veri yoktur. Ne var ki, bilimsel literatür dikkatle incelendiğinde, çeşitli bilimsel makalelerde bitkilerin duyabildiği fikrini çürüten başka bulgulara rastlamak mümkündür. *TCH* genlerini (bitkilere dokunulduğunda harekete geçen genler) tanımladığı makalesinde Janet Braam, fiziksel uyarımın yanı sıra bu genlerin yüksek sesli müzikle tetiklenip tetiklenmediklerini test ettiğini belirtiyordu[21] (bu testi Talking Heads grubunun müziğiyle gerçekleştirmişti). Tetiklenmedikleri ortaya çıkmıştı. Keza, araştırmacı Peter Scott, *Physiology and Behaviour of Plants* (Bitkilerin Fizyolojisi ve Davranışı) adlı kitabında mısır bitkisinin müzikten, yani Mozart'ın *Symphonie Concertante*'sinden ve Meat Loaf'un *Bat Out of Hell*'inden etkilenip etkilenmediğini ölçmek için yapılan bir dizi deneyden söz eder.[22] (Bu tür deneyler onları gerçekleştiren biliminsanlarının müzik zevkleri hakkında bize fikir vermeleri açısından da harikalar.) İlk deneyde, Mozart veya Meat Loaf'un müziği dinletilen tohumlar sessiz ortamdaki tohumlara göre daha hızlı çimlenmişti. Bu, müziğin bitkileri etkilediğini iddia edenler için iyi, Mozart'ın müziğinin Meat Loaf'un müziğinden daha kaliteli olduğunu düşünenler için kötü bir haber gibi görünüyor.

Ama tam da bu noktada düzgün yapılmış bir deney kontrolünün önemi devreye giriyordu. Deney devam etmiş, ama bu sefer hoparlörlerden gelen sıcak havanın küçük bir pervaneyle tohumlardan uzaklaştırılması sağlanmıştı. Bu yeni deney dizisinde, sessiz ortamdaki tohumlar ile müzik dinletilen tohumlar arasında çimlenme oranı bakımından hiçbir fark gözlenmemişti. Deneyi gerçekleştiren biliminsanları, ilk deneylerde müzik çalınırken hoparlörlerin ısıyı yaydığını, bunun da çimlenme verimini artırdığı sonucuna vardılar; yani belirleyici etken *ısıydı*, Mozart'ın veya Meat Loaf'un müziği değil.

Kuşkucu bakış açımızı koruyarak Retallack'ın vardığı sonuca – rock müziğindeki güçlü davul seslerinin bitkiler (ve de insanlar) üzerinde zararlı etkileri olduğu fikrine– tekrar bir bakalım. Yüksek davul sesinin bitkiler üzerinde nasıl olumsuz bir etki bırakabileceğini açıklayan, bilimsel geçerliliği olan alternatif bir açıklama olabilir mi? Önceki bölümde de vurguladığım gibi, Janet Braam ve Frank Salisbury, bir bitkiye birkaç kez dokunulduğunda bitkinin



Mısır (*Zea mays*)

güdük kaldığını, gelişiminin durduğunu, hatta bunun bitkinin ölümüne bile yol açtığını açıkça kanıtlamışlardı. Dolayısıyla, düzgün hoparlörlerden verildiğinde, sert rock perküsyonunun güçlü ses dalgalarına neden olması, bu ses dalgalarının bitkileri titreştirmesi ve onları rüzgâra kapılmışçasına sallaması pekâlâ mümkün. Böyle bir senaryoda Zeppelin dinletilen bitkilerin daha az büyüdüğünü gözlemlemeyi beklememiz gerekir, ki Retallack'ın elde ettiği sonuç da bu yöndedir. Bitkiler rock müzikten ziyade sallanmaktan hoşlanmıyordurlar belki.

Aksi ispatlanmadığı sürece, eldeki bütün kanıtlar bitkilerin gerçekten de "sağır" olduğunu gösteriyor gibi görünüyor, ki bitkilerin insanlarda sağırlığa neden olduğu bilinen genlerin bazılarını taşıdıkları düşünüldüğünde ilginç bir durumdur bu.

Sağır Genler

2000 yılı bitki bilimleri açısından dönüm noktası olan bir yıldı. O yıl *Arabidopsis thaliana*'nın genomunun tamamı sonunda dünyanın her yerindeki biliminsanlarının erişimine açıldı; biliminsanlarının hepsi büyük bir merakla sonuçları beklemekteydi. Üniversite ve biyoteknoloji laboratuvarlarında çalışan üç yüzden fazla araştırmacı, arabidopsisin DNA'sını oluşturan yaklaşık 120 milyon nükleotidin sıralanışını saptamak için dört yıldan fazla uğraş vermişti.[23] Araştırma yaklaşık yetmiş milyon dolara mal olmuştu. (Bu proje için harcanan para ve kolektif emek günümüz şartlarında değerlendirildiğinde akıl almaz boyutlarda, zira artık teknoloji öyle seviyelere geldi ki, tek bir laboratuvarda arabidopsis genomunun haritasını bir haftadan biraz uzun bir sürede ve söz konusu maliyetin yüzde birinden az bir maliyetle çıkarmak mümkün.)

Arabidopsis, 1990'da genom haritası çıkarılmak üzere Ulusal Bilim Vakfı tarafından seçilen ilk bitkiydi. Seçilme nedeni, arabidopsisin evrimsel bir tuhaflık nedeniyle diğer bitkilere göre daha az DNA'ya sahip olmasıydı. Birçok bitki ve hayvanın sahip olduğuna

yakın sayıda (yirmi beş bin) gene sahip olmasına rağmen arabidopsis "kodlamayan DNA" adı verilen bir DNA türünden çok az içerir, bu da onun DNA dizilişinin belirlenmesini nispeten kolaylaştırır. Kodlamayan DNA'lar genomun her yerinde, genler arasında dağılmış halde, kromozomların sonunda, hatta genlerin içinde bulunur. Durumu daha açık bir şekilde şöyle anlatalım: Arabidopsisin 120 milyon nükleotidinde yirmi beş bin gen bulunurken, buğdayda aynı sayıda gen 16 milyar nükleotit içinde bulunur (insanlarda ise o minik arabidopsistekinden de az miktarda, yani yirmi iki bin gen 2,9 milyar nükleotit içinde bulunur).[24] Küçük genomu, küçük boyutları ve kısa üreme süresi nedeniyle arabidopsis yirminci yüzyılın sonlarında üzerinde en çok araştırma yapılan bitki haline geldi ve bu araştırmalar sayesinde birçok alanda önemli ilerlemeler sağlandı. Arabidopsiste bulunan yirmi beş bin genin hemen hepsi, pamuk ve patates gibi tarımda ve ekonomide önemli bir yere sahip bitkilerde de bulunur. Bu da arabidopsiste bir genin (bitkilere saldıran belli bir bakteriye karşı dayanıklı bir gen mesela) tanımlanmasının ardından bu gen üzerinde bir mühendislik çalışması gerçekleştirilerek verimli bir ürün elde edilebileceği anlamına gelir.

Arabidopsis ve insan genomlarının haritasının çıkarılması birçok ilginç bulguya yol açtı. Bunlardan biri burada ele aldığımız konuyla çok yakından alakalı: Arabidopsis genomunda, insanlardaki bazı hastalık ve engellerle ilgili birden fazla gen olduğu ortaya çıktı.[25] (Buna karşılık insan genomunda da, bitkilerin ışığa tepkilerini ayarlayan COP9 signalozom adlı gen grubu gibi, bitkilerin gelişiminde etkili olduğu bilinen birçok gen bulunur.[26]) Biliminsanları arabidopsisin DNA dizilişini ortaya çıkarırken, arabidopsis genomunun *BRCA* genlerini (kalıtsal meme kanserinde etkilidir), *CFTR* genlerini (kistik fibroza neden olur) ve duyma bozukluğunda etkili bazı genleri içerdiğini keşfetti.

Burada bir ayrım yapmak şart: Genler çoğunlukla onlarla ilişkilendirilen hastalıklara göre *adlandırılsa* da, genin varlığı o hastalığa veya bozukluğa *neden* olmaz. Hastalık, mutasyon nedeniyle o

gen işlevini düzgün biçimde yerine getiremediğinde ortaya çıkar; mutasyon da geni oluşturan nükleotitlerin dizilişinin değişikliğe uğramasıdır, ki bunun sonucunda DNA kodu bozulur. Temel insan biyolojisiyle ilgili bilgimizi tazelemek gerekirse: DNA kodumuz A, T, C ve G kısaltmalarıyla anılan dört farklı nükleotitten oluşur yalnızca. Bu nükleotitlerin belli kombinasyonları farklı proteinlerin kodunu oluşturur. Birkaç nükleotidin mutasyona uğraması veya silinmesi kodda yıkıcı değişimlere neden olur. *BRCA* genleri, mutasyona uğradıklarında veya aksadıklarında meme kanserine neden olabilen genlerdir, ama normal koşullarda hücrelerin ne zaman bölüneceklerini belirlemede kilit rol oynarlar. *BRCA* genleri işlevlerini normal biçimde sürdüremediklerinde hücreler çok fazla bölünür, bu da kansere neden olabilir. *CFTR* geni ise mutasyona uğrayıp aksadığında kistik fibroza neden olur, ama normalde hücre zarı boyunca gerçekleşen klorür iyonu naklini kontrol eder. Bu protein düzgün çalışmadığında, akciğerlerdeki (ve diğer organlardaki) klorür iyonu nakli kesilir ve kalın mukus birikimlerine neden olur, bu da klinik olarak solunum rahatsızlığı biçiminde kendini gösterir.

Bu genlerin isimlerinin *biyolojik işlevleriyle* ilgisi yoktur, isimlerini neden oldukları klinik sonuçlardan alırlar. Peki bu genler yeşil bitkilerde neler yapar? Arabidopsis genomunda *BRCA*, *CFTR* genleri ve temel hücre biyolojisinde kilit öneme sahip oldukları için insanlardaki hastalıklarla veya bozukluklarla ilişkili yüzlerce başka gen bulunur. Bu önemli genler 1,5 milyar yıl önce, bitki ve hayvanların ortak evrimsel atası olan tekhücreli organizmada evrimleşmişti. Elbette insanlardaki bu "hastalık genleri"nin arabidopsis versiyonlarındaki mutasyonlar bitkilerin işleyişlerinde de aksamalara neden olur. Örneğin arabidopsisteki kanser genlerinde meydana gelen mutasyonlar bitkinin kök hücrelerinin (evet, arabidopsisin kök hücreleri vardır) normal hücrelerden daha fazla bölünmesine neden olur ve bitkinin tamamı radyasyona karşı aşırı duyarlı hale gelir,[27] ki bu iki özellik insanlardaki kanserin de ayırt edici özelliğidir aynı zamanda.

Bu açıklama "sağır" genin ne olduğunu da ortaya koyar: mutasyona uğradığında insanlarda sağırlığa neden olan bir gen. Dünyanın çeşitli yerlerindeki laboratuvarlarda insandaki elliden fazla "sağır" gen tanımlanmıştır ve bu genlerin en az onu arabidopsiste de bulunur. Sağır genlerin arabidopsis genomunda keşfedilmiş olması arabidopsisin duyabildiği anlamına gelmez, tıpkı arabidopsiste *BRCA* geninin bulunmasının bitkilerin göğüsleri olduğu anlamına gelmeyeceği gibi. İnsandaki "sağır" genler kulağın iyi çalışması için gereken bir hücresel işleve sahiptir, bu genlerden birinde mutasyon olduğunda sonuç duyma kaybıdır.

Arabidopsisteki duyma bozukluğuyla alakalı genlerin dördü miyosin adı verilen, birbirine çok benzer proteinleri kodlar. Hücre içinde farklı protein ve organelleri kelimenin tam anlamıyla taşıyan "nanomotorlar" olarak iş gördükleri için miyosinler motor protein adıyla bilinirler.[28] İşitmede etkili olan miyosinlerden biri iç kulaktaki tüy hücrelerinin oluşumuna yardımcı olur. Bu miyosinde mutasyon olması halinde, tüy hücrelerimiz düzgün biçimde oluşturulmaz ve ses dalgalarına tepki vermez. Bitki dünyasına baktığımızda, bitkilerin kök kısımlarında tüye benzer eklentiler olduğunu görürüz; görünüşlerine uygun olarak kök tüyleri adı verilen bu oluşumlar köklerin topraktan suyu ve mineralleri emmelerine yardımcı olur. Arabidopsisin bu dört "sağır" miyosin geninden biri mutasyon geçirdiğinde kök tüyleri düzgün biçimde uzanamaz ve bitki topraktan suyu verimli biçimde ememez.[29]

Bitki ve insanlarda bulunan miyosin ve diğer genler hücresel düzeyde benzer işlevlere sahiptir. Ama hücrelerin hepsi bir aradayken, söz konusu organizma için işlev farklıdır: İnsanlar miyosine iç kulaklarındaki tüylerin daha iyi çalışması ve nihayetinde duyabilmeleri için ihtiyaç duyarken, bitkiler su emmelerini ve topraktan gıda bulmalarını sağlayan kök tüylerinin düzgün çalışması için ihtiyaç duyar.

Sağır Bitki

Ciddi ve saygın bilimsel çalışmalarda müzik sesinin bitkiler için gerçekten de etkisiz olduğu sonucuna varılmıştır. Peki ama en azından teorik açıdan, tepki vermenin bitkinin yararına olacağı sesler var mıdır? Floransa Üniversitesi'ndeki Uluslararası Bitki Nörobiyolojisi Laboratuvarı'nın yöneticisi Profesör Stefano Mancuso, son zamanlarda Toskana şarap bölgesindeki bir bağda verimi artırmak için ses dalgalarından yararlanıyor.[30] Ama ses dalgalarının tarımdaki bu kullanımının ardındaki temel biyoloji henüz bilinmiyor.

Tel Aviv Üniversitesi'nde teorik biyoloji alanında çalışmalar yapan Dr. Lilach Hadany, evrimle ilgili bir araştırmasında matematik modellerinden yararlanıyor. Hadany, bitkilerin seslere tepki verdiği, ama bu tepkileri tespit etmek için doğru deneyler yapmamız gerektiği görüşünde. Gerçekten de, genel olarak bilimde, deneysel kanıtın yokluğu olumsuz bir sonuca işaret etmez. Hadany'ye göre, bitkilerdeki belli bir süreci etkilediği bilinen doğal bir sesin kullanılacağı bir çalışma yapılması gerekir. Arı vızıldaması bu seslerden biridir. Vızıldama polinasyonu adıyla bilinen bir işlemde, balarıları kanat kaslarını kanatlarını çırpmadan yüksek bir frekansta titreştirerek çiçeği uyarır ve polenlerini salmasını sağlar. Bu titreşim duyulabilir (arı yanımızdan geçip giderken bu titreşimi vızıldama olarak duyarız), ama polen salımı titreşen arı ile çiçek arasında fiziksel bir teması gerektirir. Yani çiçekler arıların titreşimlerine, sağır insanların müziğin titreşimlerini hissedip tepki verdiği gibi, yani onları *duymadan* hissedip tepki verirler. Ama ses titreşimleri çiçekleri henüz tespit edilmemiş bir şekilde de etkiliyor olabilir.

İsviçre'deki Bern Üniversitesi'nden Roman Zweifel ile Fabienne Zeugin benzer bir araştırmada, kuraklık sırasında çam ve meşe ağaçlarının ultrasonik titreşimler yaydıklarını tespit ettiler.[31] Bu titreşimler, odun borularının su taşıyıcı damarları içindeki su miktarında meydana gelen değişimler sonucu oluşur. Fiziksel kuvvetlerin pasif

bir sonucu olsa da (tıpkı bir yardan kopup düşen kayaların çıkardığı ses gibi), bu ultrasonik sesler başka ağaçlar tarafından kuru koşullara hazırlanmak için bir sinyal olarak kullanılıyor olabilir.

Biliminsanları bitkilerin ses dalgalarına tepkilerini gerektiği gibi inceleyeceklerse, öncelikle bitkilerin işitmeye ihtiyaçlarının *olup olmadığını* anlamaları, böyle bir ihtiyaçları varsa işitme sistemlerinin hayvanlarda evrimleşmiş olan işitme sistemlerinden çok farklı olacağını göz önünde bulundurmaları gerekir. Yukarıda sıralanan örneklerin haricinde bazı bitkiler küçük organizmaların çıkardığı çok alçak sesleri işitiyor ve birçok fizyolojik araç böyle bir sistemi saptayamıyor olabilir.

Bunlar düşünmeye değer olasılıklar olsa da, aksi yöndeki güçlü verilerden yola çıkarak şimdilik bitkilerin sağır olduğu ve evrim sırasında işitme duyusu edinmedikleri sonucuna varmamız gerekir. Ünlü evrim biyoloğu Theodosius Dobzhansky şöyle yazmıştır: "Biyolojide evrimin ışığında değerlendirilmediği sürece hiçbir şeyin anlamı yoktur."[32] Bu sözden yola çıkarak, bitkilerde diğer duyuların aksine işitmeye neden ihtiyaç duyulmadığını belki anlayabiliriz.

İşitmenin insan ve diğer hayvanlardaki evrimsel avantajlarından biri, bedenin tehlike potansiyeli taşıyan durumlara karşı bireyi uyarmasıdır. İlk insan atalarımız orman boyunca onları takip eden tehlikeli bir yırtıcının çıkardığı sesleri duyabiliyordu. İyi aydınlatılmamış bir sokakta bizi takip eden birinin hafif ayak seslerini fark ederiz. Üzerimize doğru gelen bir arabanın motorunun sesini duyarız. İşitme insanların ve hayvanların kendi aralarında çabuk iletişim kurmalarını da sağlar. Filler, nesnelerin etrafından dolanarak kilometrelerce uzağa giden sesaltı (*subsonic*) sesler çıkararak birbirlerini çok uzak mesafelerden bulabilirler. Yunus sürüleri okyanusta kaybolmuş bir yavru yunusu, endişeyle çırptığı yüzgeçlerinin sesinden bulabilir, imparator penguenleri eşlerini bulmak için kendilerine özgü sesler çıkarırlar. Bütün bu durumların ortak noktası, sesin bilginin hızlıca iletilmesini ve iletilen bilgiye hızlıca yanıt veril-

mesini sağlamasıdır; hızlı yanıt çoğunlukla bir hareket biçiminde kendini gösterir: yangından veya saldırıdan kaçmak ya da aileyi bulmak gibi.

Daha önce de gördüğümüz üzere, bitkiler kökleriyle toprağa sabitlenmiş, durağan organizmalardır. Güneşe doğru büyüyüp yerçekiminin etkisiyle eğilseler de, bulundukları ortamı terk edemezler. Oradan kaçamazlar. Mevsime göre göç edemezler. Sürekli değişen bir ortam içinde çakılıdırlar. Bitkiler ayrıca hayvanlarınkinden farklı bir zaman ölçeğine sahiptir. Küstüm otu ve Venüs sinek kapanı gibi bariz örnekler hariç tutulursa, hareketleri son derece yavaştır, insan gözüyle kolayca fark edilemez. Bu nedenle de bitkilerin hızlı biçimde geri çekilmelerini sağlayacak ayrıntılı bir iletişime ihtiyaçları yoktur. Kendi dünyamız içinde alıştığımız duyulabilir hızlı sinyaller bitkileri alakadar etmez. Bitkiler amaçlı ses üretimini mümkün kılan yapılardan yoksundur ve rüzgârda yaprakların çıkardığı sesler veya ayağımızın altında kırılan dalların çatırtıları bitkilere hiçbir şey iletmez. Bitkiler yüz milyonlarca yıl yeryüzünde gelişimlerini sürdürdüler ve yaklaşık 400.000 bitki türü tek bir ses bile duymadan her habitatı işgal etti. Sağır olsalar da bitkiler, nerede olduklarının, hangi yönde büyüdüklerinin ve nasıl hareket ettiklerinin gayet farkındadırlar.

5

Bitkilerin Konumlarına Dair Bildikleri

> Halinden memnun olmayan bir ağaç görmedim hiç. Hoşlanırmış gibi kavrarlar toprağı ve sağlam kök salmış olsalar da ona, bizim kadar yolculuk ederler uzaklara. Her rüzgârda dört bir yana uzanırlar, bizim gibi gidip gelirler, her gün bizimle birlikte güneşin etrafında iki milyon mil yol alır, uzayda kim bilir kaç mil hızla ve nerelere giderler!
>
> – John Muir

SÜRGÜNLER YUKARI, kökler aşağı doğru büyür. Basit bir şey gibi görünüyor bu, ama bitkiler yukarının neresi olduğunu nasıl bilir? Bunun tamamen güneş ışığıyla alakalı olduğunu düşünebilirsiniz, ama eğer ışık bir bitkiye yukarının neresi olduğunu bildiren ana sinyalse, geceleyin yukarının neresi olduğunu nasıl bilebiliyor? Ya da henüz çimlenmekte olan bir tohumken toprağın altından bunu nasıl anlayabiliyor? Bitkinin aşağının neresi olduğunu bilmesini nemli kara toprağa dokunmasına bağlayabilirsiniz. Ama banyan ve mangrov ağaçlarının toprak üstü kökleri, topraktan metrelerce yukarıda başlamalarına rağmen yine toprağa doğru büyür.

Biliminsanları, baş aşağı yerleştirdikleri bir bitkinin, yavaş hareketlerle –yere düşmekte olan bir kedinin havada kendini toparlayıp dört ayak üstüne düşmesi gibi– kendini kökleri aşağı, sürgünleri yukarı doğru büyüyecek şekilde yeniden ayarladığını belgelemiştir.[1] Bitkiler baş aşağı olduklarını bilmekle kalmazlar; yapılan

deneylerde bitkilerin dallarının nerede olduğunu, toprağa dik mi yoksa belli bir açıyla eğik mi büyüdüklerini bildikleri kanıtlanmıştır. Sülüklerin tutunacağı en yakın desteğin nerede olduğunu bilirler. Parazit yaşamını sürdüreceği uygun bir bitki ararken havada *daireler* çizen küskütü düşünün mesela. Peki ama bir bitki uzayda nerede olduğunu tam olarak nasıl bilir? *Biz* nerede olduğumuzu nasıl biliriz?

Biz bunu altı duyumuz sayesinde biliriz; yaygın inancın aksine altıncı duyu altıncı his değildir, içalgıdır (propriyosepsiyon). İçalgımız farklı vücut bölümlerimizin birbirlerine göre nerede bulunduğunu onlara bakmadan bilmemizi sağlar. Dış kaynaklardan ışık, koku ve ses gibi sinyaller alan diğer duyularımız *dışa yönelimli* iken, içalgımız tümüyle vücudumuzun iç durumuyla ilgili bilgi verir bize. İçalgımız sayesinde yürürken kollarımızı eşgüdümlü biçimde sallayabilir, bir topu tutmak için kolumuzu topa doğru uzatabilir, sırtımızdaki kaşınan yere uzanıp o noktayı kaşıyabiliriz. İçalgı olmasaydı, diş fırçalamak gibi basit bir şeyi yapmanız mümkün olmazdı.

İçalgı, yitirene kadar üzerinde pek durmadığımız bir duyudur. Biraz sarhoş olduysanız, içalgı doğru çalışmadığında neler olduğunu deneyimlemişsinizdir. Polisler bu nedenle sarhoş olduğundan şüphelendikleri sürücülere denge testi uygular; basit fiziksel "elgöz koordinasyon" hareketlerinden oluşan bu test kimin içalgısının doğru, kiminkinin yanlış çalıştığını ortaya koyar. Ayık haldeyken, gözünüz kapalı durumda burnunuza dokunmak basit bir iştir, ama çakırkeyif olan insanlar bile bu basit testte zorlanırlar.

