KRALİYET AKADEMİSİ BİLİM KİTABI ÖDÜLÜ



Mark Miodownik

EŞYANIN TABİATI





Üstüne Dünya Kurduğumuz Malzemelerin Olağanüstü Öyküleri



Çeviri: Selen Ak

domingo

Mark Miodownik
EŞYANIN TABİATI

EŞYANIN TABİATI

Mark Miodownik

EŞYANIN TABİATI

Üstüne Dünya Kurduğumuz Malzemelerin Olağanüstü Öyküleri

Çeviri: Selen Ak

domingo

domingo

EŞYANIN TABİATI
MARK MIODOWNIK

Özgün ismi: Stuff Matters
© 2013 Mark Miodownik

Bu kitap ilk kez Birleşik Krallık'ta İngilizce olarak Penguin Books Ltd. tarafından basılmış, Türkçe yayın hakları Onk Ajans aracılığıyla alınmıştır.

Türkçe yayın hakları:
© 2019 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Sertifika No: 12746
Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.

Çeviren: Selen Ak
Editör: Algan Sezgintüredi
Sayfa uygulama: Bahadır Erşık
Özgün kapak tasarımı ve illüstrasyonlar: Patrick Barry
Kapak uyarlama: Betül Güzhan

ISBN: 978 605 198 076 8

Baskı: Şubat 2019
Optimum Basım
Tevfikbey Mah. Dr. Ali Demir Cad. No: 51/1
34295 Küçükçekmece İstanbul
Tel: 0212 463 71 25 Sertifika No: 41707

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

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Şahkulu Mah. Büyük Hendek Cad.
Brot Apt. No: 4 D: 10 Beyoğlu İstanbul
Tel: (212) 245 08 39
e-posta: domingo@domingo.com.tr
www.domingo.com.tr

Ruby, Lazlo ve Ida için.

YAZAR HAKKINDA

Times'ın Birleşik Krallık'taki en etkili 100 bilim insanı arasında gösterdiği Profesör **Mark Miodownik**, University College London'ın Malzeme ve Toplum bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir. Aynı üniversitede, dünyadaki en sıra dışı malzemelerden oluşan bir kütüphaneye ev sahipliği yapan UCL Yapım Enstitüsü'nün kurucu-yöneticisidir.

New York Times çok satanlar listesine giren *Eşyanın Tabiatı*'yla Kraliyet Akademisi Bilim Kitabı Ödülü'nü kazanan Miodownik, son kitabı *Liquid* ile de aynı ödülün 2018 finalistleri arasına girmeyi başarmıştır. Miodownik ayrıca *Gündelik Mucizeler*, *The Genius of Invention*, *How It Works* ve *Secrets of Super Elements* isimli belgesellere de imza atmıştır.

İçindekiler

Giriş 1

1. Boyun Eğmez 12
2. Güvenilir 33
3. Temel 66
4. Nefis 87
5. Mucizevi 106
6. Düş Gibi 127
7. Görünmez 166
8. Kırılmaz 186
9. Zarif 208
10. Ölümsüz 224
11. Sentez 244

Teşekkür 259

Görseller 262

Meraklısı İçin 263

Dizin 264

Giriş

Metroda, sonradan on üç santimetrelik bıçak yarası olarak tanımlanacak yaram kanarken öylece dikilmiş, ne yapacağımı düşünüyordum. 1985 Mayıs'ıydı; tam kapısı kapanacakken Londra metrosuna atlayıp saldırganı dışarıda bırakmıştım. Ama adam son anda bıçağı sallamıştı. Yaram feci bir kâğıt kesiği gibi acıyordu, durumumun ciddiyetini de bilmiyordum ama o zamanlar okul çağında bir İngiliz çocuğu olduğum için utanç duygum, sağduyuma ağır bastı. O yüzden yardım isteyeceğime, yerime oturup eve gitmenin en doğrusu olacağına karar verdim ve işin tuhafı, öyle de yaptım.