İçalgı diğer duyular kadar kolay anlaşılmaz, çünkü belli bir odak organı yoktur. Görme gözler, koklama burun, işitme de kulaklar aracılığıyla gerçekleşir. Tenimizin içindeki sinirler aracılığıyla algıladığımız dokunma duyusunu bile kolayca kavrayabiliriz. İçalgı ise, iç kulaktan gelen ve dengemizi sağlayan eşgüdümlü girdileri ve vücudumuzun çeşitli yerlerindeki sinirlerden gelen ve konumumuz hakkında bize bilgi veren sinyalleri içerir.

İşitme için gerekli olan iç kulak yapılarının yanında, yarımdaire kanalları adı verilen odacıklardan ve onlarla işbirliği içinde çalışarak başımızın konumunu algılamamızı sağlayan vestibülden oluşan karmaşık bir sistem yer alır. Yarımdaire kanalları birbirlerine dik açıyla konumlanmıştır; bu yapılar bir arada jiroskobu andıran bir yapı oluşturur. Bu kanalların içi sıvı doludur, başımızın konumunu değiştirdiğimizde bu sıvı hareket eder. Her bir kanalın dibinde bulunan duyu sinirleri bu sıvıdaki dalgalara tepki verir ve kanallar birbirinden ayrı üç alanda yer aldıkları için her yöndeki hareketleri iletebilirler. Vestibülün içi de sıvıyla doludur; içinde ayrıca duyu kılları ve yerçekiminin etkisiyle bu sıvının içine kelimenin tam anlamıyla batan ve duyu kıllarına fazladan bir baskı uygulayan (bu sayede onları uyaran) otolit adlı küçük kristalsi taşlar yer alır. Bu sayede dikey, yatay veya baş aşağı pozisyonda olduğumuzu biliriz. Otolitlerin vestibülün farklı bölgelerinde yer alan sinirler üzerine uyguladığı baskı, yukarı ile aşağıyı ayırt edebilmemizi sağlar. Bu işlev, eğlence parklarındaki bazı trenlerde ortadan kalkar; bu trenlerde otolitler o kadar çok çalkalanır ki, nerede olduğumuzu şaşırırız.

İç kulağımızın işleyişi dengemizi sağlamamıza yardımcı olurken, vücudumuzun her yerine dağılmış olan propriyoseptif (içalgısal) sinirlerimiz her şeyin eşgüdümlü çalışmasını sağlar ve propriyoseptif reseptörlerimiz beynimize uzuvlarımızın konumuyla ilgili bilgi verir. Bu sinirler, baskı veya acıyı algılayan dokunsal sinirlerden farklıdır ve vücudumuzun derinliklerinde, kaslarımızda, bağ dokularımızda ve tendonlarımızda yer alır. Dizdeki ön çapraz bağ (ACL kısaltmasıyla da bilinir) alt bacaktan gelen propriyoseptif girdileri ileten sinirlere sahiptir mesela. Birkaç yıl önce, oğlumun kayak pistinde meydan okumasına karşılık verdim ve ACL yırtılması yaşadım. Kazadan sonra şaşkınlıkla, yürümekte güçlük çektiğimi anladım: Kendi ayağıma takılıp duruyordum. Ayağım propriyoseptif konum sinyali gönderme becerisini kaybetmişti; zaman içinde beynim alt bacağımdaki başka sinirlerden gelen bilgileri birleştirmeye başlayınca bu beceriyi yeniden kazandı.

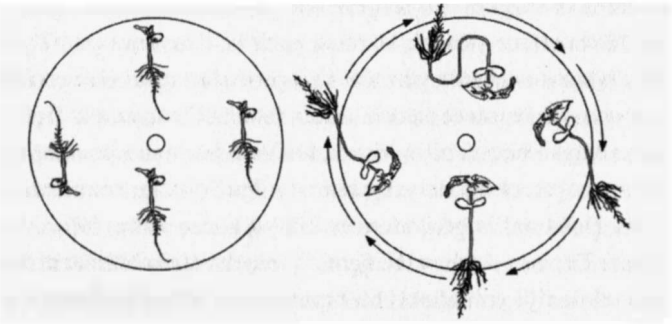
Vücudun birbiriyle alakalı iki temel fonksiyonu içalgıya bağlıdır: hareketsizken vücut bölümlerinin birbirlerine göre konumlarının farkında olmak (statik farkındalık) ve hareket halindeyken vücut bölümlerinin birbirlerine göre konumlarının farkında olmak (dinamik farkındalık). İçalgının etki alanı yalnızca denge duyumuzu değil, eşgüdümlü hareketlerimizi de kuşatır – basit bir el sallama hareketinden, sokakta yürürken gerekli olan daha karmaşık hareket ve denge uyumuna, denge aleti üzerinde perende atan bir jimnastikçinin çok karmaşık hareketlerine kadar. Bu iki vücut fonksiyonu (yani statik ve dinamik vücut konumu farkındalığı) bitkilerde de birbiriyle alakalıdır ve yıllardır birçok botanikçinin yoğun olarak ilgilendiği bir konudur.

Yukarının ve Aşağının Neresi Olduğunu Anlamak

1758 yılında –Darwin'in ufuk açıcı kitabı *The Power of Movement in Plants*'ten bir asırdan fazla bir zaman önce– Fransız donanma müfettişi ve botanik âşığı Henri-Louis Duhamel du Monceau, bir fideyi baş aşağı çevirdiğinde, kökünün aşağı doğru büyüyecek şekilde kendini yeniden konumlandırdığını, sürgününün ise eğilip bükülerek göğe doğru büyümesini sürdürdüğünü gözlemledi.[2] Köklerin yerçekiminin etkisiyle aşağı çekilir gibi aşağı doğru (pozitif gravitropizm) ve sürgünlerin yerçekimine ters yönde (negatif gravitropizm) büyümesine yönelik bu basit gözlem, dünyanın çeşitli yerlerindeki laboratuvarlarda yürütülen araştırmaları uzun süre etkileyen birçok soru ve hipoteze neden oldu. Duhamel'in konuyla ilgili yazılarını okuyan birçok biliminsanı, köklerin yönlerini yeniden ayarlamalarının gerçekten de yerçekimiyle ilgili olduğu sonucuna vardı. Ama Duhamel'in gözleminden elli yıl kadar sonra, Royal Society üyesi Thomas Andrew Knight, "[yerçekiminin bitkilerin büyümesini etkilediği yolundaki] bu hipotezin herhangi bir kanıtla desteklenmediğini" belirtti.[3] Birçok biliminsanı Duhamel'in gözlemini yerçekiminin bitkilerin büyümesini etkilediğine dair bir kanıt ola-

rak yorumlasa da, hiçbiri bu fikri test etmek için titiz bir bilimsel deney gerçekleştirmemişti; Knight ise tam da bunu yapmak için kolları sıvadı.

Knight, toprak sahibi zenginlerdendi, İngiltere'nin West Midlands bölgesinde, geniş bahçeler, meyve bahçeleri ve seralarla çevrili geniş bir arazi üzerinde bulunan bir şatoda yaşamaktaydı. Bilim alanında eğitim görmemişti ama, on dokuzuncu yüzyıl aristokratlarında sık sık görüldüğü üzere boş zamanlarında bilimsel bilgi peşinde koşuyordu, çok kısa bir süre içinde de özellikle bahçecilik konusunda uzmanlaştı ve döneminin önde gelen bitki fizyologlarından biri haline geldi. Bitkilerin yukarı ile aşağıyı nasıl ayırt ettikleri sorusuna odaklanan araştırması için Knight, yeryüzünün çekim kuvvetinin bitkinin büyümesi üzerindeki etkilerini sıfırlarken, aynı zamanda bitkinin köklerine merkezkaç kuvveti uygulayan son derece sofistike bir deney aparatı geliştirdi. Arazisinin içinden geçen bir dere üzerine bir su çarkı kurdu ve çarkın yan yüzüne ve tam merkezine, onunla birlikte dönecek şekilde tahta bir levha yerleştirdi. Sonra levhanın üzerine çeşitli pozisyonlarda fasulye fideleri yerleştirdi: Fideler kökleri çeşitli yönlere bakacak şekilde yerleştirilmişti, kimi levhanın ortasına, kimi merkezin dışına, kimi merkezden belli bir açıyla uzaklaşacak şekilde vb.



Resimde Knight'ın üzerinde fideler bulunan su çarkı, fidelerin deneyden önceki ve sonraki durumlarıyla birlikte tasvir ediliyor.

Knight, çarkın dakikada 150 dönüş gibi baş döndürücü bir hızla günlerce dönmesini sağladı. Fideler levhanın her dönüşünde bir takla atmış oluyordu. Uygulamanın sonunda Knight köklerin hepsinin çarkın merkezinin *dışına* doğru, filizlerin de merkeze doğru büyüdüğünü gördü.

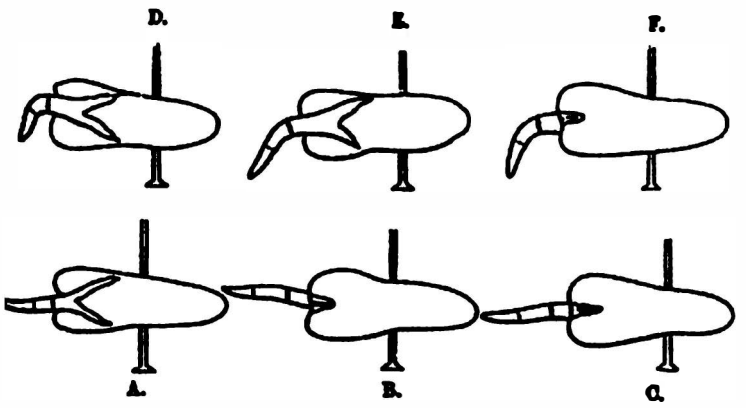
Bu derme çatma santrifüjle Knight fidelerin üzerine yerçekimini taklit eden bir kuvvet uygulamış ve köklerin her zaman bu merkezkaç kuvvetinin yönünde (filizlerin ise aksi yönde) büyüdüğünü kanıtlamıştı. Knight'ın çalışması, Duhamel'in gözlemlerini deneysel olarak doğrulayan ilk çalışmaydı. Knight, Duhamel'in gösterdiği gibi, kök ve filizlerin doğal yerçekimine tepki vermekle kalmadığını, kendi yaptığı su çarkının gücüyle çalışan santrifüjün meydana getirdiği yapay yerçekimi kuvvetine de tepki verdiğini kanıtlamıştı. Ama bu deney bitkilerin yerçekimini *nasıl* algıladığını hâlâ açıklamıyordu.

Bitkilerin yerçekimini nasıl algıladığı sorusu on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru yeniden ilgi uyandırmaya başladı. Bitki bilimindeki birçok konuda olduğu gibi bu konuda da belirleyici deneyleri Darwin ve oğlu Francis gerçekleştirdi.[4] Bitkilerin tam olarak hangi kısmının yerçekimini algıladığını belirlemek amacıyla, tam Darwin tarzında gerçekleştirilen son derece ayrıntılı ve kapsamlı bir deneydi bu. Deneyden önce, "yerçekimi reseptörleri"nin (ışıkla ilgili olan fotoreseptörlerin benzerleri) kökün ucunda yer aldığı hipotezini ileri sürdüler. Bu hipotezi test etmek için fasulye, bezelye ve salatalık bitkilerinin kök uçlarını farklı uzunluklarda kestiler ve kökleri nemli toprağın üzerine yan yatırdılar. Kökler uzamaya devam etse de, büyüme yönlerini ayarlayıp tekrar toprağa doğru bükülmemişti. Kökün ucundan 0,5 mm kesilip atılması bile bitkinin yerçekimiyle ilgili bütün hassasiyetini yok etmeye yetmişti! Baba oğul Darwinler, kök ucu kesildikten birkaç gün sonra tekrar büyüdüğünde kökün yerçekimine tepki verme yeteneğini tekrar kazandığını, eski haline geri döndüğünü ve tekrar toprağa doğru büküldüğünü de fark ettiler.

Deneyden elde edilen bu sonuç, Darwin'in fototropizm üzerine yaptığı araştırmada keşfettiği sonuçla benzerlik gösterir. Fototropizm deneyinde Darwin, bir filizin ucunun ışığı gördüğünü ve bu bilgiyi sapın orta kısmına gönderip sapın ışığa doğru eğilmesini sağladığını kanıtlamıştı. Bu deneyde de Darwin ve oğlu, bükülme kökün çok daha yukarısında gerçekleşmesine rağmen yerçekimini kök ucunun hissettiğini kanıtlamıştı. Darwin bu deneyden yola çıkarak, kök ucunun bir şekilde kökün diğer kısımlarına yerçekimi vektörüne göre büyümesini bildiren bir sinyal gönderdiği hipotezini ileri sürdü.

Darwin bu hipotezi test etmek için bir fasulye fidesini yan yatırdı ve bir çiviyle toprağın üzerine sabitledi, ama bu sefer doksan dakika bekledikten sonra kök ucunu kesti (normal bir bitki yere yan yatırıldığında, köklerin yeniden toprağa yönelmesi genellikle birkaç saat alır). Kökün "uçsuz" olmasına rağmen yere doğru büküldüğünü gördü. Bunun üzerine, ucu kesilmeden önceki doksan dakika boyunca fasulye bitkisinin, köküne, bitkinin bükülmesini bildiren talimatlar gönderdiğini düşündü. Darwin ve oğlu, altı farklı bitki türüyle gerçekleştirdikleri benzer deneylerde aynı sonuçlara ulaştılar. Bu deneylerden bazılarında kök ucunu kesmek yerine onu gümüş nitratla yaktılar. Darwin ve oğlu, kök ucunun yerçekimini hemen algıladığı ve bu bilgiyi bitkiye aktararak ona büyüme için hangi yönün en uygun olduğunu bildirdiği sonucuna vardılar.

Bir bitkinin yukarı ile aşağıyı nasıl anladığına dair bilgimiz on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllar arasında büyük bir hızla arttı. Önce Duhamel fidelerin köklerin aşağıya, sürgünlerin yukarıya doğru büyüyecek şekilde yönlerini yeniden ayarladıklarını ortaya koymuş, sonra Knight bu "yukarı-aşağı" doğru büyümenin nedeninin yerçekimi olduğunu göstermiş, sonra da Darwinler yerçekimini algılayan mekanizmanın kök uçlarında olduğunu kanıtlamıştı. Çağdaş moleküler genetik çalışmalarının Darwin'in elde ettiği sonuçları doğrulaması, kökün en ucundaki (kök başlığı adı verilen bölgedeki) hücrelerin yerçekimini algıladığını ve aşağının neresi olduğu-



Darwin fasulye (*Vicia faba*) fidelerini çiviyle tutturarak yan yatırdı ve onları bu şekilde yirmi üç saat, otuz dakika bekletti. A, B ve C'de kök uçlarını (kesip çıkarmak yerine) gümüş nitratla dağladı. D, E ve F'dekiler hiçbir müdahalede bulunulmamış köklerdir.

nu anlamasında bitkiye yardımcı olduğunu kanıtlaması için bir asırdan fazla bir zaman geçmesi gerekti.[5]

Nasıl ki bir bitkinin topraktan aşağı doğru büyümesi için kök uçlarının sağlam olması gerekiyorsa, gökyüzüne doğru büyümesi için de sürgün uçlarının gerekli olduğunu düşünebilirsiniz (tıpkı Darwin gibi). Ne de olsa Darwin bir bitkinin tepe kısmının kesilmesinin yandan gelen ışığı görme ve ona doğru eğilme yeteneğini yitirmesine neden olduğunu kanıtlamıştı. Ama şaşırtıcı bir şekilde, sürgününün ucu kesilmiş bir bitki yukarı doğru büyümesini sürdürür, yani negatif gravitroprizm yeteneğini korur. Kök ile sürgünün yerçekimini farklı biçimlerde algıladığı anlamına mı gelir bu?

Bugün bitkilerin yerçekimini algılayış biçimleriyle ilgili bildiklerimizin çoğu, herkesin en sevdiği laboratuvar bitkisi olan arabidopsisin kullanıldığı araştırmalardan geliyor. Maarten Koornneef ile meslektaşlarının farklı fotoreseptörleri çalışmayan "kör" bitkileri izole ettikleri gibi (birinci bölümde görmüştük), birçok biliminsanı da yukarı ile aşağıyı ayırt edemeyen mutant arabidopsis bitki-

lerini izole etti.[6] Yöntemleri basitti: Bir hafta boyunca binlerce mutant arabidopsis fidesi yetiştiriyor, sonra da saksılarını doksan derece çeviriyorlardı. Fidelerin hemen hepsi yönlerini yeniden ayarlıyor ve sürgünleri yukarı, kökleri ise aşağı doğru büyümesini sürdürüyordu. Ama içlerindeki yerçekimini algılamayan az sayıda mutant bitki, önceki yönde büyümesini sürdürüyordu.[7]

Bu mutant bitkilerin sürgünlerinde olduğu kadar köklerinde de kusur vardır ve aşağı ile yukarıyı anlama yeteneklerini yitirmişlerdir. Ama başka mutant arabidopsislerde yalnızca kök veya sürgün etkilenir, bu da kök ile sürgünün yerçekimini farklı şekillerde algıladığına işaret eder. Örneğin, *korkuluk* olarak adlandırılan geni mutasyon geçirmiş olan bir arabidopsisin sürgünleri, bitkinin yan yatırıldığını fark etmez,[8] yani bu mutant bitki yan durur (sürgünlerinin negatif gravitropizmi kusurludur).[9] Ama ilginç bir şekilde bu mutantın kökleri aşağı doğru nasıl büyüyeceğini bilir (kökleri pozitif gravitropizm yeteneğini korumuştur). *Shidare-asagao* ("ağlamak" anlamına gelir) adlı bir Japon gündüzsefası kültivarının yukarı ile aşağıyı bilmeyen sürgünleri vardır; asılı saksılarda sergilenen gözalıcı bir süs bitkisi olmanın yanı sıra, biliminsanlarına gravitropizm konusunda çalışma olanağı sağlayan önemli bir mutanttır aynı zamanda. Bu bitkinin sap ve yaprak kısımlarının farklı yönlerde büyümesine neden olan şey nedir? Yakın zamanlarda yapılan genetik çalışmalar *Shidare-asagao*'nun *korkuluk* geninde bir mutasyon olduğunu ortaya koydu.[10] Bu da şu soruyu gündeme getirdi: Bu mutantlar, yerçekiminin algılanmasında bitkinin toprağın üstünde kalan kısmında farklı, altında kalan kısmında farklı bir mekanizmanın rol oynadığını kesin bir biçimde kanıtlar mı?

Aslında bu mutant bize kök ve saplarda yerçekimini algılayan farklı *mekanizmalar* olduğunu değil, mekanizmanın *yerinin* farklı olduğunu söyler (bunu Darwin'in çalışmalarından zaten biliyoruz). Phil Benfey'nin New York Üniversitesi'ndeki laboratuvarında çalışan biliminsanları *korkuluk* mutantını bitki sapının hangi bölümünün yerçekimini algıladığını belirlemede kullandı. Bu biliminsan-



Gündüzsefası (*Pharbitis nil*)

ları, yirmi birinci yüzyılın başlarında, *korkuluk* geninin bitkinin damar dokularının etrafını saran endodermis adlı hücrelerin oluşumunda gerekli bir gen olduğunu keşfetti.[11] Endodermis kökte, bitkinin yeşil kısımlarına taşınmak üzere odun borularının içine hangi maddelerin (su, mineral ve iyon gibi) ne miktarda gireceğini ayarlayan seçici bir bariyer görevi görür. Mutasyona uğramış *korkuluk* geni taşıyan bitkilerin endodermisi yoktur. Bu durum köklerin kısa ve zayıf olmasına neden olsa da, kökler aşağı doğru nasıl büyüyeceklerini bilir. Bunu bilirler çünkü kökün ucundaki yerçekimi sensörlerinde endodermis hücreleri yoktur. *Korkuluk* mutantının kök ucu normaldir, dolayısıyla aşağının neresi olduğunu bilir.

Ama sürgünlerin endodermisi yoksa yukarının neresi olduğunu bilemezler ve bu da bitkinin yön duygusu için kök ucunun kesilmesi kadar zararlıdır. Başka bir deyişle, bitkinin toprağın altında ve üstünde kalan kısımlarında iki farklı bitki dokusu yerçekimini algı-

lar. Köklerde bu kısım kök ucu, sapta ise endodermistir. Yani bizim "yerçekimi reseptörlerimiz" yalnızca iç kulağımızdayken, bitkilerinki kök uçlarında ve saplarında birçok yerdedir.

Peki kök ucu ve endodermisteki bu özgül hücre grupları yerçekimini nasıl algılar? Bu soruya ilk cevap, mikroskop yardımıyla kök başlığının içindeki muazzam hücreiçi yapıların incelendiği araştırmalardan geldi. Kök başlığının orta bölgesindeki hücrelerin içinde statolit adı verilen (ismini Yunanca "sabit taş" anlamına gelen ifadeden alır) yoğun, topa benzer yapılar bulunur; bunlar –kulağımızın içindeki otolitler gibi– hücrenin diğer kısımlarından daha ağırdır ve kök başlığındaki hücrelerin alt kısmına düşer.[12] Bir kök yan yatırıldığında statolitler, içi misket dolu bir kap yan yattığında içindeki misketlerin de onunla birlikte yan tarafa yuvarlanması misali, hücrenin yan kısmına düşer ve burası bitkinin alt kısmı haline gelir. Statolitlerin yerçekimine gösterdiği tepkiler biliminsanlarının onların yerçekimi reseptörü olduğunu düşünmesine neden olmuştur.

Statolitler bitkinin yerçekimi reseptörleri ise, o zaman statolitlerin yer değiştirmesi, bitkinin yerçekiminden etkileniyormuş gibi davranıp büyüme yönünü buna göre değiştirmesi için yeterli olmalıdır. Biliminsanlarının bu meseleyle ilgili deneyler gerçekleştirmeleri, ancak moleküler genetiğin, daha da ilginci uzay uçuşlarının (birazdan bu konuya geleceğim) ortaya çıkışıyla birlikte mümkün olmuştur.

John Kiss ve Ohio'daki Miami Üniversitesi'nden meslektaşları son yirmi yıldır, bitkilerde yerçekimini algılayan şeylerin gerçekten de statolitler olup olmadığını belirlemek için bilimdeki en havalı oyuncakları kullanıyor. Kiss, yerçekimini taklit eden yüksek gradyanlı bir manyetik alan kullanarak statolitlerin bitkiler yan çevrilmişçesine yana doğru hareket etmelerini sağladı.[13] Statolitler yana doğru hareket edince kökler de onların gittiği yöne doğru bükülmeye başladı: Statolitler sağa doğru hareket edince kökler sağa, sola doğru hareket edince de sola doğru büküldü. Bu sonuçlar, statolitlerin konumunun bitkiye aşağının neresi olduğunu söylediği fikrini

gerçekten destekliyordu. Bu sonuçlardan yola çıkarak Kiss, yerçekiminin yokluğunda statolitlerin hücrenin alt kısmına düşmeyecekleri için bitkilerin aşağının neresi olduğunu bilemeyecekleri öngörüsünde de bulundu. Elbette böyle bir hipotezi test etmek için Kiss' in dünyanın yörüngesinde dönen bir uzay aracındaki gibi yerçekimsiz ortamlara ihtiyacı vardı.

Uzay mekiğinin içinde, bitkilerin yerçekiminin etkilerini hissetmeyecekleri aşikâr olan bu ortamda doğal olarak statolitler aşağı düşemez ve hücrenin her yerine dağılmış halde durur. Nitekim bu ağırlıksız ortamda Kiss, uzayda olan bitkilerde gravitropik bükülme tespit edemedi.[14] Bu çalışmalar bitkilerin yaptıkları hareketleri neden yaptıklarına dair çarpıcı bir ipucu ortaya çıkardı: Bir bitkinin yerçekimini algılaması için statolitlere ihtiyacı vardır, tıpkı bizim denge reseptörlerimizin uyarılması için otolitlere ihtiyacımız olduğu gibi.

Hareket Hormonu

Ters çevrilmiş bir fasulyenin köklerinin yerçekimine tepki vermesi, pencerede duran bir lalenin güneşe doğru dönmesi ve bir küsküt otunun yakınındaki domatese dolanması benzer hareketlerdir: Bitkiler ortamlarında bir değişiklik (yerçekimi, ışık veya koku) algılar ve bu uyaran karşılığında eğilirler. Uyaranlar çeşitlidir, ama verilen tepkiler benzerdir – belli bir yöne doğru büyüme. Bitkinin yerçekimini (ışığı ve kokuları) nasıl algıladığı konusu üzerinde epeyce durduk, ama bu duyusal bilginin bitkiye büyümesini ve eğilmesini nasıl söylediğini incelemedik. Şimdi ilk bölümde bahsettiğimiz, Darwin'in fototropizmle ilgili deneylerini yeniden inceleyelim. Darwin, çimlenmiş otun tepesinin ışığı "gördüğünü" ve bu bilgiyi orta bölümüne gönderdiğini, orta bölümünün de bu bilgiyi aldığında ışığa doğru eğildiğini kanıtlamıştı. Bu, kök ucunun yerçekimini "hissetmesi", sonra da bu bilgiyi köke gönderip bitkinin aşağı doğru büyümesini sağlaması veya küsküt otunun domatesin kokusunu alıp ona doğru eğilmesiyle benzerdir.

Yirminci yüzyılın başlarında, Danimarkalı bitki fizyoloğu Peter Boysen-Jensen, Darwin'in fototropizm deneylerini geliştirerek sürdürdü.[15] Darwin gibi o da çimlenmiş yulaflarının uçlarını kesip aldı, fakat uçları kesilen yerlere geri koymadan önce alışılmamış ama son derece zekice sayılabilecek bir şey yaptı. Bitkinin gövdesi ile çıkan uç arasına ya ince bir jelatin tabaka ya da ince bir cam parçası yerleştirdi. Bu bitkileri yandan aydınlattığında, jelatin tabakası olanın ışığa doğru eğildiğini, cam parçası olanın ise düz kaldığını gördü. Buradan yola çıkarak Boysen-Jensen, bitkinin ucundan gelen eğilme sinyalinin çözünebilir olması gerektiği sonucuna vardı, çünkü jelatinden geçebiliyor ama camdan geçemiyordu. Yine de Boysen-Jensen bitkinin ucundan sapına uzanan ve bitkinin eğilmesini sağlayan kimyasalın ne olduğunu bilmiyordu.



Yulaf (*Avena sativa*)

1930'ların başında biliminsanları, bitkinin ucundan gelip jelatinden geçerek gövdeye ulaşan, büyümeyi destekleyici kimyasalı tanımladılar ve ona Yunanca "büyüme" anlamına gelen sözcükten türeme bir isim olan oksin adını verdiler. Bitkilerde farklı birçok hormon bulunsa da, bunların hiçbiri oksin kadar yaygın değildir, yani onun kadar çok işlem ve fonksiyona dahil olmaz. Hücrelere uzunluklarını artırmalarını bildirmek bu fonksiyonlardan biridir. Işık oksinin karanlık kısımda birikmesine neden olur, bu da bitki sapının yalnızca karanlık kısımda uzaması sonucunu doğurur, böylece sap ışığa doğru eğilmiş olur. Yerçekimi oksinin köklerin "üst kısmında" toplanmasına neden olur, böylece kökler aşağı doğru büyür; sapın ve yapraklarınsa "alt kısmında" toplanmasına neden olur, böylece sap ve yapraklar yukarı doğru büyür. Farklı uyarılar bitkinin farklı duyularını harekete geçirirken, bitkinin birçok duyu sisteminin yolu hareket hormonu olan oksinde kesişir.

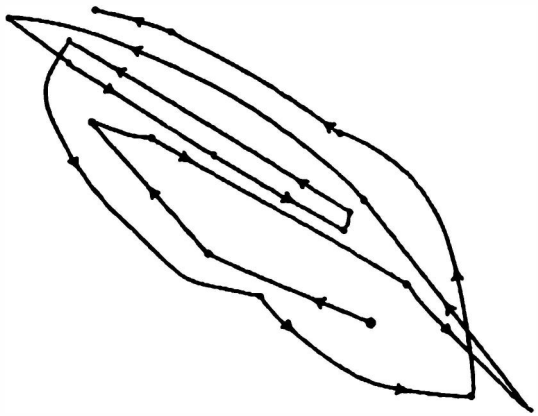
Dans Eden Bitkiler

Bu bölümde daha önce de ifade edildiği gibi, içalgı yukarı ile aşağıyı bilmekten fazlasıdır; içalgı yürürken vücut öğelerinizin nerede olduğunu bilmektir aynı zamanda. Mihail Barışnikov sahnenin bir ucundan öbür ucuna doğru sıçrayıp arabesk pozisyonda yere inerken vücudunu mükemmel biçimde dengelemekle kalmaz, aynı zamanda vücudunun her bölümünün hangi pozisyonda olduğunun son derece farkındadır. Bacağının arkaya doğru ne kadar uzandığının, elinin omzundan ne kadar yukarıda olduğunun, üst gövdesinin yere hangi açıyla eğim oluşturduğunun farkındadır. Bitkileri sabit canlılar olarak kabul etmemiz şaşırtıcı değil elbette; bitkiler toprağa kök salmış, hareket edemeyen durağan organizmalardır. Ama onları uzun bir süre sabırla gözlemlediğimizde, bu sabitlik yerini bir bale oyununun ilk sahnesinde canlanıveren Barışnikov'unkini andıran, titiz bir koreografiye sahip bir hareket şenliğine bırakır.

Yapraklar kıvrılıp açılır, çiçekler açılır ve kapanır, saplar daireler çizer ve eğilip bükülür.

Bu hareketler en iyi, hızlandırılmış çekim tekniğinin kullanıldığı fotoğraflarda görülür; hatta hızlandırılmış çekim tekniğinin ilk kullanımlarından biri tam da bu amaca hizmet ediyordu. Darwin'in arkadaşı Julius von Sachs'la aynı dönemde okuyan Profesör Wilhelm Pfeffer, laleden küstüm otuna ve baklaya kadar birçok bitkinin hareketini kaydetmiştir. Görüntü kalitesi kötü de olsa çektiği filmler büyüleyicidir.[16] Öte yandan, hızlı çekim teknikli fotoğrafçılığın ortaya çıkmasından yıllar önce, inatçı ve azimli Darwin bitkilerin hareketlerini çok zaman gerektiren, eski tarz bir yöntemle incelemişti: Bitkinin üstüne bir cam levha asıyor ve bitkinin uç kısmının konumunu birkaç saat boyunca, her birkaç dakikada bir bu cam levha üzerine noktalar halinde işaretliyordu. Sonra bu noktaları birleştirerek bitkinin hareketlerinin tam haritasını çıkartmış oluyordu. (Uykusuzluk hastalığından muzdarip olan Darwin, birçok gecesini bu şekilde kaydını tuttuğu üç yüzden fazla bitki türünü titizlikle gözlemlemeye vakfetmiş olmalı; hareketlerini kaydettiği bu bitkilerden biri olan süs lahanasının hareket şeması yan tarafta gösterilmiştir.)

Darwin bütün bitkilerin tekrar eden sarmal bir salınım içinde hareket ettiğini keşfetti ve bu harekete "sirkumnutasyon" (Latincede "daire" veya "salınmak" anlamına gelen bir sözcük) adını verdi.[17] Türden türe değişen bu sarmal hareket örüntüsü tekrar eden dairesel hareketlerden eliptik hareketlere ve spirograf desenleri gibi iç içe geçmiş şekiller oluşturan yörüngeler izleyen hareketlere kadar çeşitlilik gösterir. Bazı bitkilerin hareket çapları şaşırtıcı büyüklüktedir; örneğin fasulye filizi on santim çapında daireler çizer. Bazılarının hareketleriyse –çilek dallarınınkiler gibi– milimetriktir. Bir başka değişken de hızdır; lalelerin sirkumnutasyonu sabit denebilecek bir hızdayken (bir salınım dört saat kadar sürer), diğer bazı bitkilerin sirkumnutasyon hızı birbirinden çok farklıdır: Arabidopsis saplarının bir daire çizme süresi on beş dakika ile yirmi dört



Darwin'in kaydettiği süs lahanası (*Brassica oleracea*) filizinin tepesinin on saat kırk beş dakika süre içinde yaptığı hareketlerin izi.

saat arasında değişirken, buğday her dönüşünü genellikle iki saatte tamamlar. Hareketlerin neden böyle kendine özgü olduğunu bilmiyoruz ama çevresel ve içsel faktörlerin hareketin hızını etkileyebildiğini biliyoruz. Polonyalı biliminsanı Maria Stolarz, bir ayçiçeği yaprağını küçük bir alevle üç saniye kadar yaktığında, bitkinin dönüş süresinin –bir devir için– neredeyse iki katına çıktığını gözlemledi.[18] Ayçiçeği daha sonra tekrar eski hızına geri dönmüştü.

Darwin bu hareketlere hayran kaldı ve sirkumnutasyonun bitkilerin hepsinin davranışının doğal bir parçası olmakla kalmadığı, bu sarmal salınım danslarının bütün bitki hareketlerinin itici gücü olduğu sonucuna vardı. Fototropizm ile gravitroprizmin belli bir yönü hedefleyen sirkumnutasyonlar olduğunu ileri sürdü. Onun bu hipotezleri seksen yıl kadar çürütülemedi, sonunda Lund Teknoloji Enstitüsü'nden Donald Israelsson ve Anders Johnsson bitkilerin salınım hareketlerinin gravitropizmin *nedeni* değil *sonucu* olduğu hipotezini ileri sürdü.[19] Bir bitki büyürken sapının konumunda (rüzgâr, ışık veya fiziksel bir engel nedeniyle) meydana gelen küçük bir değişikliğin statolitlerin yerinin değişmesine neden olduğu, bunun



Ayçiçeği (*Helianthus annuus*)

da dış faktörlerin onu sağa sola çekiştirmesine rağmen sapın yukarı doğru bükülmesine yol açtığı düşüncesindeydiler.

Ne var ki bu bükülme hareketi çoğu zaman hedefini tutturamaz. Bir bitki sapı dikey konumunu yeniden ayarlarken hacıyatmaz gibi davranır ve ilk önce tam tersi yönde bükülür. Sap bu haliyle düz olmadığı ve diğer yöne yöneldiği için statolitler bir kez daha dağılarak bitkinin karşı tarafına doğru bir gravitropik tepkiye neden olur. Sap bu doğrulma çabasında da hedefini tutturamaz ve döngü tekrar ederek Darwin'in lahana ve yonca için kaydettiği, ayrıca lale ve salatalıklarda da gördüğümüz o klasik salınım hareketine neden olur. Bitki sapı tıpkı daireler çizerek bir öne bir arkaya sallanan ve merkezini bulmaya çalışan hacıyatmazlar gibi davranır ve havada daireler çizerek dengesini tutturmaya çalışır.

Darwin bu dansın bütün bitkilerde yerleşik bir hareket olduğunu ileri sürerken, Israelsson ile Johnsson bitkilerin dairesel danslarının gücünü yerçekiminden aldığına inanmaktaydı. Yirminci yüzyılın sonlarında uzay uçuşlarının ortaya çıkışıyla birlikte bu iki rakip teori nihayet teste tabi tutulabildi. Darwin'in teorisi doğruysa, yerçekiminin yokluğunda sirkumnutasyonların hiç sekteye uğrama-

dan devam etmesi; Israelsson ile Johnsson'un statolit merkezli modeli doğruysa, uzayda bitkilerde sirkumnutasyon görülmemesi gerekiyordu.

Uzay programının henüz emekleme döneminde olduğu 1960' larda, tanınmış ve saygın bitki fizyologlarından Allan H. Brown Biosatellite III programı dahilinde arabidopsisle uzayda gerçekleştirilecek ilk deneylerden birini tasarladı. Brown bu deneyle yerçekimsiz ortamda bitki hareketlerinin devam edip etmeyeceğini ortaya koymak amacındaydı.[20] Program bütçe kesintileri nedeniyle iptal edilince Brown 1983'e kadar beklemek zorunda kaldı.[21] Brown' ın bitkiler üzerinde yaptığı deneyler uzay mekiğinde gerçekleştirilen ilk deneylerdendi. *Columbia* adlı uzay mekiğindeki astronotlar, yörüngeye girdikten sonra ayçiçeği filizlerini gözlemleyip elde ettikleri verileri dünyadaki biliminsanlarına iletmeye başladılar. Ayçiçeği filizleri yeryüzünde güçlü hareketler sergilediklerinden, uzayda bu hareketlerin nasıl bir seyir izleyeceği konusunda araştırma yapılmak üzere uzay mekiğiyle gönderilecek en ideal bitkilerdi.[22] *Columbia*'da, dünyadan kilometrelerce yukarıda, filizlerin neredeyse yüzde yüzü dönüşsel (rotasyonel) büyüme örüntüleri sergiledi; ayçiçeği filizleri yerçekiminin yok denecek kadar az olduğu bir ortamda bile dönüş hareketlerini yeryüzündeki gibi sürdürdü. Bu durum Darwin'in teorisini güçlü bir biçimde destekliyordu.

Yine de ikinci hipoteze, yani sarmal hareketin yerçekimiyle yakından ilişkili olduğu hipotezine bir bakalım. Birkaç yıl önce Hideyuki Takahaşi ile Japon Uzay Araştırmaları Dairesi'ndeki meslektaşları, sürgününde yerçekimini algılayan bir endodermisi olmayan bir gündüzsefası mutantında sirkumnutasyon olayını gözlemlediler.[23] Yerçekimine tepki vermeyen bu bitki aynı zamanda normal bir gündüzsefası gibi sarmal hareketler yapmıyordu. Statolitleri küçük veya kusurlu arabidopsis mutantları da sarmal hareketler yapmıyordu. Bu sonuçlar Darwin'i mutlu etmezdi, zira sirkumnutasyon ile gravitropizmin yakından ilişkili olduğu fikrini destekliyordu. (Elbette Darwin buradaki bilimsel yöntemi takdir ederdi; hipotezini de-

ğiştirir ve yeni hipotezini test etmek için yeni deneyler geliştirirdi.)

Takahaşi, elde ettiği sonuçlarla *Columbia*'da elde edilen sonuçlar arasındaki çelişkileri şöyle açıkladı: Uzay mekiğindeki deneyler yeryüzünde *çimlendirilmiş* tohumlarla yapılmıştı, ki bu durum uzayda sirkumnutasyonun sürdürülmesi için yeterli bir ortam oluşturmuş olabilirdi. Yeryüzünde yetişmiş bir tohumun uzayda yetişmiş bir tohumdan farklı özelliklere sahip olması mantıklı bir durum gerçekten de; bu doğruysa, *Columbia*'da gerçekleştirilen deneylerin zaman sınırı (on gün kadardı) deneylerin sonucunu etkilemiş olabilir.

2000 yılında faaliyete geçen Uluslararası Uzay İstasyonu, birkaç yıl sonra bitkilerde yerçekiminin etkilerinin inceleneceği uzun vadeli deneyler için bir tesis ayırdı. 2007'de Norveçli meslektaşlarıyla birlikte uzay istasyonunda aylar süren önemli bir deney gerçekleştiren Anders Johnsson, kırk yıl kadar önce ileri sürdüğü hipotezin doğruluğunu nihayet test etme imkânı yakalamıştı.[24] Deneyde uzay istasyonunda çimlendirilen ve uzayda kullanılacak şekilde tasarlanmış özel bir odada yetiştirilen arabidopsis bitkileri kullandılar. Kesin konumlarını izlemek ve herhangi bir hareket olup olmadığını tespit etmek üzere bitkiler birkaç dakikada bir otomatik olarak fotoğraflanmaktaydı. Uzay istasyonunun ağırlıksız denilebilecek koşullarında arabidopsis bitkilerinin sarmal hareket örüntüleri sergiledikleri saptandı; ama bunlar çok küçük hareketlerdi, Darwin'in öngördüğü tarzdaydı ve Brown'ın gözlemlerini doğrulamaktaydı. Fakat bu dairesel hareketlerin yarıçapları ve hızları yeryüzünde tespit edilenlerden düşüktü, bu da bitkiye içkin olan bu hareketin daha belirgin olması için yerçekiminin gerekli olduğuna işaret ediyordu.

Bu ağırlıksız bitkiler yerçekimini taklit eden geniş bir santrifüj üzerine yerleştirildi, tıpkı Knight'ın yıllar yıllar önce yaptığı gibi. Santrifüj dönerken bitkiler bir kamerayla sürekli izlenebilmekteydi. Bitkiler yerçekimine eşdeğer bir kuvvet hissettikten kısa bir süre sonra daha aşırı dairesel hareketler yapmaya başladılar. Bitkilerin

hareketlerinin hem boyutu hem de hızı, yeryüzünde yetiştirilen arabidopsislerde tespit edilenlere benzerdi. Buradan yerçekiminin bu hareketler için gerekli olmadığı, ama bitkilerin içsel hareketlerini düzenlediği ve güçlerini artırdığı sonucu ortaya çıktı. Darwin haklıydı: Bildiğimiz kadarıyla sirkumnutasyon bitkilerin doğasında olan bir davranıştır, ama bu davranışın tam olarak ifade edilmesi için yerçekimine ihtiyaç vardır.[25]

Dengeli Bitki

Bir bitki aynı anda birçok yöne çekiştirilebilir. Üzerine belli bir açıyla vuran güneş ışığı bitkinin ışınlara doğru bükülmesine neden olur, bu arada bitkinin eğilen dalları içindeki statolitler ona dikleşmesini söyler. Çoğunlukla birbiriyle çelişen bu sinyaller bir bitkinin içinde bulunduğu ortam için optimal olan bir pozisyona geçmesini sağlar. Tutunacak bir yer arayan sülükler komşu çitin gölgeliğini cazip bulur ve yerçekiminin etkisiyle ona hızla sarılmaya başlar. Pencere eşiğindeki bir bitki ışıktan etkilenip tek yönde, pencere eşiğinin güneşli kısmına doğru büyürken, yerçekimi kuvveti de onu yukarı doğru büyümeye teşvik eder. Domatesin kokusu küsküt otunu kokunun geldiği yöne çekerken, gravitroprizm onu yukarı doğru büyümeye zorlar. Newton fiziğinde olduğu gibi, bitkinin herhangi bir kısmının pozisyonu onu etkileyen kuvvet vektörlerinin toplamı olarak tarif edilebilir; bu kuvvetler bitkiye hem nerede olduğunu hem de hangi yönde büyümesi gerektiğini bildirir.

İnsanlarla bitkiler yerçekimine benzer biçimlerde tepki verir; konum ve denge bilgisi konusunda ikisi de alıcılarına muhtaçtır. Ama insanlar hareket ederken uzuvlarının birbirlerine göre nerede olduğunun farkında olmakla kalmaz, aynı zamanda hareketi de hatırlar ve bu sayede aynı hareketi defalarca tekrarlayabilirler. Acaba bitkiler de geçmişteki hareketlerini hatırlayabilir mi?

6

Bitkilerin Hatırladıkları

> Meşelerle çamlar ve ormandaki kardeşleri öyle çok gündoğumu ve günbatımı görmüş, mevsimlerin gelip geçişine ve nesillerin yok oluşuna şahit olmuştur ki, anlatacak dilleri veya onları anlayacak keskinlikte kulaklarımız olsa ne hikâyeler anlatırlardı bize kim bilir diye merak etmeden duramayız.
>
> – Maud van Buren
> *Quotations for Special Occasions*

ANILAR ortalama bir insanın günlük zihin faaliyetlerinin hatırı sayılır bir kısmını oluşturur çoğunlukla. Son derece lezzetli bir ziyafeti, çocukken oynadığımız oyunları veya bir gün önce işyerinde meydana gelen komik bir olayı hatırlarız. Bir zamanlar sahilde gördüğümüz nefes kesici bir günbatımını zihnimizde canlandırabiliriz, ama son derece travmatik ve ürkütücü deneyimleri de hatırlarız. Belleğimiz duyusal girdilere bağlıdır: Tanıdık bir koku veya sevilen bir şarkı, bizi belli bir zaman ve mekâna geri götüren ayrıntılarla dolu bir anılar çağlayanını tetikleyebilir.

Daha önce de gördüğümüz gibi, bitkiler de zengin ve çeşitli duyusal girdilerden yararlanabilir. Ama bitkilerin bizimki gibi anıları yoktur: Kuraklık fikrinden korkup sinmezler veya yaz mevsimindeki güneş ışınlarını hayal etmezler. Tohum zarfı içinde oldukları zamanları özlemezler, vaktinden önce polen dökecekleri endişesi taşımazlar. Yaşlı ağaçlar *Pocahontas*'taki söğüt gibi gölgelerinde

uyuyan insanların geçmişlerini hatırlamaz. Ama önceki bölümlerde gördüğümüz üzere, bitkiler geçmiş olayları unutmama ve bu bilgiyi daha ileriki bir dönemde gelişimlerinde kullanmak üzere hatırlama yeteneğine sahiptirler: Tütün bitkileri gördükleri son ışığın rengini bilir; söğüt ağaçları, komşuları tırtıl saldırısına uğradığında bunu anlar. Bu örnekler ve buna benzer birçok başka örneğin her biri daha önce yaşanmış bir olaya gecikmiş bir tepki örneğidir, ki bu özellik belleğin kilit unsurlarından biridir.

"Tigmomorfogenez" teriminin isim babası olan biliminsanı Mark Jaffe, 1971'de bitki belleğiyle ilgili ilk belgelerden birini yayımladı[1]; gerçi o bunu bellek olarak adlandırmıyor, alımlanan duyusal bilginin bir ila iki saat tutulmasından söz ediyordu. Jaffe, sarılmaya uygun bir nesneye dokununca bezelye sülüklerinin neden kıvrıldığını öğrenmek istiyordu. Bezelye sülükleri, yakınlarında destek olarak yararlanacakları bir çit veya sırık olmadığı sürece düz biçimde büyüyen sapa benzer yapılardır, ama böyle bir nesneye rastlarlarsa ona hemen tutunup sarılırlar.