Acımı ve sırtımdan akan kanın verdiği tedirginliği unutmak için az önce yaşananlara bir anlam vermeye çalıştım. Saldırgan peronda yanıma yaklaşıp benden para istemişti. Ben başımı iki yana sallayınca ta dibime girmiş, sertçe bakarak, bıçağı olduğunu söylemişti. Bunları söylerken gözlük camlarıma tükürük saçmıştı. Elini soktuğu lacivert anorağının cebini işaret etmişti bakışlarıyla. İçimden bir ses, cepteki sivri çıkıntıyı işaretparmağıyla yaptığını söylüyordu. Derken aklıma başka bir düşünce geliverdi: Gerçekten bıçağı varsa bile o cebe sığdığına göre, bana fazla bir zarar veremeyecek kadar küçük olmalıydı. Benim de kalem açmak için kullandığım çakılarım vardı, böyle bir çakının kat kat giysiyi kolayca delemeyeceğini biliyordum. Üstümde büyük bir gururla giydiğim deri ceketim, onun altında gri yün okul ceketim, V yakalı naylon süveterim, zorunlu taktığım, gevşek bağlanmış, çizgili okul kravatım ve pamuklu

beyaz gömleğim, bir de pamuklu yelek vardı. Kafamda hemen bir plan şekillendi: Konuşturmaya devam edecek, tam kapılar kapanırken adamı itip metroya binecektim. Metronun yaklaştığını görebiliyordum, adamın tepki vermeye zaman bulamayacağından da emindim.

İşin komik tarafı, bir konuda haklı çıktım: Adamın gerçekten de bıçağı yoktu. Silahı, bantla sarılmış bir jiletti. Bir posta pulundan çok da büyük olmayan bu küçücük çelik parçası, üstümdeki beş kat giysiyi deldikten sonra, hiçbir sorunla karşılaşmadan, tek darbede üst derime ve derime girmişti. Daha sonra o silahı karakolda görünce büyülendim. Hayatımda ilk kez jilet görmüyordum elbette ama jiletleri hiç tanımadığımı anlamıştım. O sıralar tıraş olmaya yeni başlamıştım ve jiletlerin yalnızca BIC marka tıraş bıçaklarındaki, turuncu plastikle kaplanmış, sevimli hallerini görmüştüm. Polis bana silah hakkında sorular sorarken, aramızdaki masa sallanınca, masanın üstündeki jilet de sallandı. Sallanan jilet floresan ışıkların altında parlarken, çeliğin keskin kenarının kusursuzluğunu koruduğunu, öğleden sonra yaptığı işten hiç etkilenmediğini gördüm.

Sonrasında bir form doldurmak zorunda kaldığımı anımsıyorum. Tedirgin bir halde yanımda oturan annemle babam, neden bocaladığımı merak ediyordu. Adımı ve adresimi mi unutmuştum acaba? Oysa işin aslı, ilk sayfanın üstündeki zımba teline odaklanmıştım. Zımba telinin de çelikten yapıldığına kalıbımı basardım. Bu sıradan görünümlü, gümüş renkli metal parçası, kâğıdı düzgün ve kati bir biçimde delmişti. Telin arkasını inceledim. Telin birbirine doğru kıvrılan iki ucu, kâğıt tomarını sıkıca kavrayarak bir arada tutuyordu. Bir kuyumcu daha iyi bir iş çıkaramazdı. (Sonradan öğrendiğime göre, ilk zımba Fransa Kralı XV. Louis için yapılan, tellerine kralın nişanı işlenmiş, el yapımı bir zımbaymış. Zımbaların asil kan taşıdığı kimin aklına gelirdi?) "Nadide bir parça" ilan ettiğim zımba

telini annemle babama gösterince, herhalde bir sinir buhranı geçirdiğimi düşünerek, endişeyle birbirlerine baktılar.