Jaffe, bezelye bitkisinin sülüğünü kesip iyi ışıklandırılmış, nemli bir ortama koyduğunda ve alt kısmına parmak ucunu sürttüğünde sülüğün kıvrıldığını kanıtladı. Ama aynı deneyi karanlık bir ortamda gerçekleştirdiğinde kesilmiş sülük kıvrılmamıştı, ki bu da sülüklerin o sihirli kıvrılma hareketlerini yapabilmeleri için ışığa ihtiyaçları olduğunu gösteriyordu. Ama şöyle de ilginç bir ayrıntı vardı: Karanlıkta dokunulmuş bir sülük bir-iki saat sonra ışıklı bir ortama taşındığında, Jaffe'nin tekrar parmağını sürtmesine gerek kalmadan, kendiğinden kıvrılıyordu. Jaffe, karanlıkta dokunulan sülüğün bu bilgiyi bir şekilde depoladığını ve ışıklı ortama taşınır taşınmaz bunu hatırladığını fark etti. Bu bilgiyi depolama, sonrasında da onu hatırlama işlemi "bellek" kabul edilebilir mi?

Ünlü psikolog Endel Tulving'in insan belleğiyle ilgili araştırması, bitkilerin ve onlara özgü "hatırlamaların" nasıl araştırılması gerektiğine dair temel bilgiler sunar bize. Tulving, insan belleğinin üç seviyeli olduğunu ileri sürer.[2] En alt seviyede yer alan yöntemsel

bellek, bir şeylerin nasıl yapılacağının sözsüz düzeyde hatırlanmasıdır ve dış uyaranları algılama yeteneğine (havuza atladığınızda yüzmeyi hatırlamak gibi) bağlıdır. İkinci seviyede anlamsal (semantik) bellek, yani kavramlar belleği (okulda öğrendiğimiz birçok konu gibi kavramların saklandığı bellek) yer alır. Üçüncü seviyede yer alan anısal (epizodik) bellek ise, çocukluk döneminde giyilmiş komik bir kostüm veya sevilen bir ev hayvanının ölümünün ardından duyulan üzüntü gibi otobiyografik olayların hatırlanmasıdır. Anısal bellek, bireyin "özfarkındalığına" bağlıdır. Bitkilerin anlamsal bellek ile anısal bellek için uygun olmadığı aşikâr: Biz insanları tanımlayan bellek türleridir bunlar. Ama bitkiler dış uyaranları pekâlâ algılayabilir ve onlara tepki verebilirler,[3] yani Tulving'in tanımına göre, bitkilerde yöntemsel bellek bulunabilir. Nitekim Jaffe'nin bezelyesi de bunun bir örneğini sergiler. Bezelyeler Jaffe'nin dokunuşunu algılamış, sonradan bunu hatırlamış ve tepki olarak kıvrılmıştı.

Nörobiyologlar anıların fizyolojisi konusunda epey bilgi sahibidir ve beynin farklı bellek türlerinden sorumlu bağımsız (ama birbiriyle bağlantılı) bölgelerinin yerini tam olarak gösterebilirler. Biliminsanları nöronlar arasındaki elektrik sinyallerinin anı oluşumu ve depolanması için temel öneme sahip olduğunu bilir. Belleğin moleküler ve hücresel temeli konusunda ise çok daha azını biliyoruz. İlginç bir şekilde, yapılan son araştırmalar, anılar sonsuz olsa da çok az sayıda proteinin anı oluşumunda rol oynadığına işaret ediyor.[4]

İnsanlarda "bellek" olarak söz ettiğimiz şeyin aslında birçok farklı bellek biçimini tanımlayan, Tulving'in tanımladığı bellek türlerinden de fazlasını içeren bir terim olduğunu unutmamalıyız elbette. Duyularımızdan hızlı girdiler alan ve bunları (göz açıp kapayıncaya kadar) filtreleyen *duyusal belleğimiz* vardır mesela; yedi kadar nesneyi saniyelerce bilincimizde tutabilen *kısa süreli belleğimiz* ve anılarımızı çok uzun bir süre, hatta bir ömür boyu depolayabilen *uzun süreli belleğimiz* vardır. Bunların yanı sıra, bağcık bağ-

lamak gibi hareketleri bilinçdışı bir şekilde öğrenmemizi sağlayan, yöntemsel bir bellek türü olan *kas-motor belleğimiz* ve bağışıklık sistemimizin yeni enfeksiyonlardan kaçınmak için eski enfeksiyonları hatırladığı *bağışıklık belleğimiz* vardır. Sonuncusu hariç bunların hepsi beyin fonksiyonlarına bağlıdır. Bağışıklık belleği ise akyuvarlar ile antikorların işleyişine bağlıdır.

Anıyı oluşturma (bilgi kodlama), anıyı saklama (bilgi depolama) ve anıyı hatırlama (bilgiyi bulup çıkarma) işlemleri bütün bellek biçimlerinin ortak özelliğidir. Bilgisayar belleğinde de bu üç işlem görülür. Bitkilerdeki en basit bellek biçimlerinin varlığını araştırırken bu işlemlerin olup olmadığına bakmamız gerekiyor.

Venüs Sinek Kapanında Kısa Süreli Bellek

Üçüncü bölümde gördüğümüz gibi, Venüs sinek kapanı yapraklarında ideal bir yiyeceğin ilerlediğinden haberdar olmak zorundadır. Kapanını kapaması için çok fazla enerjiye ihtiyacı vardır, kapanı tekrar açması saatler alır, bu nedenle yaprak yüzeyinde dolanan böceğin zamanına değecek büyüklükte olduğundan emin olduğunda kapanını kapatmak ister. Yaprağının iki dilimi üzerinde bulunan büyük siyah tüyler kelimenin gerçek anlamıyla avını hissetmesini sağlar; bu tüyler tetikleyici görevi görür, uygun büyüklükteki av kapana girdiğinde kapan kapanır. Böcek yalnızca bir tüye dokunduğunda kapan kapanmaz; ama yeterli büyüklükte bir böcek yirmi saniye içinde muhtemelen tüylerin ikisine de dokunur ve bu sinyal Venüs sinek kapanını harekete geçirir.

Bu sistemi kısa süreli belleğe benzetebiliriz. Önce sinek kapanı bir şeyin (onun ne olduğunu bilmez) tüylerinden birine dokunduğu bilgisini kodlar (anıyı oluşturur). Sonra bu bilgiyi birkaç saniye depolar (anıyı saklar) ve ikinci tüye dokunulur dokunulmaz bu bilgiyi depoladığı yerden bulup çıkarır (anıyı hatırlar). Küçük bir karıncanın bir tüyden diğerine gidişi zaman alırsa, karınca ikinci tüye dokunduğu sırada kapan ilk dokunuşu unutmuş olur. Bir başka deyiş-

le, depolanan bilgiyi kaybeder, kapanmaz ve karınca mutlu mesut yoluna devam eder. Peki bitki mütevazı böceğin ilk tüyle karşılaşma bilgisini nasıl kodlayıp depolar? İkinci tüye dokunulmasına tepki vermek için ilk dokunuşu nasıl hatırlar?

John Burdon-Sanderson'ın 1885'te Venüs sinek kapanının fizyolojisiyle ilgili ilk açıklamalarından sonra biliminsanları bu soruları nasıl cevaplayacaklarını düşünmeye başladılar.[5] Yüz yıl kadar sonra Almanya'daki Bonn Üniversitesi'nden Dieter Hodick ve Andreas Sievers, sinek kapanı bitkisinin kaç tüye dokunulduğu bilgisini yaprağındaki elektrik yükü üzerinden depoladığını ileri sürdü.[6] Kurdukları model basitliği nedeniyle gayet zarifti. Yaptıkları çalışmada, sinek kapanı bitkisinin tetikleyici tüylerinden birine dokunmanın elektriksel bir aksiyon potansiyeline neden olduğunu, bunun da kapan içindeki kalsiyum kanallarının açılmasını sağladığını (aksiyon potansiyelleri aracılığıyla kalsiyum kanallarının açılması, insan nöronları arasındaki iletişim sırasında meydana gelen işlemlere benzer), böylece kalsiyum iyonlarının hızla yoğunluk kazandığını keşfettiler.

Hodick ve Sievers'in öne sürdüğü modele göre, kapanın kapanması için kalsiyumun görece yüksek bir yoğunlukta olması gerekir ve yalnızca bir tetikleyici tüye dokunulmasıyla oluşan aksiyon potansiyeliyle kalsiyum bu seviyeye ulaşmaz. Dolayısıyla, kalsiyum konsantrasyonunu bu eşiğin üzerine taşıyıp kapanın kapanmasını sağlamak için ikinci tüyün uyarılması gerekir. Bilginin kodlanması, kalsiyum seviyelerinin ilk yükseldiği evrede gerçekleşir. Bilginin muhafaza edilmesi, kalsiyumun yeterince yüksek bir seviyede tutulmasını gerektirir ki, kalsiyum seviyesi (ikinci tüye dokunulmasıyla) ikinci kez yükseldiğinde toplam kalsiyum konsantrasyonu eşiğin üzerinde olsun. Kalsiyum iyonu konsantrasyonu zamanla yok olduğu için, ikinci dokunuş ve aksiyon potansiyeli çabuk gerçekleşmezse, ikinci tetiklenmeden sonraki nihai kalsiyum konsantrasyonu kapanın kapanmasını sağlayacak kadar yüksek olmaz ve anı yok olur.

Bunu takip eden araştırmalar da bu modeli destekler. Alexander Volkov ve Alabama'daki Oakwood Üniversitesi'nden çalışma arkadaşları, Venüs sinek kapanının kapanmasını sağlayan şeyin gerçekten de elektrik olduğunu ilk kanıtlayan biliminsanlarıydı.[7] Bu modeli test etmek için kapana son derece hassas elektrotlar yerleştirdiler ve kapanın dış dilimlerine elektrik akımı verdiler. Bu akım tetikleyici tüylerine dokunulmadan kapanın kapanmasına neden oldu (kalsiyum seviyesini ölçmemişlerdi ama verilen akım muhtemelen seviyenin yükselmesine neden olmuştu). Bu deneyi elektrik akımı miktarını değiştirerek yeniden gerçekleştirdiklerinde, Volkov kapanın kapanması için gerekli elektrik yükü miktarını tam olarak belirlemeyi başardı. İki elektrot arasında on dört mikrokolomb (iki balonun birbirine sürtülmesiyle elde edilen statik elektrik miktarından biraz fazla) bir yük aktığında kapan kapanıyordu. Kapanın kapanması bu yükün bir seferde akmasıyla gerçekleştiği gibi, yirmi saniye içinde daha küçük yüklerin seri halde akmasıyla da gerçekleşiyordu. Toplam yükün akışı yirmi saniyeden fazla sürerse kapan açık kalıyordu.

O halde, Venüs sinek kapanının kısa süreli belleğinin muhtemel mekanizması şöyledir: Bir tüye ilk dokunuş bir elektrik potansiyeli yaratır ve bu potansiyel hücre hücre aktarılır. Bu elektrik yükü kısa süreliğine, yirmi saniye içinde yok olana kadar, iyon konsantrasyonunda bir artış olarak depolanır. Bu süre içinde ikinci bir aksiyon potansiyeli kapanın orta bölümüne ulaşırsa, biriken yük ve iyon konsantrasyonu eşiği geçer ve kapan kapanır. Aksiyon potansiyelleri arasında çok fazla zaman geçerse, bitki ilk aksiyon potansiyelini unutur ve kapan açık kalır.

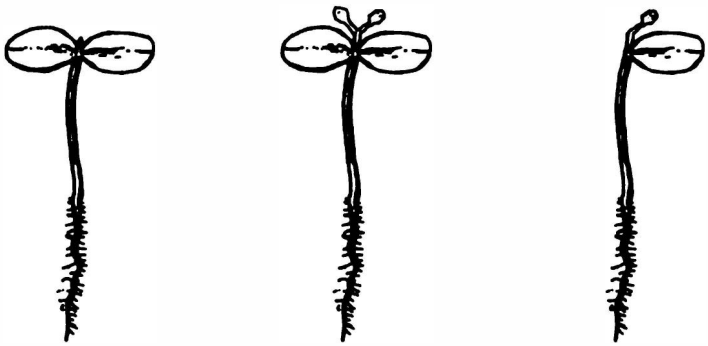
Venüs sinek kapanındaki bu elektrik sinyali (ve bu anlamda diğer bitkilerdeki elektrik sinyalleri) insanların ve diğer bütün hayvanların nöronlarındaki elektrik sinyallerine benzer. Sinek kapanı bitkisinin nöronlarındaki ve yapraklarındaki sinyalleri, hücreden elektrik sinyali geçerken hücre zarı içinde açılan iyon kanallarını ketleyen ilaçlarla engellemek mümkündür. Volkov deneyden önce

bitkilerini insan nöronlarında potasyum kanallarını ketleyen bir kimyasala maruz bırakınca, dokunulduğunda veya gerekli elektrik yükü alındığında kapanın kapanmadığını gördü.[8]

Uzun Süreli Travma Belleği

Yirminci yüzyılın ortalarında, Çek botanikçi Rudolf Dostál bitkilerde "morfojenik bellek" adını verdiği şeyle ilgili biraz muğlak bir çalışma gerçekleştirdi.[9] Morfojenik bellek, bitkinin şeklini veya biçimini sonradan etkileyen bir bellek türüdür. Yani bir bitki yaprağı yırtıldığında veya dalı çatladığında ilk başta bundan hiç etkilenmemiş gibi görünür, ama çevre koşulları değiştiğinde geçmişte yaşadığı bu şeyi hatırlayıp büyüme biçimini değiştirerek tepki verebilir.

Dostál'in çimlenmiş ketenlerle yaptığı deneylerden, morfojenik bellekle neyi kastettiği daha iyi anlaşılır. Dostál'in bu alanda gerçekleştirdiği deneyleri tam olarak kavrayabilmek için bitki anatomisini biraz tanımamız gerekiyor. Keten çimlendiğinde üzerinde kotiledon adı verilen iki yaprak bulunur. Bu iki yaprağın ortasında,



Resimde çimlenmiş üç keten (*Linum usitatissimum*) bitkisi görülüyor. Soldaki, iki kotiledon ve bir tepe tomurcuğu (iki yaprak arasındaki küçük çıkıntı) olan iki haftalık bir keten bitkisidir. Ortadaki, aynı yaşlarda ama tepe tomurcuğu kesilmiş, yan tomurcukları gelişeli bir hafta olmuş bir keten bitkisidir. Sağdaki, aynı bitkinin tepe tomurcuğu kesilmeden önce sol kotiledonu kesilmiş halidir.



Keten (*Linum usitatissimum*)

bitkinin orta sapından büyüyen tepe tomurcuğu vardır. Bu tomurcuk yukarı doğru büyürken alt tarafının iki yanından her biri bir yaprağa bakacak şekilde yan tomurcuklar belirir. Normal koşullarda yan tomurcuklar uyku halindedir, yani büyümezler. Ama tepe tomurcuğu hasar görürse veya kesilirse, yan tomurcuklar büyüyüp uzamaya başlar ve her biri yeni bir dal meydana getirir, yan tomurcukların her biri bu dalların tepe tomurcuğu haline gelir. Yan tomurcukların tepe tomurcuğu tarafından bu şekilde baskılanmasına tepe tomurcuğu baskınlığı adı verilir, bu baskılamanın kaldırılması da budamanın temelini oluşturur. Bir evin önündeki çalıları budayan bir bahçıvanın yaptığı şey (eğer doğru bir budama yapıyorsa) aslında her daldaki yan tomurcukları ortadan kaldırarak daha fazla yan tomurcuk ve yeni dalların büyümesine zemin oluşturmaktır.

Normal koşullarda, tepe tomurcuğu kesildiğinde her iki kotiledon aynı şekilde büyür. Dostál, tepe tomurcuğunu kesmeden önce kotiledonlardan birini kestiğinde yalnızca kalan kotiledonun yakınındaki yan tomurcuğun büyüdüğünü fark etti.[10] Bu sonuç uyaranın ardından tepkinin gelmesinin tipik bir örneği gibi görünebilir. Ama mesele tam da burada ilginç bir hal alıyor. Dostál deneyi tekrarlayıp da bitkiyi kırmızı ışıkla aydınlattığında, olmayan kotiledona en yakın yan tomurcuğun büyüdüğünü gördü; deney iki kotiledonun da büyüme potansiyeli olduğunu ortaya koyuyordu.

Yukarı Normandiya'daki Rouen Üniversitesi'nden Michel Thellier, Dostál'in araştırmasına kaldığı yerden devam etti. Fransız Bilimler Akademisi üyesi olan Thellier, deneyi için seçtiği *Bidens pilosa* bitkisinin tepe tomurcuğunu kestiğinde iki yan tomurcuğun aşağı yukarı aynı şekilde büyümeye başladığını fark etti.[11] Kotiledonlardan birini yaraladığındaysa yalnızca sağlıklı yaprağın yakınındaki yan tomurcuk büyümüştü. Thellier'in bu tepkiyi almak için kotiledonu paralaması gerekmemişti; tepe tomurcuğunu keserken yapraklardan birini iğneyle dört kez delmişti ve bu küçük yara bile yan tomurcukların asimetrik büyümesini sağlamaya yetmişti.

O halde, bitki belleği klasik bir uyaran-tepki fenomeni gibi görünen bu olayın neresindedir? Thellier bu deneyler sırasında yaprağı yaralama ile tepe tomurcuğunu kesme arasında geçen süreyi zaman zaman artırmış, fasılayı iki haftaya çıkardığı olmuştu. Buna rağmen yan tomurcuklar aynı şekilde büyümemiş, yaralı kotiledonun uzağındaki kotiledon daha fazla büyümüştü. Thellier, *Bidens pilosa*'nın bu "travmatik" deneyimi bir şekilde depolamasını ve tepe tomurcuğu kesildikten sonra bu deneyimi günler sonrasında bile hatırlamasını sağlayacak bir mekanizmaya sahip olması gerektiğini biliyordu.

Sonraki deney *Bidens pilosa*'nın yan tomurcuklarının komşu yapraklardan hangisinin hasar gördüğünü hatırladığı fikrini kesin bir şekilde kanıtladı. Thellier bu deneyde yine kotiledonlardan birini iğneyle deldi, ama birkaç dakika sonra *her iki* kotiledonu kesip aldı.



Bidens pilosa

Ne var ki bitkinin delmenin anısını muhafaza ettiğini fark etti: Tepe tomurcuğu kesildikten sonra, daha önce yaralı yaprağın bulunduğu yerin karşısındaki yan tomurcuk diğerinden daha fazla büyümüştü. Bu bilginin ana tomurcuk içinde nasıl depolandığı konusu hâlâ belirsiz, ama bu sinyalin bir şekilde oksinle (5. Bölüm'de karşılaştığımız hormon) alakalı olma ihtimali akla yatkın görünüyor.

Soğuk Muamele

Trofim Denisoviç Lisenko, Sovyetler Birliği'nde icra edilen bilime etkileri bakımından kötü bir şöhrete sahip bir bilimadamıydı.[12] Bireyin bütün özelliklerinin miras aldığı genlerin bir sonucu olduğu ilkesine dayanan klasik Mendel genetiğini reddediyor, çevrenin bireyin adaptif özelliklerinin gelişmesini sağladığı (sürekli karanlıkta yaşayan köstebeklerin körlüğü gibi) ve bu özelliklerin sonraki ne-

sillere aktarıldığı fikrini destekliyordu. İlk olarak on dokuzuncu yüzyılın başlarında ünlü Fransız doğa bilimcisi Jean-Baptiste Lamarck tarafından ortaya atılmış olan bu evrimsel teori, Lisenko'nun araştırmasını gerçekleştirdiği döneme hâkim olan, proletaryanın çevrenin etkisiyle değişim geçirebileceğini savunan ideolojiyle tam bir uyum içindeydi. Sovyet yönetimi Lisenko'dan öyle büyülenmişti ki, Sovyetler Birliği'nde 1948'den 1964'e kadar onun teorilerine ters düşen herhangi bir fikri ifade etmek yasaktı. Siyaset bir yana, 1928'de Lisenko bitki biyolojisi alanını bugün hâlâ etkilemeye devam eden önemli bir keşifte bulundu.

Sovyet çiftçiler kış buğdayı denen bir buğday türü yetiştirirler; sonbaharda ekilen, kışın donlardan önce çimlenen, baharda toprak ısınana kadar uykuda kalan ve ardından çiçek açan bir buğdaydır bu. Kış buğdayı kışın bir soğuk hava dönemi geçirmezse baharda



Buğday (Triticum aestivum)

çiçek açamaz, dolayısıyla da ürün veremez. 1920'lerin sonlarında kışlar olağandışı biçimde ılık geçtiği ve kış buğdayı fidelerinin (çiftçilerin milyonlarca insanı besleyecek olan tahılı üretmek için ihtiyaç duyduğu fidelerin) çoğu telef olduğu için Sovyet tarımı felakete sürüklenmişti.

Lisenko ellerindeki hasatı kurtarmak ve ılık geçen kışların ileride kıtlık yaratmasını önleyecek yollar aramak için hiç durmadan çalıştı. Kış buğdayı tohumlarını ekimden önce dondurucuya koyduğunda, tohumların uzun bir kış geçirmelerine gerek kalmadan çimlendiğini ve çiçeklendiğini keşfetti. Bu yolla çiftçilerin buğdayı baharda ekebilmelerini sağlamış, nihayetinde de ülkesinin buğday verimini korumuş oldu. Lisenko bu işleme "vernalizasyon" adını verdi. Bugün doğal veya yapay bütün soğuk muameleler için kullanılan genel bir terimdir bu.

Çiçeklenmeleri için bazı bitkilerin soğuk havaya ihtiyaç duyduğunu başka biliminsanları da biliyordu (bununla ilgili ilk bildirimler 1857'de Ohio Tarım Dairesi'nden gelmişti[13]), ama Lisenko bu işlemin yapay olarak gerçekleştirilebileceğini kanıtlayan ilk kişiydi. Birçok bitki ürün vermek için kışın soğuğuna ihtiyaç duyar; birçok meyve ağacı ancak soğuk bir kışın ardından çiçeklenip meyveye durur, marul ve arabidopsis tohumları yalnızca ani bir soğuğun ardından patlar. Vernalizasyonun ekolojik yararı açıktır: Bir bitkinin yılın başka bir zamanında değil, kış soğunun ardından, ışık ve ısı miktarının bitkinin büyümesine de destek olduğu bahar veya yaz aylarında filizlenmesini veya çiçeklenmesini sağlar.

Örneğin Washington D.C.'deki kiraz ağaçları, yılın ilk çiçeklerini genelde 1 Nisan civarı, günışığının on iki saat kadar olduğu zamanlarda verir. Washington D.C. eylül ortasında da yaklaşık on iki saat günışığı görür, ama aynı kiraz ağaçları asla sonbaharda açmaz; açarlarsa yaklaşan kış aylarında donacakları için meyveleri asla gelişmez. Kiraz çiçekleri baharın ilk dönemlerinde açtıkları için sonraki beş ayın tamamı oluşan meyvelerin olgunlaşmasıyla geçer. Nisan ile eylül aylarının gün uzunluğu eşit olsa da, kiraz ağaçları iki

ayı birbirinden ayırt edebilir. Nisanın geldiğini önceki kışı hatırladıkları için bilirler.

Buğday fidesinin veya kiraz ağacının kışı nasıl hatırladığı, on yıl kadar önce, özellikle de (test edilip onaylanmış olan) arabidopsis üzerinde yapılan araştırmalarla izah edildi. Arabidopsis, Norveç'ten Kanarya Adaları'na kadar geniş bir habitat çeşitliliği içinde doğal olarak yetişir. *Arabidopsis thaliana*'nın farklı popülasyonlarına ekotip adı verilir. Kuzey iklimlerinde yetişen arabidopsis ekotipleri çiçeklenme için vernalizasyona ihtiyaç duyarken, daha ılık iklimlerde yetişenlerin böyle bir ihtiyacı yoktur. Bu vernalizasyon ihtiyacı, kuzey ekotiplerinin genlerinde kodlanmıştır. Çiçeklenme için kışa ihtiyaç duyan bir bitki ile duymayan bir bitkiyi çaprazlarsanız, ortaya çıkan yavrular da çiçeklenme için ani soğuğa ihtiyaç duyar; genetik olarak soğuk ihtiyacı baskın bir özelliktir (tıpkı insanda kahverengi gözün mavi göze oranla baskın bir özellik olması gibi). Bu özelliği *FLC* (*flowering locus C*; çiçeklenme lokusu C) adlı bir gen taşır. Baskın bir *FLC* geni vernalizasyon sürecinden geçene kadar bitkide çiçeklenmeyi baskılar.

Bitki soğuk hava döneminden geçtikten sonra *FLC* geni kopyalanmaz olur, "kapalı" hale gelir. Ama bu, bitkilerin hemen çiçeklenmeye başlayacakları anlamına gelmez; bitkilerin ışık ve ısı gibi diğer koşulların uygun olması durumunda *çiçeklenebileceği* anlamına gelir. O halde bitkinin, *FLC*'yi kapalı halde tutabilmek için, havalar ılık geçmesine rağmen daha önce soğuk bir iklim yaşadığını hatırlamasını sağlayacak bir yöntemi olmalıdır.

Birçok araştırmacı vernalizasyonun *FLC* genini nasıl "kapadığını" ve kapandıktan sonra genin nasıl bu şekilde kapalı kaldığını anlamaya çalışmıştır. Bu araştırmalarda epigenetiğin bir bitkinin kışa dair anısıyla iç içe olduğu belirgin biçimde ortaya konmuştur.[14] Epigenetik, mutasyonlarda olduğu gibi DNA *kodunda* değişiklik gerektirmeyen ama ebeveynden yavruya geçen, gen aktivitesindeki değişiklikler için kullanılan bir terimdir.[15] Çoğu zaman epigenetik DNA'nın yapısındaki değişiklikler aracılığıyla işler.

Hücrelerde DNA, basit birer nükleotit zinciri olmanın ötesine geçen kromozomlar halinde düzenlenmiştir. Çift sarmallı DNA histon adı verilen proteinlerin etrafını sararak kromatin adı verilen bir yapı oluşturur. Kromatin, paket lastiği gibi çok fazla bükülebilir, böylece DNA ve proteinleri son derece yoğun ve sıkışık yapılara dönüştürür. Bu yapılar dinamiktir: Kromatinin çeşitli kısımları çözülebilir veya tekrar sıkıştırılabilir. Aktif genler (tarif etmiştik) kromatinin çözülmüş kısımlarında, aktif olmayan genlerse daha yoğun kısımlarda bulunur.[16]

Histon proteinleri, kromatinin ne kadar sıkılaşacağının belirlenmesinde rol oynayan kilit faktörlerden biridir ve bu bilgi *FLC* genlerinin nasıl aktive olduğunun anlaşılması açısından çok önemlidir. Biliminsanları soğuk muamelenin *FLC* geninin çevresindeki histonların yapısında değişikliği tetiklediğini (metilasyon olarak adlandırılan bir işlem), bunun da kromatinin çok fazla sıkışmasını sağladığını keşfettiler. Bu sıkışma ise *FLC*'nin faaliyetini durdurur ve bitki çiçeklenmeye hazır hale gelir. Bu epigenetik değişiklik (gen etrafındaki histon türü) ana hücreden yavru hücrelere aktarılır ve soğuk havalar geçtikten *sonra* bile *FLC* geni pasif kalır. *FLC* geni pasif hale geçtiğinde, bitkiler çevre koşulları çiçeklenmeye uygun hale gelene kadar bekleyebilir. Meşe ağacı ve açelya gibi yılda bir kez çiçek açan çok-yıllık bitkilerde, bitki çiçek açtıktan sonra, mevsim dışı meydana gelebilecek gelişigüzel çiçeklenmeyi engellemek için sonraki kış geçene kadar *FLC* geninin yeniden aktif hale getirilmesi gerekir. Bu şu şekilde gerçekleşir: Hücreler histon kodlarını yeniden programlar, böylece *FLC* geni etrafındaki kromatin açılır ve geni tekrar aktif hale getirir. Bütün bunların nasıl gerçekleştiği ve yönetildiği halen araştırılıyor.[17]

Hücresel belleğin epigenetik mekanizması yalnızca bitkilere özgü değildir, çok çeşitli biyolojik süreç ve hastalıkların temelini oluşturur. Epigenetik, biyolojide bir paradigma değişikliğine neden olmuştur, çünkü hücreden hücreye yalnızca DNA dizilişindeki değişikliklerin aktarılabileceği yönündeki klasik genetik kavramıyla

çelişir. Epigenetiğin en şaşırtıcı özelliği, anının varlığını yalnızca tek bir organizma içinde bir mevsim boyunca değil, nesilden nesle sürdürmesini sağlamasıdır.

Her Nesilde...

Anılar ritüeller, hikâyeler ve başka şeyler aracılığıyla nesilden nesle aktarılır. Ama epigenetikle nesilden nesle aktarılan anı tamamen farklı bir şeydir. Bu tür anılar genellikle ebeveynden yavrulara aktarılmış çevresel veya fiziksel bir stresle ilgili bilgi içerir. Barbara Hohn'un İsviçre'nin Basel kentindeki laboratuvarı, nesilden nesle aktarılmış bu tür anıların varlığının kanıtlandığı ilk laboratuvardı.[18] Hohn ve araştırma arkadaşları, bir bitki üzerinde stres yaratan kızılötesi ışık ve patojen saldırısı gibi koşulların bitki genomunda yeni DNA kombinasyonları oluşmasına neden olan değişikliklere yol açtığını biliyordu.

Stres kaynaklı bu değişiklikler ekolojik açıdan anlamlıdır, çünkü herhangi bir organizma gibi bitkiler de stres altında hayatta kalmanın yollarını bulmak zorundadır. Bu yollardan biri yeni genetik varyasyonlar geliştirmektir. Hohn'un müthiş çalışması, yalnızca stres altındaki bitkilerin değil, herhangi bir strese doğrudan maruz kalmadıkları halde yavrularının da yeni DNA kombinasyonları geliştirdiğini ortaya koydu. Bitkinin yaşadığı stres kalıcı bir kalıtsal değişikliğe neden oluyor, bu değişiklik bütün diğer nesillere aktarılıyor ve sonraki nesiller de stres altındaymış gibi bir davranış sergiliyordu. Yavrular ebeveynlerinin bu stres sırasında yaşadıklarını hatırlıyor ve buna gereken tepkiyi veriyorlardı, yani genomlarında daha fazla değişiklik meydana geliyordu.

Bu çalışmanın içerimleri oldukça geniş kapsamlıdır. Çevresel bir stres sonraki kuşaklara aktarılan kalıtsal bir değişime neden olur. Bu, evrimin edinilmiş özelliklerin kalıtım yoluyla sonraki nesillere aktarılması esasına dayandığını ileri süren Jean-Baptiste Lamarck'ın teorileriyle gayet uyumludur. Hohn'un bitkileri, UV veya

patojen stresinin ardından genetik varyasyon artışı yaşamış ve bu özelliklerini yavrularına aktarmıştır (ki tek bir arabidopsis bitkisi binlerce tohum üretir!). Bu durum stres altındaki bitkinin DNA dizilişindeki mutasyonlarla açıklanamaz, çünkü öyle olsaydı bu özellik çok az sayıda yavruya aktarılabilirdi. Oysa yaşanan stres epigenetik değişime neden olduğunda bu değişim polen ve yumurta hücreleri dahil aynı anda hücrelerin *hepsinde* yaşanır ve sonraki nesillerin, hatta onlardan da sonraki nesillerin tümüne aktarılır. Biliminsanları bu anılarda rol oynayan epigenetik değişimin tabiatı hakkında çeşitli yorumlarda bulunsa da, bu konu henüz açıklığa kavuşmuş değil.

Igor Kovalçuk, bitkilerde ve yavrularında genetik varyasyonlara neden olan streslere tuz ve ısı gibi başka stresler de eklediği bir takip çalışması gerçekleştirdi.[19] Bu çalışmada bu farklı çevresel saldırıların yalnızca ebeveynlerin değil bir sonraki neslin genomlarının da yeniden düzenlenme sıklığında artışa neden olduğunu kanıtladı. Aslına bakılırsa Kovalçuk'un elde ettiği harikulade sonuçlar bundan da fazlasını ortaya koyuyordu. İkinci nesil bitkiler genetik varyasyonda artış göstererek Hohn'un sonuçlarını doğrulamakla kalmamış, çeşitli streslere karşı daha toleranslı hale de gelmişti. Başka bir deyişle, stres yaşayan bitkiler zorlu koşullarda diğer bitkilere oranla daha iyi büyüyen yavrular meydana getirmişti. Çeşitli stresler büyük bir ihtimalle ebeveynlerin kromatin yapısında epigenetik değişimlere neden olur ve bu değişimler yavrulara aktarılır. Bunun böyle olduğunu düşünüyoruz çünkü Kovalçuk'un araştırma ekibi, yavruları epigenetik bilgiyi silen bir kimyasala maruz bıraktığında bu bitkiler söz konusu çevresel strese dayanma yeteneğini yitirmişti. Bilimdeki paradigma değiştirici çalışmalarda sık sık olduğu gibi, Hohn'un elde ettiği sonuçlar genel bir kabul görmedi.[20] Ne var ki, onun ve başkalarının elde ettiği sonuçların genetikte yeni bir çağı müjdelediği fikri her geçen gün daha fazla kişi tarafından kabul görüyor.[21] Stresin yalnızca bitkilerde değil hayvanlarda da nesilden nesle aktarılan anıların oluşumuna bağlı olduğu fikri gide-

rek daha fazla çalışma tarafından destekleniyor. Bütün vakalarda bu "anı" bir çeşit epigenetik kalıtıma dayanıyor.[22]

Zeki Bellek?

Bitkilerin biyolojik bilgiyi depolama ve hatırlama yeteneği olduğu kesindir. Bu anıların bizim her gün hatırladığımız ayrıntılı ve duygu yüklü anılardan farklı olduğunu içgüdüsel olarak biliriz. Ama temel düzeyde, bu bölümde tarif edilen çeşitli bitkilerin davranışları onarıcı anı türleridir. Sülüklerin kıvrılması, Venüs sinek kapanının kapanması ve arabidopsisin çevresel stresi hatırlaması, olayın anısını oluşturma, belli zaman aralıklarında bu anıyı muhafaza etme ve özgül bir gelişimsel tepki almak üzere daha sonraki bir noktada bu anıyı hatırlama süreçlerini kapsar.

Bitki belleğinde rol oynayan epigenetik ve elektrokimyasal gradyanlar dahil birçok mekanizma insan belleğinde de vardır. Bu gradyanlar, çoğumuzun belleğin alanı olarak bildiği beynimizdeki nöral bağlantıların temelini oluşturur. Geçtiğimiz yıllarda bitkibilimciler, bitki hücrelerinin birbirleriyle elektrik akımlarıyla haberleştiğini (bunu birkaç bölümde görmüştük), ayrıca bitkilerin insan ve diğer hayvanlarda nöroreseptör adıyla bilinen proteinler içerdiğini keşfettiler. Glutamat reseptörü bunun mükemmel bir örneğidir. Beyindeki glutamat reseptörleri nöral iletişim, anı oluşturma ve öğrenme için çok önemlidir ve birçok nöroaktif ilaç glutamat reseptörlerini hedef alır. Bu yüzden, New York Üniversitesi'nden biliminsanları bitkilerde glutamat reseptörleri bulunduğunu ve arabidopsis bitkilerinin glutamat reseptörlerinin faaliyetini değiştiren nöroaktif ilaçlara karşı hassas olduklarını keşfettiklerinde büyük bir şaşkınlık geçirmişlerdi.[23] Halihazırda glutamat reseptörlerinin bitkilerde nasıl bir işleve sahip olduğunu tam olarak bilmiyoruz,[24] ama Portekiz'de José Feijó ve ekibinin çok yakın zamanlarda yaptığı çalışma, bitkilerdeki bu reseptörlerin tıpkı insan nöronları gibi hücreden hücreye sinyal gönderme işini gördüklerini ortaya koy-

muştur. Bu sonuç bizi bitkilerdeki "beyin reseptörleri"nin evrimsel rolü üzerinde düşünmeye sevk ediyor.[25] İnsan beyninin işlevi ile bitki fizyolojisi arasındaki benzerlikler düşündüğümüzden daha fazla olabilir.

Bitki bellekleri insanın bağışıklık belleği gibidir; Tulving'in tanımladığı şekliyle anlamsal veya eylemsel belleklerden ziyade neyin nasıl yapıldığı bilgisinin depolandığı yöntemsel belleklerdir; bu bellekler dış uyaranları algılama yeteneğine bağlıdır. Tulving bu üç bellek seviyesinin giderek artan bir bilinç seviyesiyle ilişkili olduğu fikrini de ileri sürmüştür. Yöntemsel bellekler anoetik (duyusal ya da duygusal) bilinçle, anlamsal bellek noetik (zihinsel) bilinçle, anısal bellek otonoetik (zamansal) bilinçle ilişkilidir. Bitkilerin anlamsal veya anısal belleklerle ilişkili bilinç tanımına uymadıkları kesin. Ama yakın zamanlarda yayımlanan bir makalede de belirtildiği gibi: "Yöntemsel belleğin karakteristik özelliği olan en düşük bilinç seviyesi –anoetik bilinç– organizmaların dış ve iç uyaranları algılama ve onlara tepki verme yeteneğine işaret eder, ki bitkilerin ve basit hayvanların hepsinde bu yetenek vardır."[26] Bu da bizi en ilginç soruya götürüyor: Bitkiler farklı bellek türleri sergiliyorsa ve bir çeşit bilince sahipse, zeki sayılmaları gerekir mi?

Sonsöz:
Çevresinin Farkında Olan Bitki

"ZEKÂ" ZENGİN İÇERİKLİ bir terimdir. Çok tartışmalı IQ testinin mucidi Alfred Binet'den ünlü psikolog Howard Gardner'a kadar herkesin birini "zeki" olarak sınıflandırmanın ne anlama geldiği konusundaki fikri farklıdır.[1] Bazı araştırmacılar zekâyı yalnızca insanlara özgü bir özellik saysa da, zaman zaman –orangutanlardan ahtapotlara kadar– çeşitli hayvanların "zekâ" tanımının kapsamı içinde yer alan özelliklere sahip olduğuna dair haberlere rastlarız.[2] Zekâ tanımlarını bitkilere uygulamak ise daha çok tepkiyle karşılanır, her ne kadar zeki bitki olur mu sorusu yeni bir soru olmasa da. Hem tıp doktoru *hem de* botanikçi olan Dr. William Lauder Lindsay 1876'da şöyle yazmıştır: "*Zihnin insanda görülen belli veçhelerinin bitkilerde de bulunduğu* inancındayım."[3]

İskoçya'daki Edinburgh Üniversitesi'nde ders veren saygın bitki fizyoloğu ve bitki zekâsı fikrinin günümüz destekçilerinden Anthony Trewavas, insanların başka hayvanlardan daha zeki olduğu tartışmasız doğru ise de, zekânın yalnızca *Homo sapiens*'te ortaya çıkmış biyolojik bir özellik olmasının mümkün olmadığını belirtir.[4] Bu açıdan, zekâyı örneğin vücut şekli ve solunumdan hiç de farklı olmayan biyolojik bir özellik olarak görür. Ona göre bunların hepsi ilk organizmalarda olan özelliklerden doğal seçilim yoluyla evrimleşmiştir. Bunu 4. Bölüm'de, bitkiler ve insanlarda ortak olan "sağır" genlerde açıkça görmüştük. Bu genler bitki ve hayvanların ortak atalarında vardı; Trewavas ilkel zekânın da bu ortak atada bulunduğunu ileri sürer.

Bitki fonksiyonlarının çeşitli yönlerini inceleyen bir grup biliminsanı 2005 yılında bitkilerdeki bilgi ağlarının incelenmesi amacıyla "bitki nörobiyolojisi" adında yeni bir araştırma alanı tanımladığında bitki biyologları arasında tartışma başladı.[5] Bu biliminsanları bitki anatomisi ve fizyolojisi ile hayvanlardaki nöral ağlar arasında birçok benzerlik olduğunu düşünmekteydi. Bu benzerliklerin bazıları barizdir,[6] Venüs sinek kapanı ve küstüm otunda karşılaştığımız elektrik sinyalleri gibi; bazıları ise daha ihtilaflıdır, bitki köklerinin yapısının çeşitli hayvanlarda bulunan nöral ağların yapısıyla benzerlik taşıması gibi.

Bu son hipotez on dokuzuncu yüzyılda Charles Darwin tarafından ortaya atıldı ve yıllar sonra özellikle bitki nörobiyolojisi alanının iki öncü ismi –Floransa Üniversitesi'nden Stefano Mancuso ile Bonn Üniversitesi'nden Frantiöek Baluöka– tarafından tekrar değerlendirmeye alındı. Bitkiler üzerinde çalışmalar yapan, içlerinde çok ünlü biliminsanlarının da bulunduğu bazı biyologlar, teorik temelinin kusurlu olduğunu ve bitki fizyolojisi veya bitki hücresi biyolojisiyle ilgili bilgimize bir şey katmadığını iddia ederek bitki nörobiyolojisinin ardındaki fikirleri eleştirdi.[7] Bu biliminsanları, bitki nörobiyologlarının bitki biyolojisi ile hayvan biyolojisi arasında paralellikler kurarak işi zıvanadan çıkardıkları düşüncesindeydi.

Bitki nörobiyolojisini savunan birçok biliminsanı, terimin kendisinin kışkırtıcı olduğu, dolayısıyla da bitkilerle hayvanların bilgiyi işleme biçimleri arasındaki benzerlikler konusunda daha fazla tartışma yapılmasını teşvik edeceği için yararlı olduğu açıklamasını yaptı. Trewavas ve diğerlerinin öne sürdüğü gibi, metaforlar normalde kuramayacağımız bağlantılar kurmamızı sağlar. "Bitki nörobiyolojisi" terimini kullanarak insanları genel olarak biyoloji, özel olarak da bitki biyolojisi konusundaki bilgilerini yeniden gözden geçirmeye sevk ediyorsak, o zaman bu terim yerinde bir terimdir. Ama şu konuda açık olmalıyız: Genetik düzeyde bitkilerle hayvanlar arasında benzerlikler bulsak da (ki belirgin benzerlikler vardır) bunlar çokhücreli yaşamın son derece benzersiz iki evrimsel adap-

tasyonudur ve bu adaptasyonlar, her biri bitki ve hayvan âlemlerine özgü olan benzersiz hücre, doku ve organ kümeleri sayesinde oluşmuştur. Örneğin omurgalı hayvanlar ağırlıklarını desteklemek için kemikli bir iskelet yapısı geliştirirken, bitkiler odunsu gövdeler geliştirmiştir. İkisi de benzer işlevleri yerine getirir, ama her biri kendine özgü bir biyolojik yapıdır.[8]

"Bitkisel zekâ"yı öznel olarak çeşitli zekâların başka bir yüzü diye tanımlayabilsek de, bu tanım gerek zekâya gerekse bitki biyolojisine dair anlayışımızı geliştirmez. Bence sormamız gereken soru bitkilerin *zeki* olup olmadığı değil (zekâ terimin ne anlama geldiği konusunda anlaşmaya varana kadar asırlar geçer çünkü), bitkilerin çevrelerinin farkında olup olmadığıdır ve evet bitkiler çevrelerinin farkındadır. Bitkiler çevrelerindeki dünyanın son derece farkındadır. Görsel çevrelerinin farkındadırlar; kırmızı, mavi, uzakkırmızı ve UV ışıklarını ayırt edebilir ve her birine uygun tepkiler verirler. Çevrelerini saran aromaların farkındadırlar ve havada dolaşan uçucu maddelerin en küçük zerresine tepki verirler. Bitkiler kendilerine dokunulduğunu anlar ve farklı dokunuşları ayırt edebilirler. Yerçekiminin farkındadırlar: Filizlerin yukarı, köklerin aşağı doğru büyümesini sağlamak için şekillerini değiştirebilirler. Geçmişlerinin de farkındadırlar: Geçmişte geçirdikleri enfeksiyonları ve yıpranmalarına neden olan koşulları hatırlar ve bu anılara göre mevcut fizyolojilerini değiştirirler.

Bitkilerin çevrelerinin farkında olması, bu yeşil dünyayla ilişkilerimiz bağlamında ne anlama gelir? Bir kere, "farkında olan bitki" bizi bir birey olarak algılamaz. Biz onun hayatta kalma ve üreme başarısını artıran veya azaltan birçok dış baskıdan biriyizdir sadece. Freud psikolojisinden hareketle şöyle söyleyebiliriz: Bitkinin psişesinde ben ve üstben yoktur, ama bir id –duyusal girdiler alan ve içgüdüler doğrultusunda işleyen bilinçdışı bir bölüm– olabilir. Bir bitki çevresinin farkındadır ve insanlar bu çevrenin bir parçasıdır. Ama bitki, bitkileriyle "kişisel" olarak yorumladıkları ilişkiler geliştiren sayısız bahçıvanın ve bitki biyoloğunun farkında değildir.

Bu ilişkiler bitkilerle ilgilenen kişiler için anlamlıysa da, bir çocuğun hayali bir arkadaşıyla olan ilişkisinden farksızdır; burada anlam akışı tek yönlüdür. Öte yandan, gerek dünyaca ünlü biliminsanlarının gerekse araştırma öğrencilerinin insanbiçimci bir dil kullandıklarına, bitkilerini küf hastalığına yakalandığında "mutsuz görünüyor" veya suladıktan sonra "mutlu oldu" gibi ifadelerle tarif ettiklerine çok şahit oldum.

Bu terimler bir bitkinin duygu içermeyen fizyolojik durumuyla ilgili öznel değerlendirmelerimizin örnekleridir. Bitkilerle insanların algıladığı bütün o zengin girdileri yalnızca insanlar duygusal bir atmosferde değerlendirir. Bitkilere duygularımızı yansıtır, açmış bir çiçeğin solmuş bir çiçekten daha mutlu olduğunu düşünürüz. "Mutlu" sözcüğü "optimal bir fizyolojik durum" olarak tarif edilebilirse, o zaman belki bu sözcük uygun sayılabilir. Ama hepimiz için "mutlu" sözcüğünün, mükemmel bir fiziksel sağlıktan fazlasını içerdiği düşüncesindeyim. Ne de olsa hepimiz çeşitli rahatsızlıklarla cebelleşen ama mutlu olan insanların yanı sıra, sağlıklı olsalar da kendilerini mutsuz hisseden insanlar tanırız. Mutluluğun bir ruh hali olduğu konusunda fikirbirliğine varabiliriz sanırım.