Galiba gerçekten bir buhran geçiriyordum. Bir tuhaflık döndüğü kesindi. Çelikle başlayan malzeme takıntım, o gün doğdu. Aniden, çeliğin her yerde bulunmasına karşı aşırı bir duyarlılık geliştirdim. Bir kere bakmaya başlayınca, çeliğin gerçekten de her yerde olduğunu görürsünüz: Polis formunu doldurmak için kullandığım tükenmezkalemin ucunda çelik vardı; beklerken eli kolu durmayan babamın anahtarlığında şıngırdıyordu; o gün ilerleyen saatlerde beni korumasına alarak evime götürdü çünkü kartpostal kalınlığındaki bir tabaka halinde arabamızı kaplıyordu. İşin tuhafı, normalde çok gürültü çıkaran bizim çelik Mini'nin, o gün tüm usluluğunu takınarak, bıçaklanma olayı için benden madden özür dilediğini hissettim. Eve varınca mutfak masasında babamın yanına oturdum; birlikte sessizce annemin yaptığı çorbayı içtik. Derken, ağzıma bile bir çelik parçası soktuğumu fark ederek durakladım. Çorbamı içtiğim paslanmaz çelik kaşığı kasten emdikten sonra, ağzımdan çıkarıp parlak cilalı yüzeyini inceledim. O kadar parlaktı ki kaşığın çukur kısmında çarpık çurpuk bir yansımamı bile görebiliyordum. "Nedir bu?" diyerek kaşığı babama doğru salladım. "Tadı neden bir şeye benzemiyor?" Kontrol etmek için kaşığı yeniden ağzıma sokup büyük bir azimle emdim.

Derken aklıma milyonlarca soru geldi. Nasıl oluyordu da bir malzeme bizim için onca şey yaptığı halde, biz ondan neredeyse hiç söz etmiyorduk? Çelik yaşamımızda öylesine içli dışlı olduğumuz bir karakterdi ki ağzımıza sokuyor, istenmeyen tüylerimizden kurtulmak için kullanıyor, içine biniyorduk. En sadık dostumuzdu ama nasıl işlediğini bilmiyorduk. Ataş bükülürken, jilet neden kesiyordu? Metaller neden parlaktı? Ya da mesela cam neden saydamdı? Herkes betondan nefret ederken mücevhere neden bayılıyordu? Çikolatanın tadı neden bu kadar

güzeldi? Bir malzeme neden göründüğü gibi görünüyor, neden davrandığı gibi davranıyordu?

Bıçaklanma olayından beri, zamanımın büyük bir kısmını malzemelere takıntılı geçirdim. Oxford Üniversitesi'nde malzeme bilimi okudum, jet motoru alaşımları üzerine doktora yaptım ve dünyanın dört bir yanındaki en gelişmiş laboratuvarların bazılarında malzeme bilimcisi ve mühendisi olarak çalıştım. Bu süreçte malzemelere duyduğum hayranlık büyürken, olağandışı malzeme örneklerinden oluşan koleksiyonum da büyüdü. Şimdi o örnekler, arkadaşlarım ve meslektaşların Zoe Laughlin ve Martin Conreen ile birlikte kurduğumuz, kapsamlı malzeme kütüphanesinin bünyesinde yer alıyor. Yüzde 99,8 oranında katı dumana benzer havadan oluşan bir NASA aerojeli gibi kimi parçalar inanılmaz egzotik; kimi, Avustralya'da bir antikacı dükkânının kıyısında köşesinde bulduğum bir uranyum camı gibi, radyoaktif; kimi, büyük titizlikle volframit mineralinden çıkarılmış metal tungsten külçeleri gibi, küçük olmasına karşın saçma sapan bir ağırlığa sahip; kimi ise kendi kendini onaran beton örneği gibi, son derece tanıdık bir malzeme olmasına karşın, bünyesinde bir sır barındırıyor. Hepsi birlikte ele alındığında, bini aşkın malzemeden oluşan bu kütüphane, evlerimizden tutun, giysilerimize, makinelerimize ve sanatımıza kadar, dünyamızı kuran öğeleri temsil ediyor. Kütüphane şu anda University College London (UCL) Yapım Enstitüsü'nde (Institute of Making) bulunmakta ve geliştirilmekte. Bu kütüphanenin içeriğinden yararlanarak uygarlığımızı yeniden kurabileceğiniz gibi, yok edebilirsiniz de.