Bir bitkinin çevresinin farkında olması, onun acı çekebileceğine de işaret etmez. Gören, koku alan, dokunmayı hisseden bir bitki, sabit diski bozulmuş bir bilgisayar ne kadar acı hissederse ancak o kadar acı hissedebilir. Aslında "acı" ve "acı çekmek" de "mutlu" gibi öznel terimlerdir ve bitkiler söz konusu olduğunda yersizdirler. Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği (IASP) acıyı/ağrıyı "fiili veya potansiyel doku hasarıyla ilişkili olan ya da böyle bir hasar olarak tarif edilen nahoş bir duyusal ve duygusal deneyim" şeklinde tanımlar.[9] Bitkilerde "acı" muhtemelen "fiili veya potansiyel doku hasarı" olarak tarif edilebilir – bitki hücre hasarına veya ölüme neden olabilecek fiziksel bir sıkıntı yaşadığında olduğu gibi. Bir bitki, yaprağının bir böcek tarafından ısırıldığını hisseder; orman yangınında yanmakta olduğunu algılar. Bitkiler kuraklık sırasında susuzluk yaşadıklarını bilir. Bitkiler acı çekmez. Mevcut bilgimize göre, bitki-

lerin "nahoş bir ... duygusal deneyim" yaşama kapasiteleri yoktur. Hatta insanlarda bile, acı ve acı çekme, beynin farklı bölümleri tarafından yorumlanan iki ayrı fenomen olarak kabul edilir.[10] Beyin görüntüleme araştırmaları sırasında, insan beyninin derinliklerinde yer alan ve beyin sapından yayılan acı merkezleri tanımlanmıştır; biliminsanları acı çekme kapasitesinin ise prefrontal kortekste yer aldığı düşüncesindedir. Dolayısıyla, acı çekmek son derece karmaşık nöral yapılar ve frontal korteks bağlantıları gerektiriyorsa –ki bunlar yalnızca yüksek omurgalılarda bulunur– bitkilerin acı çekmediğini kesinlikle söyleyebiliriz: Çünkü beyinleri yoktur.

Beyni olmayan bitki kavramının vurgulanmasını önemli buluyorum. Bir bitkinin beyni olmadığını aklımızdan çıkarmazsak, her türlü insanbiçimci tanımın temelde fazlasıyla sınırlı olduğunu görürüz. Bu sayede, bitki davranışlarına edebi anlamda insanbiçimci yakıştırmalarda bulunmaya devam edebilir ama aynı zamanda bu tür tariflerin bitkilerin beyni olmadığı olgusunun ışığında okunması gerektiğini hatırlarız. İnsanlar ve bitkiler için aynı terimleri –"görme", "koklama", "hissetme"– kullansak da, genel duyusal deneyimin niteliğinin bu iki tür için farklı olduğunu biliriz.

Bu şerh düşülmezse, bitki davranışlarına yönelik insanbiçimci yaklaşım dizginlenmezse, gülünç ve talihsiz sonuçlar ortaya çıkabilir. Örneğin 2008'de İsviçre hükümeti bitkilerin "onurunu" korumak için bir etik kurulu kurdu.[11] Beyni olmayan bir bitki onuru olup olmamasını umursamayacaktır. Öte yandan, bitkilerin çevrelerinin farkında olması, bitki dünyasıyla ilişkilerimiz bakımından bizim için çok şey ifade eder. İsviçrelilerin bitkilere onur atfetme girişimi, bitki dünyasıyla ilişkilerimizi tanımlama girişimimizi yansıtıyor olabilir. Birey olarak, toplumdaki yerimizi çoğunlukla kendimizi başka insanlarla kıyaslayarak anlamaya çalışırız. Tür olarak ise, doğadaki yerimizi kendimizi diğer hayvanlarla kıyaslayarak anlamaya çalışırız. Bir şempanzenin gözlerinde kendimizi görmek kolaydır; annesine sarılmış yavru gorille kendimizi kolayca özdeşleştirebiliriz. John Grogan'ın köpeği Marley'ye, ondan önce Lassie

ve Rin Tin Tin'e yaptığımız gibi, derin bir empati besleriz ve köpek sevmeyen insanlar bile bu tüylü dostlarımızda insani özellikler görebilir. Papağanının onları anladığını iddia eden kuşseverler ve balıkların insani davranışlar sergilediğini düşünen balıkseverler tanıyorum. Bu örnekler "insani" sözcüğünün, her ne kadar ilginç de olsa yalnızca bir zekâ türünü niteliyor olabileceğini açıkça gösterir.

O halde, insanlarla bitkiler karmaşık ışıklı ortamların, çeşit çeşit aromaların, farklı uyaranların farkında olmaları bakımından benzerse, insanlar da bitkiler de tercihlerde bulunuyorsa ve ikisi de hatırlama yeteneğine sahipse, bitkilere baktığımızda kendimizi görür müyüz?

Görmemiz gereken şey, genel anlamda *biyolojik* açıdan yalnızca şempanze ve köpeklerle değil begonya ve sekoyalarla da ortak özelliklerimizin olduğudur. Çiçek açmış gül fidanına bakarken, tıpkı onun gibi karmaşık ortamların farkına vardığımızı, ortak genlere sahip olduğumuzu hatırlayarak onda çok uzun zamandır görmediğimiz bir kuzenimizi görmeliyiz. Duvara tutunmuş sarmaşığa bakarken, çok eskiden gerçekleşmiş rasgele bir olay olmasaydı, onun yerinde kendimizin olabileceğini aklımızdan geçirmeliyiz. Gördüğümüz şey, kendi evrimimizde gerçekleşmiş olası sonuçlardan bir diğeridir, iki milyar yıl önce gerçekleşmiş bir dallanmadır.

Ortak bir genetik geçmişe sahip olmak, çok uzun zamandır gerçekleşen ayrı ayrı evrimleri dışlamaz. Bitkilerle insanların fiziksel dünyayı algılama ve onun farkında olma yetenekleri birbirine paralel olsa da, evrimin bağımsız yolları insanlarda bitkilerin sahip olmadığı, zekânın ötesinde bir yeteneğin gelişmesini sağlamıştır: özen gösterme yeteneği.

Bundan sonra parkta yürüyüşe çıktığınızda durup kendinize sorun: Çimenlerin arasındaki karahindiba ne görüyor? Otlar hangi kokuları alıyor? Meşenin yapraklarına dokunun, ileride ona dokunulduğunu hatırlayacağını bilerek. Ama sizi hatırlamayacaktır. Sizse o ağacı hatırlayacak ve anısını her daim hafızanızda yaşatacaksınız.

Notlar

Önsöz

1. Daniel A. Chamovitz ve diğ., "The COP9 Complex, a Novel Multisubunit Nuclear Regulator Involved in Light Control of a Plant Developmental Switch", *Cell* 86, no. 1 (1996): 115-21.
2. Daniel A. Chamovitz ve Xing- Wang Deng, "The Novel Components of the Arabidopsis Light Signaling Pathway May Define a Group of General Developmental Regulators Shared by Both Animal and Plant Kingdoms", *Cell* 82, no. 3 (1995): 353-54.
3. Alyson Knowles ve diğ., "The COP9 Signalosome Is Required for Light-Dependent Timeless Degradation and *Drosophila* Clock Resetting", *Journal of Neuroscience* 29, no. 4 (2009): 1152-62; Ning Wei, Giovanna Serino ve Xing-Wang Deng, "The COP9 Signalosome: More Than a Protease", *Trends in Biochemical Sciences* 33, no. 12 (2008): 592-600.
4. Peter Tompkins ve Christopher Bird, *The Secret Life of Plants*, New York: Harper & Row, 1973; Türkçesi: *Bitkilerin Gizli Yaşamı*, çev. Sulhi Dölek, İstanbul: Sungur, 1983; Arthur W. Galston, "The Unscientific Method", *Natural History* 83 (1974): 18, 21, 24.

1. Bitkilerin Gördükleri

1. *Merriam-Webster*, www.merriam-webster.com/dictionary/sight.
2. Charles Darwin ve Francis Darwin, *The Power of Movement in Plants*, New York: D. Appleton, 1881, s. 1.
3. *A.g.y.*, s. 450.
4. ABD Tarım Bakanlığı'nın ışık üzerine yaptığı araştırmaların kısa bir tarihi için bkz. www.ars.usda.gov/is/timeline/light.htm.
5. Wightman W. Garner ve Harry A. Allard, "Photoperiodism, the Response of the Plant to Relative Length of Day and Night", *Science* 55, no. 1431 (1922): 582-83.
6. Marion W. Parker ve diğ., "Action Spectrum for the Photoperiodic Control of Floral Initiation in Biloxi Soybean", *Science* 102, no. 2641 (1945): 152-55.

7. Harry Alfred Borthwick, Sterling B. Hendricks ve Marion W. Parker, "The Reaction Controlling Floral Initiation", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 38, no. 11 (1952): 929-34; Harry Alfred Borthwick ve diğ., "A Reversible Photoreaction Controlling Seed Germination", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 38, no. 8 (1952): 662-66.
8. Warren L. Butler ve diğ., "Detection, Assay, and Preliminary Purification of the Pigment Controlling Photoresponsive Development of Plants", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 45, no. 12 (1959): 1703-8.
9. Maarten Koornneef, E. Rolff ve Carel Johannes Pieter Spruit, "Genetic Control of Light-Inhibited Hypocotyl Elongation in *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh", *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 100, no. 2 (1980): 147-60.
10. Joanne Chory, "Light Signal Transduction: An Infinite Spectrum of Possibilities", *Plant Journal* 61, no. 6 (2010): 982-91.
11. Daha açık bir ifadeyle, arabidopsisin en az on bir fotoreseptörü vardır ve bunlar beş farklı sınıfa ayrılır: fototropinler, fitokromlar, kriptokromlar ve iki sınıf daha. Diğer bitkilerde de bu beş farklı sınıftan fotoreseptör vardır, ama bu sınıfların bazıları diğerlerine göre daha fazla veya daha az sayıda olabilir.
12. En ilkel bitki formu olan yeşil algler göz noktası adı verilen organellere sahiptir. Bu noktalar alg hücrelerinin ışığın yönü ve yoğunluğundaki değişiklikleri algılamalarını sağlar. Bu göz noktaları doğadaki en basit göz formları olarak kabul edilir. Georg Kreimer, "The Green Algal Eyespot Apparatus: A Primordial Visual System and More?", *Current Genetics* 55, no. 1 (2009): 19-43.
13. "Kriptokrom" adı aslında Weizmann Enstitüsü'nden Jonathan Gressel'in yaptığı bir şakadan doğmuştur (Jonathan Gressel, "Blue-Light Photoreception", *Photochemistry and Photobiology* 30, no. 6 [1979]: 749-54). Gressel, aralarında liken, yosun, eğreltiotu ve alglerin de bulunduğu ve kriptogamik bitkiler olarak da adlandırılan (bu ismin önemini birazdan göreceğiz) bir grup organizmada mavi ışık tepkilerini incelemekteydi. Farklı canlılarda mavi ışığın etkileri üzerinde çalışmalar yürüten diğer araştırmacılar gibi Gressel de mavi ışığı hangi reseptörün algıladığını bilmiyordu. Yıllarca üzerinde çalışılmasına rağmen hiç kimse bu reseptörü izole etmeyi başaramamıştı; reseptör bir türlü bulunamıyordu, kriptik (gizemli) bir özelliği vardı. Uslanmaz bir laf cambazı olan Gressel, bu tanımlanamayan fotoreseptöre "kriptokrom" adının verilmesini önerdi. Birçok meslektaşının hiç uygun bulmamasına rağmen Gressel'in espiri olsun diye yaptığı bu adlandırma, söz konusu reseptör 1993'te nihayet izole edildiği için artık gizemli olmamasına rağmen, bilimsel terminolojide yer aldı.

14. Margaret Ahmad ve Anthony R. Cashmore, "*HY4* Gene of *A. thaliana* Encodes a Protein with Characteristics of a Blue-Light Photoreceptor", *Nature* 366, no. 6451 (1993): 162-66.
15. Anthony R. Cashmore, "Cryptochromes: Enabling Plants and Animals to Determine Circadian Time", *Cell* 114, no. 5 (2003): 537-43.

2. Bitkilerin Kokladıkları

1. Bkz. merriam-webster.com/dictionary/smell.
2. Frank E. Denny, "Hastening the Coloration of Lemons", *Agricultural Research* 27 (1924): 757-69.
3. Richard Gane, "Production of Ethylene by Some Ripening Fruits", *Nature* 134 (1934): 1008; ve William Crocker, A. E. Hitchcock ve P. W. Zimmerman, "Similarities in the Effects of Ethylene and the Plant Auxins", *Contributions from Boyce Thompson Institute* 7 (1935): 231-48.
4. Nasıl bir şey olduğunu daha iyi anlamak için bunu kendi gözlerinizle görmelisiniz: www.youtube.com/watch?v=NDMXvwa0D9E.
5. Justin B. Runyon, Mark C. Mescher ve Consuelo M. De Moraes, "Volatile Chemical Cues Guide Host Location and Host Selection by Parasitic Plants", *Science* 313, no. 5795 (2006): 1964-67.
6. David F. Rhoades, "Responses of Alder and Willow to Attack by Tent Caterpillars and Webworms: Evidence for Pheromonal Sensitivity of Willows", *Plant Resistance to Insects* içinde, haz. Paul A. Hedin, Washington, D.C.: American Chemical Society, 1983, s. 55-66.
7. Ian T. Baldwin ve Jack C. Schultz, "Rapid Changes in Tree Leaf Chemistry Induced by Damage: Evidence for Communication Between Plants", *Science* 221, no. 4607 (1983): 277-79.
8. Simon V. Fowler ve John H. Lawton, "Rapidly Induced Defenses and Talking Trees: The Devil's Advocate Position", *American Naturalist* 126, no. 2 (1985): 181-95.
9. "Scientists Turn New Leaf, Find Trees Can Talk", *Los Angeles Times*, 6 Haziran 1983, A9; "Shhh. Little Plants Have Big Ears", *Miami Herald*, 11 Haziran 1983, 1B; " Trees Talk, Respond to Each Other, Scientists Believe", *Sarasota Herald-Tribune*, 6 Haziran 1983 ve "When Trees Talk", *New York Times*, 7 Haziran 1983.
10. Baldwin bugün Almanya'nın Jena kentindeki Max Planck Kimyasal Ekoloji Enstitüsü Moleküler Ekoloji bölüm başkanlığı görevini yürütüyor.
11. Martin Heil ve Juan Carlos Silva Bueno, "Within-Plant Signaling by Volatiles Leads to Induction and Priming of an Indirect Plant Defense in Nature", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, no. 13 (2007): 5467-72.

12. Böcek yiyen birçok eklembacaklı, bitkilerle birlikte evrim geçirmiştir; bu eklembacaklılar otçulların saldırısına uğramış bitkilerin yolladığı uçucu sinyalleri fark eder ve bu sinyalleri yiyecek bulmak için ipucu olarak kullanırlar.
13. Hwe-Su Yi ve diğ., "Airborne Induction and Priming of Plant Defenses Against a Bacterial Pathogen", *Plant Physiology* 151, no. 4 (2009): 2152-61.
14. Vladimir Shulaev, Paul Silverman ve Ilya Raskin, "Airborne Signalling by Methyl Salicylate in Plant Pathogen Resistance", *Nature* 385, no. 6618 (1997): 718-21
15. Mirjana Seskar, Vladimir Shulaev ve Ilya Raskin, "Endogenous Methyl Salicylate in Pathogen-Inoculated Tobacco Plants", *Plant Physiology* 116, no. 1 (1998): 387-92.
16. Metil jasmonatta da durum çok benzerdir. Metil jasmonat, bitkilerin otçul hayvanların neden olduğu yaprak hasarlarından sonra salgıladığı bir savunma hormonu olan jasmonik asidin akışkan halidir.
17. Michael Pollan, *The Botany of Desire: A Plant's Eye View of the World*, New York: Random House, 2001; Türkçesi: *Arzunun Botaniği*, çev. kolektif, İstanbul: Domingo, 2011.
18. Shani Gelstein ve diğ., "Human Tears Contain a Chemosignal", *Science* 331, no. 6014 (2011): 226-30.

3. Bitkilerin Hissettikleri

1. Bitkinin isminin "Venüs" kısmının bilimle bir ilgisi yoktur, daha çok on dokuzuncu yüzyıl İngiliz botanikçilerinin müstehcen hayal güçlerinin bir ürünüdür. Bkz. www.sarracenia.com/faq/faq2880.html.
2. Venüs sinek kapanının bu hamlesini izlemek için bkz. www.youtube.com/watch?v=z5fOsgrAJiU&t=83s.
3. Charles Darwin, *Insectivorous Plants*, Londra: John Murray, 1875, s. 286.
4. *A.g.y.*, s. 1.
5. *A.g.y.*, s. 291.
6. John Burdon-Sanderson, "On the Electromotive Properties of the Leaf of *Dionaea* in the Excited and Unexcited States", *Philosophical Transactions of the Royal Society* 173 (1882): 1-55.
7. Alexander G. Volkov, Tejumade Adesina ve Emil Jovanov, "Closing of Venus Flytrap by Electrical Stimulation of Motor Cells", *Plant Signaling & Behavior* 2, no. 3 (2007): 139-45.
8. *A.g.y.*; Dieter Hodick ve Andreas Sievers, "The Action Potential of *Dionaea muscipula* Ellis", *Planta* 174, no. 1 (1988): 8-18.
9. Virginia A. Shepherd, "From Semi-conductors to the Rhythms of Sensi-

tive Plants: The Research of J. C. Bose", *Cellular and Molecular Biology* 51, no. 7 (2005): 607-19.
10. Subrata Dasgupta, "Jagadis Bose, Augustus Waller, and the Discovery of 'Vegetable Electricity,' " *Notes and Records of the Royal Society of London* 52, no. 2 (1998): 307-22.
11. Frank B. Salisbury, *The Flowering Process*, International Series of Monographs on Pure and Applied Biology, Division: Plant Physiology, New York: Pergamon Press, 1963.
12. Mark J. Jaffe, "Thigmomorphogenesis: The Response of Plant Growth and Development to Mechanical Stimulation – with Special Reference to *Bryonia dioica*", *Planta* 114, no. 2 (1973): 143-57.
13. Janet Braam ve Ronald W. Davis, "Rain-Induced, Wind-Induced, and Touch-Induced Expression of Calmodulin and Calmodulin-Related Genes in Arabidopsis", *Cell* 60, no. 3 (1990): 357-64.
14. Dennis Lee, Diana H. Polisensky ve Janet Braam, "Genome-Wide Identification of Touch- and Darkness-Regulated Arabidopsis Genes: A Focus on Calmodulin-Like and *XTH* Genes", *New Phytologist* 165, no. 2 (2005): 429-44.
15. David C. Wildon ve diğ., "Electrical Signaling and Systemic Proteinase-Inhibitor Induction in the Wounded Plant", *Nature* 360, no. 6399 (1992): 62-65.

4. Bitkilerin Duydukları

1. Örneğin "Plants and Music", www.miniscience.com/projects/plantmu sic/index.html.
2. Ross E. Koning, Science Projects on Music and Sound, Plant Physiology Information Website, plantphys.info/music.shtml; www.youth.net/nsrc/sci/sci048.html#anchor992130; jrscience.wcp.muohio.edu/nsfall05/LabpacketArticles/WhichtypeofmusicbeststimuI.html; http://spider2.allegheny.edu/student/S/sesekj/FS%20Bio%20201%20Coenen%20Draft% 20Results-Discussion.doc.
3. Duyma engeliyle ilgili bilgi için bkz. www.disabled-world.com/disability/types/hearing.
4. Ses dalgalarının frekansı hertz (Hz) cinsinden ölçülür. 1 Hz bir saniyede bir dalgaya tekabül eder. İnsanlar 20 Hz ile 20.000 Hz aralığındaki ses dalgalarını duyar. Örneğin bir kontrbasın en düşük frekanslı notasının (kalın mi) titreşim hızı 41.2 Hz, bir kemanın en yüksek frekanslı notasının (ince mi) titreşim hızı 2637 Hz'dir. Bir piyanodaki en ince do'nun titreşim hızı 4186 Hz iken, bunun iki oktav üstündeki do'nun titreşim hızı 16.000 Hz'dir. Köpeklerin kulakları 20.000 Hz üzerindeki seslere tepki

verir (köpek düdüğünün sesini bu nedenle duyamayız); yarasalar ise 100.000 Hz frekansında sesler çıkarabilir ve bu frekanstaki sesleri ve yankılarını algılar, bu sesleri bünyelerindeki sonar sistemi içinde kullanarak karşılarındaki alanın haritasını çıkarırlar. Buna karşılık filler 20 Hz'den *düşük* frekanslı sesleri işitebilir ve çıkarabilirler, ki insanlar bu sesleri de algılayamaz.

5. Francis Darwin (haz.), *Charles Darwin: His Life Told in an Autobiographical Chapter and in a Selected Series of His Published Letters*, Londra: John Murray, 1892.
6. Katherine Creath ve Gary E. Schwartz, "Measuring Effects of Music, Noise, and Healing Energy Using a Seed Germination Bioassay", *Journal of Alternative and Complementary Medicine* 10, no. 1 (2004): 113-22.
7. The Veritas Research Program, veritas.arizona.edu.
8. Ray Hyman, "How Not to Test Mediums: Critiquing the Afterlife Experiments", www.csicop.org/si/show/how_not_to_test_mediums_critiquing_the_afterlife_experiments//; Robert Todd Carroll, "Gary Schwartz's Subjective Evaluation of Mediums: *Veritas* or Wishful Thinking?", skepdic.com/essays/gsandsv.html.
9. Creath ve Schwartz, "Measuring Effects of Music, Noise, and Healing Energy".
10. Bir yandan Ottowa Üniversitesi'nden Pearl Weinberger'a atıfta bulunurken diğer yandan deneyleri için "yumuşak" sesler seçmiş olmaları ilginçtir, zira Weinberger 1960'larda ve 70'lerde gerçekleştirdiği deneylerde ultrasonik dalgalar kullanmıştı (ve bunlar kesinlikle "yumuşak" değildir).
11. Creath, VortexHealing eğitimi almıştı. VortexHealing şu şekilde tarif ediliyor: "İlahi bir şifa sanatı ve aydınlanma yoludur. Duygusal bilincin köklerini dönüştürmek, fiziksel bedeni iyileştirmek ve insan kalbinin içindeki özgürlüğü uyandırmak için tasarlanmıştır. Kökeni Merlin'e dayanan bir yöntemdir." Bkz. www.vortexhealing.com.
12. Dorothy L. Retallack, *The Sound of Music and Plants*, Santa Monica, Calif.: DeVorss, 1973.
13. Anthony Ripley, "Rock or Bach an Issue to Plants, Singer Says", *New York Times*, 21 Şubat 1977.
14. Franklin Loehr, *The Power of Prayer on Plants*, Garden City, N.Y.: Doubleday, 1959.
15. Linda Chalker-Scott, "The Myth of Absolute Science: 'If It's Published, It Must Be True,' " www.puyallup.wsu.edu/~linda% 20chalker-scott/horticultural%20myths_files/Myths/Bad%20science.pdf.
16. Richard M. Klein ve Pamela C. Edsall, "On the Reported Effects of Sound on the Growth of Plants", *Bioscience* 15, no. 2 (1965): 125-26.

17. Nütasyon bitkinin çeşitli bölümlerinde görülen döngüsel salınım veya eğilme hareketidir.
18. *A.g.y.*
19. *Bitkilerin Gizli Yaşamı*'nda Retallack'ın araştırmasının eksikliklerinin bazılarından da söz edilir.
20. Arthur W. Galston, "The Unscientific Method", *Natural History* 83, no. 3 (1974): 18, 21, 24.
21. Janet Braam ve Ronald W. Davis, "Rain-Induced, Wind-Induced, and Touch-Induced Expression of Calmodulin and Calmodulin-Related Genes in Arabidopsis", *Cell* 60, no. 3 (1990): 357-64.
22. Peter Scott, *Physiology and Behaviour of Plants*, Hoboken, N.J.: John Wiley, 2008.
23. The Arabidopsis Genome Initiative, "Analysis of the Genome Sequence of the Flowering Plant *Arabidopsis thaliana*", *Nature* 408, no. 6814 (2000): 796-815.
24. Bu sayılara ihtiyatla yaklaşmak gerekir, zira "gen"in kesin tanımı sürekli gelişiyor ve bu tanım değişikliğiyle birlikte sayısı da değişiyor. Ama genel eğilim ve ölçüler doğrudur.
25. Alan M. Jones ve diğ., "The Impact of *Arabidopsis* on Human Health: Diversifying Our Portfolio", *Cell* 133, no. 6 (2008): 939-43.
26. Daniel A. Chamovitz ve Xing-Wang Deng, "The Novel Components of the Arabidopsis Light Signaling Pathway May Define a Group of General Developmental Regulators Shared by Both Animal and Plant Kingdoms", *Cell* 82, no. 3 (1995): 353-54.
27. Kiyomi Abe ve diğ., "Inefficient Double-Strand DNA Break Repair Is Associated with Increased Fascination in *Arabidopsis* BRCA2 Mutants", *Journal of Experimental Botany* 70, no. 9 (2009): 2751-61.
28. Şu adreste miyosin hareket halinde tasvir ediliyor: www.sci.sdsu. edu/movies/actin_myosin_gif.html.
29. Valera V. Peremyslov ve diğ., "Two Class XI Myosins Function in Organelle Trafficking and Root Hair Development in Arabidopsis", *Plant Physiology* 146, no. 3 (2008): 1109-16.
30. "Phonobiologic Wines", www.brightgreencities.com/v1/en/ bright-greenbook/italia/vinho-fonobiologico.
31. Roman Zweifel ve Fabienne Zeugin, "Ultrasonic Acoustic Emissions in Drought-Stressed Trees – More Than Signals from Cavitation?", *New Phytologist* 179, no. 4 (2008): 1070-79.
32. Theodosius Dobzhansky, "Biology, Molecular and Organismic", *American Zoologist* 4, no. 4 (1964): 443-52.

5. Bitkilerin Konumlarına Dair Bildikleri

1. Hızlandırılmış çekim tekniğiyle hazırlanan bir klipte, yana yatırılan bir kökün yavaş ama emin hareketlerle aşağıya doğru yönlendiği ve aşağıya doğru büyümesini sürdürdüğü görülüyor: phytomorphy.wisc.edu/assets/movies/gravitropism_movie.avi. Şu sitede benzer başka çekimler de bulabilirsiniz: plantsinmotion.bio.indiana.edu.
2. Henri-Louis Duhamel du Monceau, *La physique des arbres où il est traité de l'anatomie des plantes et de l'économie végétale: Pour servir d'introduction au "Traité complet des bois & des forests", avec une dissertation sur l'utilité des méthodes de botanique & une explication des termes propres à cette science & qui sont en usage pour l'exploitation des bois & des forêts*, Paris: H. L. Guérin & L. F. Delatour, 1758.
3. Thomas Andrew Knight, "On the Direction of the Radicle and Germen During the Vegetation of Seeds", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 96 (1806): 99-108.
4. Charles Darwin ve Francis Darwin, *The Power of Movement in Plants*, New York: D. Appleton, 1881.
5. Ryuji Tsugeki ve Nina V. Fedoroff, "Genetic Ablation of Root Cap Cells in *Arabidopsis*", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96, no. 22 (1999): 12941-46.
6. Miyo Terao Morita, "Directional Gravity Sensing in Gravitropism", *Annual Review of Plant Biology* 61 (2010): 705-20.
7. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla tohumlar DNA'larında mutasyona neden olan bir kimyasala maruz bırakılır. Kimyasalın gravitropizm için gerekli olan geni etkileme olasılığı çok düşüktür; bu nedenle binlerce fidenin test edilmesi gerekir. Neyse ki arabidopsis fideleri küçük olduğundan bu kadar çok sayıda fidenin taranması mümkündür.
8. Joanna W. Wysocka-Diller ve diğ., "Molecular Analysis of SCARECROW Function Reveals a Radial Patterning Mechanism Common to Root and Shoot", *Development* 127, no. 3 (2000): 595-603.
9. Arabidopsisteki ve diğer organizmalardaki mutantların adlandırılma önceliği o mutantı ilk izole eden biliminsanındadır. Mutantın adı küçük harflerle ve italik yazılır ve mutant genin adına tekabül eder. Bazı biliminsanları daha muhafazakârdır, mutantları onların bariz özelliklerine göre adlandırır (arabidopsisteki *kısakök* mutantında olduğu gibi; tahmin edileceği üzere bu mutantın kökleri kısadır). Bazıları daha yaratıcıdır: *korkuluk*, *çokfazlaağız* ve *kurtadam* adlı arabidopsis mutantlarında olduğu gibi.
10. Daisuke Kitazawa ve diğ., "Shoot Circumnutation and Winding Movements Require Gravisensing Cells", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102, no. 51 (2005): 18742-47.

11. Wysocka-Diller ve diğ., "Molecular Analysis of SCARECROW Function".
12. Daha üst düzey (çiçekli) bitkilerde statolitler amiloplast adıyla da bilinir; bunlar kloroplastın dönüşüme uğramış biçimidir ve klorofil yerine nişasta içerirler.
13. Sean E. Weise ve diğ., "Curvature in *Arabidopsis* Inflorescence Stems Is Limited to the Region of Amyloplast Displacement", *Plant and Cell Physiology* 41, no. 6 (2000): 702-9.
14. John Z. Kiss, W. Jira Katembe ve Richard E. Edelmann, "Gravitropism and Development of Wild-Type and Starch-Deficient Mutants of Arabidopsis During Spaceflight", *Physiologia Plantarum* 102, no. 4 (1998): 493-502.
15. Peter Boysen-Jensen, "Über die Leitung des phototropischen Reizes in der Avenakoleoptile", *Berichte des Deutschen Botanischen Gesellschaft* 31 (1913): 559-66.
16. Örneğin bkz. www.dailymotion.com/video/x1hp9q.
17. Şu linkte yer alan filmde iyi bir sirkumnutasyon örneği görülebilir: www.pnas.org/content/suppl/2006/01/11/0510471102.DC1/10471Movie1.mov.
18. Maria Stolarz ve diğ., "Disturbances of Stem Circumnutations Evoked by Wound Induced Variation Potentials in *Helianthus annuus* L.", *Cellular & Molecular Biology Letters* 8, no. 1 (2003): 31-40.
19. Anders Johnsson ve Donald Israelsson, "Application of a Theory for Circumnutations to Geotropic Movements", *Physiologia Plantarum* 21, no. 2 (1968): 282-91.
20. Aslında yörüngede "yerçekimsiz" ortamdan ziyade "mikroçekimli" ortamdan söz edilir, zira dünyanın yörüngesinde yüzde 0.001 kadarlık bir yerçekimi söz konusudur.
21. Allan H. Brown ve diğ., "Circumnutations of Sunflower Hypocotyls in Satellite Orbit", *Plant Physiology* 94 (1990): 233-38.
22. John Z. Kiss, "Up, Down, and All Around: How Plants Sense and Respond to Environmental Stimuli", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, no. 4 (2006): 829-30.
23. Kitazawa ve diğ., "Shoot Circumnutation and Winding Movements Require Gravisensing Cells".
24. Anders Johnsson, Bjarte Gees Solheim ve Tor-Henning Iversen, "Gravity Amplifies and Microgravity Decreases Circumnutations in *Arabidopsis thaliana* Stems: Results from a Space Experiment", *New Phytologist* 182, no. 3 (2009): 621-29.
25. Yerçekimini algılama mekanizması, statolitlerin hücre içinde hareket etmesinden çok daha karmaşıktır (Morita, "Directional Gravity Sensing in Gravitropism").

6. Bitkilerin Hatırladıkları

1. Mark J. Jaffe, "Experimental Separation of Sensory and Motor Functions in Pea Tendrils", *Science* 195, no. 4274 (1977): 191-92.
2. Endel Tulving, "How Many Memory Systems Are There?", *American Psychologist* 40, no. 4 (1985): 385-98. Tulving'in bellek modelleri yaygın bir kabul görmekle birlikte, yekpare olarak kabul edilmemelidir. Bellek alanında birçok model ve teori mevcuttur ve bunların hiçbiri diğerini dışlamaz.
3. Fatima Cvrckova, Helena Lipavska ve Viktor Zarsky, "Plant Intelligence: Why, Why Not, or Where?", *Plant Signaling & Behavior* 4, no. 5 (2009): 394-99.
4. Todd C. Sacktor, "How Does PKMz Maintain Long-Term Memory?", *Nature Reviews Neuroscience* 12, no. 1 (2011): 9-15.
5. John S. Burdon-Sanderson, "On the Electromotive Properties of the Leaf of *Dionaea* in the Excited and Unexcited States", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 173 (1882): 1-55.
6. Dieter Hodick ve Andreas Sievers, "The Action Potential of *Dionaea muscipula* Ellis", *Planta* 174, no. 1 (1988): 8-18.
7. Alexander G. Volkov, Tejumade Adesina ve Emil Jovanov, "Closing of Venus Flytrap by Electrical Stimulation of Motor Cells", *Plant Signaling & Behavior* 2, no. 3 (2007): 139-45.
8. *A.g.y.*
9. Rudolf Dostál, *On Integration in Plants*, İng. çev. Jana Moravkova Kiely, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967.
10. Anthony Trewavas, "Aspects of Plant Intelligence", *Annals of Botany* 92, no. 1 (2003): 1-20.
11. Michel Thellier ve diğ., "Long-Distance Transport, Storage, and Recall of Morphogenetic Information in Plants: The Existence of a Sort of Primitive Plant 'Memory'", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série III* 323, no. 1 (2000): 81-91.
12. E. W. Caspari ve R. E. Marshak, "The Rise and Fall of Lisenko", *Science* 149, no. 3681 (1965): 275-78.
13. John H. Klippart, *Ohio State Board of Agriculture Annual Report* 12 (1857): 562-816.
14. Ruth Bastow ve diğ., "Vernalization Requires Epigenetic Silencing of *FLC* by Histone Methylation", *Nature* 427, no. 6970 (2004): 164–67; Yuehui He, Mark R. Doyle ve Richard M. Amasino, "PAF1-Complex-Mediated Histone Methylation of *Flowering Locus C* Chromatin Is Required for the Vernalization-Responsive, Winter-Annual Habit in *Arabidopsis*", *Genes & Development* 18, no. 22 (2004): 2774-84.

15. Epigenetik, nesilden nesle aktarılan, DNA sıralamasından bağımsız olan çok geniş çaplı değişiklikleri kapsayan bir terimdir. Bu değişiklikler şunlardır: histonlarda kimyasal değişiklikler, DNA'daki kimyasal değişiklikler (DNA metilasyonu gibi), farklı küçük RNA türleri ve prion adıyla bilinen bulaşıcı proteinler.
16. Kan hücreleri ve karaciğer hücreleri veya polen hücreleri ve yaprak hücreleri gibi hücre türlerini belirleyen en önemli faktör hücrelerin kromatin yapısıdır; kromatin hangi genlerin aktif hale geçirileceğini etkiler.
17. Pedro Crevillen ve Caroline Dean, "Regulation of the Floral Repressor Gene *FLC*: The Complexity of Transcription in a Chromatin Context", *Current Opinion in Plant Biology* 14, no. 1 (2011): 38-44.
18. Jean Molinier ve diğ., "Transgeneration Memory of Stress in Plants", *Nature* 442, no. 7106 (2006): 1046-49.
19. Alex Boyko ve diğ., "Transgenerational Adaptation of *Arabidopsis* to Stress Requires DNA Methylation and the Function of Dicer-Like Proteins", *PLoS One* 5, no. 3 (2010): e9514.
20. Ales Pecinka ve diğ., "Transgenerational Stress Memory Is Not a General Response in Arabidopsis", *PLoS One* 4, no. 4 (2009): e5202.
21. Eva Jablonka ve Gal Raz, "Transgenerational Epigenetic Inheritance: Prevalence, Mechanisms, and Implications for the Study of Heredity and Evolution", *Quarterly Review of Biology* 84, no. 2 (2009): 131-76; Molinier ve diğ., "Transgeneration Memory of Stress in Plants" hakkında değerlendirmeler, karşı görüşler ve yorumlar, Faculty of 1000, 19 Eylül 2006, F1000.com/1033756; Ki-Hyeon Seong ve diğ., "Inheritance of Stress-Induced, ATF-2-Dependent Epigenetic Change", *Cell* 145, no. 7 (2011): 1049-61.
22. Tia Ghose, "How Stress Is Inherited", *Scientist* (2011), the-scientist.com/2011/07/01/ how-stress-is-inherited.
23. Eric D. Brenner ve diğ., "Arabidopsis Mutants Resistant to S(+)-Beta-Methyl-Alpha, Beta-Diaminopropionic Acid, a Cycad-Derived Glutamate Receptor Agonist", *Plant Physiology* 124, no. 4 (2000): 1615-24; Hon-Ming Lam ve diğ., "Glutamate-Receptor Genes in Plants", *Nature* 396, no. 6707 (1998): 125-26.
24. Erwan Michard ve diğ., "Glutamate Receptor - Like Genes Form Ca2+ Channels in Pollen Tubes and Are Regulated by Pistil D-Serine", *Science* 332, no. 434 (2011).
25. Tulving, "How Many Memory Systems Are There?"
26. Cvrckova, Lipavska ve Zarsky, "Plant Intelligence".

Sonsöz: Çevresinin Farkında Olan Bitki

1. Alfred Binet, Théodore Simon ve Clara Harrison Town, *A Method of Measuring the Development of the Intelligence of Young Children*, Lincoln, Ill.: Courier, 1912; Howard Gardner, *Intelligence Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century*, New York: Basic Books, 1999; Stephen Greenspan ve Harvey N. Switzky, "Intelligence Involves Risk-Awareness and Intellectual Disability Involves Risk-Unawareness: Implications of a Theory of Common Sense", *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, 2011; Robert J. Sternberg, *The Triarchic Mind: A New Theory of Human Intelligence*, New York: Viking, 1988.
2. Reuven Feuerstein, "The Theory of Structural Modifiability", *Learning and Thinking Styles: Classroom Interaction* içinde, haz. Barbara Z. Presseisen, Washington, D.C.: NEA Professional Library, National Education Association, 1990; Reuven Feuerstein, Refael S. Feuerstein ve Louis H. Falik, *Beyond Smarter: Mediated Learning and the Brain's Capacity for Change*, New York: Teachers College Press, 2010; Binyamin Hochner, "Octopuses", *Current Biology* 18, no. 19 (2008): R897-98; Britt Anderson, "The G Factor in Nonhuman Animals", *Novartis Foundation Symposium* 233 (2000): 79-95.
3. William Lauder Lindsay, "Mind in Plants", *British Journal of Psychiatry* 21 (1876): 513-32.
4. Anthony Trewavas, "Aspects of Plant Intelligence", *Annals of Botany* 92, no. 1 (2003): 1-20.
5. Eric D. Brenner ve diğ., "Plant Neurobiology: An Integrated View of Plant Signaling", *Trends in Plant Science* 11, no. 8 (2006): 413-19.
6. Frantiöek Baluöka, Simcha Lev-Yadun ve Stefano Mancuso, "Swarm Intelligence in Plant Roots", *Trends in Ecology and Evolution* 25, no. 12 (2010): 682-83; Frantiöek Baluöka ve diğ., "The 'Root-Brain' Hypothesis of Charles and Francis Darwin: Revival After More Than 125 Years", *Plant Signaling & Behavior* 4, no. 12 (2009): 1121-27; Elisa Masi ve diğ., "Spatiotemporal Dynamics of the Electrical Network Activity in the Root Apex", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, no. 10 (2009): 4048-53.
7. Amedeo Alpi ve diğ., "Plant Neurobiology: No Brain, No Gain?", *Trends in Plant Science* 12, no. 4 (2007): 135-36.
8. Yaşanan ilk uyuşmazlıkların ve birçok tartışmanın ardından bitki nörobiyologları 2009'da, meslek örgütlerinin adını Bitki Nörobiyolojisi Derneği'nden, daha yaygın bir kabul gören Bitkisel Sinyal ve Bitki Davranışları Derneği'ne çevirdiler (her ne kadar "davranış" da içgüdüsel olarak bitkilerle ilişkilendirilmeyen ilginç bir terim olsa da).

9. John J. Bonica, "Need of a Taxonomy", *Pain* 6, no. 3 (1979): 247-52. Ayrıca bkz. www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698 #Pain.
10. Michael C. Lee ve Irene Tracey, "Unravelling the Mystery of Pain, Suffering, and Relief with Brain Imaging", *Current Pain and Headache Reports* 14, no. 2 (2010): 124-31.
11. Alison Abbott, "Swiss 'Dignity' Law is Threat to Plant Biology", *Nature* 452, no. 7190 (2008): 919. İsviçre Anayasası'nda, "hayvanlar, bitkiler ve diğer organizmalar bir muameleye tabi tutulurken, bunun canlı onuru dikkate alınarak yapılması" gerektiğini belirten bir madde vardır. Kurul, onur kavramını bitkiler açısından daha kapsamlı tanımlamak amacıyla kurulmuştu. Bkz. www.ekah.admin.ch/en/topics/dignity-of-living-beings /index.html.

Teşekkür

BU KİTAP üç muhteşem kadının yardım ve tavsiyeleri olmasaydı yayımlanamazdı. Birincisi, beni sınırlarımı zorlamaya, akademik araştırma dışında şeyler yapmaya, yazmaya, son olarak da "gönder" tuşuna basmaya teşfik eden eşim Shira. Onun sevgisi ve inancı olmasaydı bu kitap yazılamazdı. İkincisi, temsilcim Laurie Abkemeier. Onun tecrübesi, kararlılığı, desteği ve sınırsız iyimserliği benim gibi naif bir yazarın kendini Pulitzer Ödüllü kerli ferli bir yazar gibi hissetmesini sağladı. Onunla çalıştığım için çok şanslı hissediyorum kendimi; bana bir temsilci gibi değil, dostça yaklaştı. Üçüncüsü, Scientific American/Farrar, Straus and Giroux'daki editörüm Amanda Moon. Amanda akademik yazım tarzımı okunaklı hale getirmek gibi yıldırıcı bir işle uğraştı. Her bölümü üşenmeden, yılmadan defalarca okuyup düzeltti.

Dünyanın çeşitli yerlerinden birçok biliminsanı bu kitabın bilimsel değeri olan bir çalışma olması için bana yardım etti. Profesör Ian Baldwin (Max Planck Kimyasal Ekoloji Enstitüsü), Janet Braam (Rice Üniversitesi), John Kiss (Miami Üniversitesi), Viktor Zarsky (Çek Cumhuriyeti Bilimler Akademisi) ve Eric Brenner (New York Üniversitesi) yoğun işleri arasında bu kitabın belli bölümlerini okuyup bilimsel olguların gerektiği gibi ifade edilip edilmediğini kontrol etme nezaketini gösterdi. Bu kitabı yazma fikri Eric'le yaptığım konuşmalar sırasında ortaya çıktı. İsabetli tespitleri, teşviği ve dostluğu için ona daima minnettar kalacağım. Ayrıca Profesör Jonathan Gressel (Weizmann Bilim Enstitüsü), Dr. Lilach Hadany (Tel Aviv Üniversitesi), Profesör Anders Johnsson (Norveç Bilim ve Tekno-

loji Üniversitesi), Profesör Igor Kovalçuk (Lethbridge Üniversitesi) ve Dr. Virginia Shepherd'a (New South Wales Üniversitesi) bu projenin çeşitli aşamalarındaki tavsiyeleri için teşekkür ederim. Danışmanlığımı yapan hocalarım Profesör Joseph Hirschberg ve Profesör Xing-Wang Deng'in etkileri yaptığım her bilimsel çalışmada ve yazdığım her yazıda hissediliyor.

Yaptığı düzeltmeler ve işi zamanında bitirmeme yardımcı olan ilgi ve alakası için Karen Maine'e, o muhteşem son okuması için Ingrid Sterner'a ve birlikte çalışmaktan keyif aldığım Scientific American/Farrar, Straus and Giroux'nun çalışanlarına teşekkür ederim.

Tel Aviv Üniversitesi'nde ufuk açıcı tartışma ve fikirleriyle bana çok yardımcı olan harika meslektaşlarım olduğu için şanslıyım. Bu kitaptaki birçok fikri ilk Bitki Bilimlerine Giriş dersimizde Profesör Nir Ohad ve Shaul Yalovsky ile araştırmıştık. Laboratuvardaki çalışma arkadaşlarım Ofra, Ruti, Sophie, Elah, Mor ve Giri'ye bu kitabın yazımı sırasında danışmanlık görevimi aksatmamı hoş gördükleri için, Dr. Tally Yahalom'a da yokluğumu telafi ettiği için teşekkür ederim. Onlarla olan günlük temaslarım, araştırmanın neden heyecan verici olduğunu sürekli hatırlamamı sağlıyor. Tevazu ve odaklanmanın birlikte sinerji oluşturarak insanın önemli hedeflere ulaşmasını nasıl sağladığını bana gösteren Manna Bitki Biyobilimi Merkezi'nin velinimetine de minnettarım.

Portre fotoğrafım için Alan Chapelski'ye ve yazıya başlamama yardımcı olan Deborah Luskin'e çok teşekkür ediyorum. Kitabı yazarken ailem desteğini benden hiç esirgemedi. Kitabın ilk taslağını okuyan kız kardeşim Raina'ya, Ehud, Gitama, Yanai, Phyllis ve annem Marcia'ya ne kadar teşekkür etsem az. Çocuklarım Eytan, Noam ve Shani benim için daima bir neşe kaynağı oldu ve yeri geldiğinde doğru sözcüğü bulmama yardım ettiler. Son olarak, yazımda düzeltmeler yapan ve desteğini hiç esirgemeyen, kitap yayımlanana kadar yokluğumu telafi eden babam David'e teşekkür ederim.

Görseller İçin Kaynakça

s. 21 Amédée Masclef, *Atlas des plantes de France*, Paris: Klincksieck, 1891.

s. 22 Varda Wexler.

s. 23 Ernst Gilg ve Karl Schumann, *Das Pflanzenreich*, Hausschatz des Wissens, Neudamm: Neumann, yak. 1900.

s. 29 USDA-NRCS PLANTS Database / Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 2:176.

s. 38 USDA-NRCS PLANTS Database / Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 3:49.

s. 43 Prof. Dr. Otto Wilhelm Thomé, *Flora von Deutschland, Österreich, und der Schweiz*, Gera: Köhler, 1885.

s. 44 Walter Hood Fitch, *Illustrations of the British Flora*, Londra: Reeve, 1924.

s. 46 Francisco Manuel Blanco, *Flora de Filipinas* [Atlas II], Manila: Plana, 1880-83.

s. 48 2 ve 3. şekillerden yararlanılarak yapılan çizim: Martin Heil ve Juan Carlos Silva Bueno, "Within-Plant Signaling by Volatiles Leads to Induction and Priming of an Indirect Plant Defense in Nature", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, no. 13 (2007): 5467-72. Copyright © 2007 National Academy of Sciences, U.S.A.

s. 52 Lothar Grünz'ün Wilhelma'da çektiği bir fotoğraftan yararlanılarak yapılan bir *Amorphophallus titanum* çizimi: Lothar Grünz (2005).

s. 56 USDA-NRCS PLANTS Database, http://plants.usda.gov, erişim tarihi: 25 Ağustos 2011, National Plant Data Team, Greensboro, N.C., 27401-4901 U.S.A.

s. 58 Charles Darwin'in *Insectivorous Plants* (Londra: John Murray, 1875) başlıklı kitabında yer alan 12 numaralı çizimden alınmıştır.

s. 63 Paul Hermann Wilhelm Taubert, *Natürliche Pflanzenfamilien*, Leipzig: Engelmann, 1891, 3:3.

s. 65 USDA-NRCS PLANTS Database / Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 3:345.

s. 71 USDA-NRCS PLANTS Database / Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 3:168.

s. 77 George Crouter, Dorothy L. Retallack, *The Sound of Music and Plants*, Santa Monica, Calif.: DeVorss, 1973, s. 6.

s. 80 Francisco Manuel Blanco, *Flora de Filipinas*, Cilt 4, Manila: Plana, 1880-83.

s. 82 Prof. Dr. Otto Wilhelm Thomé, *Flora von Deutschland, Österreich, und der Schweiz*, Gera: Köhler, 1885.

s. 94 Varda Wexler.

s. 97 Charles Darwin ve Francis Darwin'in *The Power of Movement in Plants* (New York: D. Appleton, 1881) başlıklı kitabındaki 196 numaralı şekilden alınmıştır.

s. 99 Walter Hood Fitch, *Curtis's Botanical Magazine*, Cilt 94, seri 3, no. 24 (1868), plaka 5720.

s. 102 USDA-NRCS PLANTS Database/A. S. Hitchcock, gözden geçirip düzelten Agnes Chase, *Manual of the Grasses of the United States*, USDA Miscellaneous Publication no. 200, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

s. 105 Charles Darwin ve Francis Darwin'in *The Power of Movement in Plants* (New York: D. Appleton, 1881) başlıklı kitabında yer alan 6 numaralı şekilden alınmıştır.

s. 106 USDA-NRCS PLANTS Database/USDA Natural Resources Conservation Service, *Wetland Flora: Field Office Illustrated Guide to Plant Species.*

s. 116 Varda Wexler.

s. 117 USDA-NRCS PLANTS Database/Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 2:436.

s. 119 USDA-NRCS PLANTS Database/Nathaniel Lord Britton ve Addison Brown, *An Illustrated Flora of the Northern United States, Canada, and the British Possessions*, 3 cilt, New York: Charles Scribner's Sons, 1913, 3:497.

s. 120 USDA-NRCS PLANTS Database/A. S. Hitchcock, gözden geçirip düzelten Agnes Chase, *Manual of the Grasses of the United States*, USDA Miscellaneous Publication no. 200, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

Dizin

açelya, 123
ağaçlar, 110
"ağlayan" gündüzsefası (*Shidareasagao*), 98
akkavak (*Populus alba*), 44
aksöğüt (*Salix alba*), 43
algler, 14, 136n21
Allard, Harry A., 24
amiloplast, 143n2
anısal bellek, 122, 127
anlamsal bellek, 112, 127
Anneler Günü, 25
anoetik bilinç, 127
arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*), 28-29, 66-67, 83-86, 97-98, 104, 107-9, 121-22, 125-26, 136n11, 142n7
arı vızıldaması, 87
armut, 36, 37
arpa, 44
asalak bitkiler, 39-41, 91
aspirin (asetilsalisilik asit), 14, 49, 50
avokado, 36
ayçiçeği (*Helianthus annuus*), 105-7

Bach, Johann Sebastian, 78, 81
bağışıklık belleği, 113
bakteriler, 33, 47, 49-50, 68
Baldwin, Ian, 42-44, 45, 79, 137n10
Baluöka, Frantiöek, 130
banyan ağaçları, 90
Barışnikov, Mikhail, 103
Başo, Matsuo, 73
bellek,
  belleğin kodlanması (oluşturulması), 113-15, 124, 126
  bellek süreçleri, 111-12, 124, 126
  bilgisayar belleği, 113
  bitki-insan karşılaştırması, 110-11, 126-27, 134
  bitkilerde bellek, 14, 26, 61, 110-27, 131
  insan belleği, 69, 110, 111-13, 115-16, 124
  nesilden nesle aktarım, 124-26
  soğuğu hatırlama, 119-24
  Venüs sinek kapanında, 113-16
Benfey, Phil, 98
Bengay merhemi, 49
beta mirsen, 41
beyin sapı, 133
bezelye, 12, 95, 111-12
bilgisayar belleği, 113
bilinç, 75-76, 127
Binet, Alfred, 129
Biosatellite III, 107
Bird, Christopher, 80
bitki "gözleri", 21, 26-27
bitki anatomisi, 116-17
bitki hormonları, 37, 50, 67, 101, 103, 138n16
bitki hücreleri, 63-4, 68
bitki iletişimi, 37, 40, 41-53
Bitki Nörobiyolojisi Derneği, 146n8
bitki nörobiyolojisi hipotezi, 130, 146n8

bitkilerde acı algısı, 70-71, 132
bitkilerde hareket, 39-40, 89, 101-9
bitkilerde karanlık algısı, 28-29
Bitkilerin Gizli Yaşamı (Tompkins ve Bird), 13-14, 80-81, 141n19
bitkilerin günışığı algısı, 28-33
bitkilerin tekrar toprağa yönelmeleri, 90-91, 93-101
bitkilerle insanlar arasındaki benzerlikler, 11, 127
Bonham, John, 78
Bose, Jagadish Chandra, 62-63
Bowles, Dianna, 70-71
Boysen-Jensen, Peter, 102
böcek yiyen eklembacaklılar, 138n12
böcekler, 45-51, 59
Braam, Janet, 66-69, 81, 82
BRCA genleri, 84-86
Brown, Allan H., 107-8
Brubeck, Dave, 79
budama, 27, 117
buğday, 14, 34, 40-41, 84, 105, 120-22
Burdon-Sanderson, John, 60-62, 114
burun, 34-35
Butler, Warren L., 26

ceset çiçeği (*Amorphophallus titanum*), 51-52
CFTR genleri, 84-85
Columbia uzay mekiği, 107-8
COP9 signalozom, 84
Creath, Katherine, 75-76

çam ağaçları, 87
çok-yıllık bitkiler, 123
çomak hücreler, 19, 30

Darwin, Charles
  bitki hareketi çalışması, 103-7
  evrim teorisi, 13
  fototropizm çalışmaları, 20-22
  müzik deneyi, 75-76
  ve bitki nörobiyolojisi hipotezi, 130
  Venüs sinek kapanıyla ilgili çalışması, 59-60
  yerçekimi deneyi, 95-97
Darwin, Francis, 20-22, 95-96
Davy Faraday Araştırma Laboratuvarı, 62
De Moraes, Consuelo, 40
denge duyusu, 91-93
Denny, Frank E., 36
depolarizasyon, 56, 61
dev Maryland tütünü, 23-25
dinamik farkındalık, 93
DNA, 11, 12, 28, 63, 67-68, 83-85, 122-25, 142n7, 145n15
Dobzhansky, Theodosius, 88
dokunma duyusu,
  bitki-insan karşılaştırması, 55-56, 70-72
  bitkilerde, 54-73, 131
  bitkinin büyümesini engelleyici faktör olarak, 55, 64-66, 82-83
  duygusal çağrışımları, 70
  insanlarda, 55-58, 92
dokunsal stres, 64-69
domates (*Solanum lycopersicum*), 39-41, 70-71, 101, 109
Dostál, Rudolf, 116-18
Duhamel du Monceau, Henri-Louis, 93, 95, 96
duygular, 52-53, 58, 70, 132-33
duyu nöronları, 56
duyusal bellek, 112

Edsall, Pamela, 79-80
ekotipler, 122
el-göz koordinasyonu, 91
elektrokimyasal gradyanlar, 126
elektrokimyasal sinyal, 56, 58
elektromanyetik dalgalar, 18, 30
endodermis, 99-100, 107
epigenetik, 122-25, 145n15

Eski Mısırlılar, 36
etilen gazı, 36-38, 53
etilen reseptörleri, 53

fasulye çimlendirme, 27-28
Feijó, José, 126
fenollü kimyasallar, 42
feromonlar, 42, 52-53
filler, 88, 139n4
fitokimyasallar, 49-50
fitokrom, 26-28, 136n11
FLC (*çiçeklenme lokusu C*) geni, 122-23
fotoperiyodizm, 24, 26-27
fotopsinler, 19, 27, 31
fotoreseptörler, 19, 26, 27-28, 31, 33, 35, 56, 97, 136n11, 136n13
fotosentez, 20, 30, 32, 39, 58, 67
fototropinler, 27, 136n11
fototropizm, 20-22, 26, 31, 96, 101-2, 105
Fransız Bilimler Akademisi, 118

Galston, Arthur, 13, 81
Gane, Richard, 37
Gardner, Howard, 129
Garner, Wightman W., 24
gazyağı, 36
genler
  bitki ve hayvanlarda ortak, 11, 141n24
  bitki ve insanlarda ortak, 84-85
genom
  arabidopsis, 83-86, 124-25
  insan, 84
glutamat reseptörleri, 126
gökkuşağı, 18
görme duyusu, 18, 30
  bitki-insan karşılaştırması, 30-33
  bitkilerde görme duyusu, 14, 17-33
  insanlarda, 19-20, 56, 91
göz noktası, 136n12
gravitropizm, 93, 97-98, 101, 105-7, 109, 142n1, 142n7
Gressel, Jonathan, 136n13
gümüş nitrat, 96-97
gündüzsefası (*Pharbitis nil*), 98-99, 107
güneş gülü bitkisi (*Drosera rotundifolia*), 59

Hadany, Lilach, 87
hareket hormonu (oksin), 103, 119
hastalık genleri, 85
Heil, Martin, 45-51, 53
Hendrix, Jimi, 78
Hipokrat, 49
histonlar, 123, 145n15
Hodick, Dieter, 114
Hohn, Barbara, 125
Hooke, Robert, 12
hücre çekirdeği, 63, 67
hücre duvarı, 63-64, 68

Insectivorous Plants (Böcekçil Bitkiler, Darwin), 59-60
IQ testi, 129
Israelsson, Donald, 105-7
ışık dalgaları, 18-19

iç kulak, 74, 86, 91-92, 100
iç saatler, 27, 31-32
içalgı (propriyosepsiyon), 14, 91-93, 103
İkinci Dünya Savaşı, 25
insanbiçimcilik, 45, 132-33
İsviçre Anayasası, 147n11
işitme duyusu,
  bitki-insan karşılaştırması, 87
  bitkilerde, 14, 73-89
  hayvanlarda, 88
  insanlarda, 74-75, 85, 92
işitme siniri, 74
itdolanbacı (*Sicyos angulatus*), 55

Jaffe, Mark, 65, 111-12
Johnsson, Anders, 105-8

kadife çiçeği (*Tagetes erecta*), 79-80
kalmodulin (modüle edilmiş kalsiyum proteini), 69, 72
kalp fonksiyonu, 57
kalsiyum, 57, 64, 68-69, 72, 114
kanarya otu (*Phalaris canariensis*), 21
kanser, 13, 84-85
kapsaisin, 70
kardiyak monitörleri, 57
kas-motor belleği, 113
kasımpatılar, 25
kaslar
  insanlarda, 68
  kassız hareket, 62, 63
kırmızı ışık, 19-20, 25-27, 28, 31, 118
"kısa gün" bitkileri, 24-25
kısa süreli bellek, 112, 113-16
kış buğdayı (*Triticum aestivum*), 120-21
kızılötesi (UV) ışık, 17, 124
kimyasal sinyaller, 45
Kiss, John, 100-1
kistik fibroz, 84-85
klasik müzik, 74, 78
Klein, Richard, 79-80
klorofil, 39, 143n12
Knight, Thomas Andrew, 93-96
kodlamayan DNA, 84
koku duyusu, 34
  anılarla bağlantı, 52
  bitki-insan karşılaştırması, 34-35, 52-53
  bitkilerde koku duyusu, 14, 34-53
  insanlarda, 34-35, 91
koku reseptörleri, 34-35, 52
koku sinirleri, 34, 53
kokuyla haberleşme, 40-43
konakçı bitki, 39
koni hücreleri, 19-20, 30
"konuşan ağaçlar," 41, 43
Koomneef, Maarten, 27-28, 97
korkuluk geni, 98-99, 142n9
kotiledonlar, 116, 118
Kovalçuk, Igor, 125
kök başlığı, 96, 100
kök tüyleri, 86
kök ucu, 95-96, 100
köpekler, 139n4
kör mutant bitki deneyi, 28
körlük,
  bitkilerde, 22, 27-28, 97
  insanlarda, 18, 19
  köstebeklerde, 119
köstebekler, 119
kriptogamik bitkiler, 136n13
kriptokrom, 27, 31-33, 136n11, 136n13
kromatin, 123, 125, 145n16
kromozomlar, 84, 123
kulaklar, 72, 74
kuraklık, 37, 87, 132
kuşlar, 134
küsküt (*Cuscuta pentagona*), 38-41, 91, 101, 109
küstüm otu (*Mimosa pudica*), 62-64, 68, 75, 89

laleler, 104, 106
Lamarck, Jean-Baptiste, 120, 124
Led Zeppelin, 78
LED, 11
likenler, 136n13
lima fasulyesi (*Phaseolus lunatus*), 45-46, 49, 50
limbik sistem, 52
limon, 36
Lindsay, William Lauder, 129
Lisenko, Trofim Denisoviç, 119-21
lösemi, 12

Mancuso, Stefano, 87, 130
mangrov ağaçları, 90
marul, 12, 121
mavi ışık, 18, 25, 27-28, 31, 32, 68, 136n13
Max Planck Kimyasal Ekoloji Enstitüsü, 45, 137n10
McClintock, Barbara, 12
Meat Loaf, 81-82
mekân duygusu, 90-109
mekanoreseptörler, 56-58, 72, 74
Mendel, Gregor, 12, 119
mentol, 35
Merkel diskleri, 70
merkezkaç deneyleri, 94-95
meşe ağaçları, 87, 123
metil jasmonat, 49, 138n16
metil salisilat, 49-51
metilasyon, 123, 145n15
meyve sinekleri, 12, 32
mısır (*Zea mays*), 81-82
mikroçekim, 143n20
mikrodalga, 18
Mitchell, Mitch, 78
mitokondri, 63
miyosinler, 86, 141n28
moleküler genetik, 27, 96, 100
mor ışık, 19
morfojenik bellek, 116
motor proteinler, 86
Mozart, Wolfgang Amadeus, 79, 81-82
Muir, John, 90
mutluluk, 132
muz, 36-37
Muzak, 78
müzik ve bitkiler, 73-83

nane, 35
nanomotorlar, 86
negatif gravitropizm, 93, 97-98
New Age, 77, 79
nitrojen, 58
nosiseptörler, 57, 70
nöroreseptörler, 126
nörotransmitterler, 57
nükleotitler, 83-85, 123
nütasyon, 80, 141n17

odun boruları, 87, 99
oksin (hareket hormonu), 103, 119
ömürlilik, 56
Orians, Gordon, 42
ortak ata, 129
otolitler, 92, 100-1
otonoetik bilinç, 127

özsu, 59

patates, 14, 84
penguenler, 88
petiol, 71
Pfeffer, Wilhelm, 104
Physiology and Behavior of Plants (Bitkilerin Fizyolojisi ve Davranışı, Scott), 81
pıtrak (*Xanthium strumarium*), 64-65
Pollan, Michael, 51
potasyum, 57, 64, 72, 116
pozitif gravitropizm, 93, 98
prefrontal korteks, 133
prionlar, 145n15
proteinaz inhibitörleri, 70-71
proteinler, 19, 31, 63, 67-69, 85-86, 112, 123, 126
protoplast, 63-64
pulvinus hücreleri, 63-64, 68
putresin, 35

radyo dalgaları, 18-19
Raskin, Ilya, 50
renk algısı, 17-20, 24-26
renk körlüğü, 20
Retallack, Dorothy, 76-80, 82, 83, 141n19

retina, 19, 30
Rhoades, David, 42-43
RNA, 68
rock müziği, 75-83
rodopsin, 19, 27

"sağır" genler, 83-86
sağırlık
  bitkilerde, 83, 89, 129
  insanlarda, 83, 85, 87
salatalık, 95-96
Salisbury, Frank, 64-65, 82
salisilik asit, 49-51
sarmaşıklar, 54
savunma hormonları, 50, 138n16
Schönberg, Arnold, 78
Schultz, Jack, 42-43
Schwartz, Gary, 75-76
Science, 41, 52-53
Scott, Peter, 81
sera bitkileri, 25
ses dalgaları, 74-75, 83, 86, 87-88, 139n4
ses dalgalarının frekansı, 18, 74, 139n4
Shakespeare, William, 34
Shankar, Ravi, 81
Sievers, Andreas, 114
siliya, 59
sirkadiyen ritimler, 31-32
sirkumnutasyon, 104-9, 143n17
soya fasulyesi, 25
söğüt ağacı, 41, 42, 49, 111
statik farkındalık, 93
statolitler, 100-1, 105-8, 143n12, 143n25
stereosiliya, 74
Stolarz, Maria, 105
su çarkı, santrifüj olarak, 94-95
Susquehannock yerlileri, 23
süs lahanası, 104-6

şifa enerjisi deneyi, 76

Takahaşi, Hideyuki, 107-8
Talking Heads, 81
taneneli kimyasallar, 42
TCH genleri (dokunmayla aktive olan genler), 67-69, 81
testosteron, 53
The Beatles, 79-80
The Power of Movement in Plants (Bitkilerde Hareketin Gücü, Darwin), 20, 93
The Sound of Music and Plants (Müzik Sesi ve Bitkiler, Retallack), 76-77
Thellier, Michel, 118
tırtıllar, 42, 111
tigmomorfogenez, 66, 111
Tompkins, Peter, 80
Trewavas, Anthony, 129-30
Tulving, Endel, 111-12, 127
turuncu ışık, 18
turunçgillerin olgunlaştırılması, 36
tuz dengesi, 57
Türlerin Kökeni Üzerine (Darwin), 20
tütsü, 36
tütün (*Nicotiana tabacum*), 23-24, 50, 111
tüy hücreleri, 74-5, 86

Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği, 132
Uluslararası Bitki Nörobiyolojisi Laboratuvarı, 87
Uluslararası Uzay İstasyonu, yerçekimi deneyleri, 108-9
uzak-kırmızı ışık, 25-27
"uzun gün" bitkileri, 25
uzun süreli bellek, 112
van Buren, Maud, 110
Venüs sinek kapanı (*Dionaea musci-*

pula), 54, 58-62, 89, 113-15, 126, 130, 138n1, 138n2
VERITAS Araştırma Programı, 75
vernalizasyon, 121-22
vestibül, 92
vızıldama polinasyonu, 87
virüsler, 50
Volkov, Alexander, 61, 115
von Sachs, Julius, 20, 104
VortexHealing, 140n11

Weinberger, Pearl, 140n10

X ışını, 18

yan tomurcuklar, 117-19
yapay ışık, 24-27
yapraklar, 32, 64-69, 71
yarasalar, 140n4
yarımdaire kanalları, 92
yerçekimi reseptörleri, 95, 100
yerçekimi, 92, 93, 95-103, 106-9, 131, 143n20, 143n25
yeşil ışık, 25
yosun, 136n13
yöntemsel bellek, 111-13, 127
yulaf (*Avena sativa*), 102
yunuslar, 88
zararlı otlar, 39-40
zekâ,
  bitki-insan karşılaştırılması, 130-31
  insanlarda, 129
  ve bitkiler, 129-34
  ve doğal seçilim, 129-30
  ve farkındalık, 131
Zeugin, Fabienne, 87
"zıplayan genler", 12-13
Zweifel, Roman, 87

—

metis bilim

EVELYN FOX KELLER **Genin Yüzyılı**

JOHN GRIBBIN **Schrödinger'in Kedisinin Peşinde**

ADAM ZEMAN **Bilinç: Kullanım Kılavuzu**

EVELYN FOX KELLER **Toplumsal Cinsiyet ve Bilim**

DOUWE DRAAISMA **Bellek Metaforları**

JOHN GRIBBIN **Schrödinger'in Yavru Kedileri**

FRANS DE WAAL **İçimizdeki Maymun**

DOUWE DRAAISMA **Yaşlandıkça Hayat Neden Çabuk Geçer**

GEORGE LEVINE **Darwin Sizi Seviyor**

J. P. CHANGEUX, P. RICOEUR **Neden Nasıl Düşünürüz?**

W. H. CALVIN - G. A. OJEMANN **Neil'in Beyniyle Konuşmalar**

JOANNA MONCRIEFF **İlaçla Tedavi Efsanesi**

CHARLES SEIFE **Alfa ve Omega**

H. R. MATURANA, F. G. VARELA **Bilgi Ağacı**

DAVID S. WILSON **Herkes İçin Evrim**

D. GOLDBERG, J. BLOMQUIST **Evren Kullanma Kılavuzu**

TOBIAS DANTZIG **Sayı: Bilimin Dili**

HARALD FRITZSCH **Yanılıyorsunuz Einstein!**

WALTER LEWIN **Fizik Aşkına**
WARREN GOLDSTEIN ile birlikte

PATRICIA FARA **Bilim: Dört Bin Yıllık Bir Tarih**

metis bilim | 35

Betonun giderek yeşili yuttuğu günümüzde bile her daim bitkilerle iç içeyiz: Evlerimizi, balkonlarımızı onlarla süslüyor, sokaklarda yanlarından geçiyor, parklarda onları seyre dalıyoruz. Peki ama bitkilerin nasıl bir dünyası olduğunu hiç düşünüyor muyuz?

Bu kitapta biyolog Daniel Chamovitz bitkilerin dünyayı nasıl deneyimlediklerini inceliyor. Charles Darwin ve çağdaşlarından günümüz biliminsanlarına kadar birçok yaratıcı zihnin tasarladığı deneyler ışığında, bitkilerin görme, koklama, duyma, dokunma duyuları aracılığıyla neleri "bildiklerini" anlatıyor. Çeşitli kimyasallar sayesinde nasıl birbirleriyle "haberleştiklerini", aşağıyla yukarıyı nasıl ayırt ettiklerini, dokunmaya nasıl tepki verdiklerini, neler "hatırladıklarını" ve çevrelerinin nasıl "farkında olduklarını" açıklıyor. Böylece bitkilerin pek az bildiğimiz zengin dünyasını tanımamıza ve dünyaya onların "gözlerinden bakmamıza" imkân tanıyor.

"Bundan sonra parkta yürüyüşe çıktığınızda durup kendinize sorun," diyor Chamovitz. "Çimenlerin arasındaki karahindiba ne görüyor? Otlar hangi kokuları alıyor? Meşenin yapraklarına dokunun, ileride ona dokunulduğunu hatırlayacağını bilerek. Ama sizi hatırlamayacaktır. Sizse o ağacı hatırlayacak ve anısını her daim hafızanızda yaşatacaksınız."



Metis Bilim
ISBN-13: 978-605-316-136-3

9 786053 161363

Metis Yayınları
www.metiskitap.com