Ancak, milyonlarca malzeme içeren, çok daha büyük bir malzemeler kütüphanesi vardır, her an katbekat büyüyen bu kütüphane, bilinenlerin en büyüğüdür: insan yapımı dünya. Yan sayfadaki fotoğrafı ele alalım: Dairemin terasında çay içiyorum.



Pek çok bakımdan alelade bir fotoğraf. Ancak dikkatle bakarsanız uygarlığımızın bütününü oluşturan şeylerin bir kataloğunu görürsünüz. Bu şeyler önemlidir. Betonu, camı, tekstil ürünlerini, metali ve diğer malzemeleri sahneden çıkarırsanız orta yerde çırılçıplak titrer halde kalakalırım. Kendimizi uygar saymak hoşumuza gidebilir ancak bize uygarlığı bahşeden, büyük ölçüde malzeme zenginliğidir. Malzemeler olmasaydı, bir anda

hayvanların yüzleştiği basit yaşam mücadelesiyle burun buruna gelirdik. O halde insan gibi davranmamıza izin veren, bir ölçüye kadar geleneklerimiz ve dilimiz aracılığıyla canlı tuttuğumuz giysilerimiz, evlerimiz, kentlerimiz ve eşyamızdır. (Bir afet bölgesini ziyaret ederseniz bunu çok net görürsünüz.) Nitekim maddi dünya yalnızca teknolojimizin ve kültürümüzün bir göstergesi değildir, aynı zamanda bizim bir parçamızdır. O dünyayı biz icat ettik, biz yarattık, o da karşılığında bizi bugünkü halimize getirdi.

Malzemelerin bizim için asıl önemi, uygarlık evrelerini sınıflandırmak için kullandığımız adlardan bellidir: Taş Çağı, Tunç Çağı, Demir Çağı; insan varlığının her yeni dönemi, yeni bir malzeme ile başlamıştır. Victoria Dönemi'nin belirleyici malzemesi çelikti; çelik, mühendislerin asma köprüler, tren rayları, buhar makineleri ve yolcu gemileri yapma hayallerini doludizgin yaşamasına izin verdi. Büyük mühendis Isambard Kingdom Brunel, çeliği çevreyi değiştirmek için kullanarak, modernizmin tohumlarını attı. Malzeme bilimindeki, silikon çipini ve bilgi devrimini getiren atılıma atfen yirminci yüzyıla sıklıkla Silikon Çağı denir. Ancak silikonu ön plana çıkarmak, dönemin modern yaşamında devrim yaratan başka bir dizi yeni malzemeyi görmezden gelmek demektir. Mimarlar, seri üretilen cam tabakaları yapı çeliği ile birleştirerek, kent yaşamına yeni bir tarz kazandıran gökdelenleri üretti. Ürün ve moda tasarımcıları plastiği benimseyerek, evlerimizi ve giysilerimizi değiştirdi. Selüloit üretmek için kullanılan polimerler, görsel kültürde bin yılın en büyük değişimini gerçekleştirerek, sinema çağını açtı. Alüminyum alaşımların ve nikel süperalaşımların geliştirilmesi sayesinde jet motorları üreterek ucuz uçuş imkânına kavuştuk ve böylelikle kültürlerin çarpışması hızlandı. Tıpta ve diş hekimliğinde kullanılan porselenler kendimizi yeni baştan yaratmamızı, sakatlık ve yaşlanma kavramlarını

yeniden tanımlamamızı sağladı; "plastik cerrahi" teriminden de anlaşılacağı gibi, eksikliklerimizi tamamlamak (kalça protezi taktırmak) veya fiziksel özelliklerimizi güzelleştirmek (silikon taktırarak göğüs büyütmek) için kullanılan yeni tedavilerin anahtarları genellikle malzemelerdir. Keza Gunther von Hagens'in *Body Worlds* sergileri, yeni biyomalzemelerin kültürel etkisine tanıklık ederken, bizi hem yaşamda hem ölümde fiziksel varlığımızı düşünmeye çağırır.

Bu kitap, malzemelerle kurduğumuz maddi dünyanın şifresini çözmek ve bu malzemelerin nereden geldiğini, nasıl işlediğini, bizim hakkımızda neler anlattığını öğrenmek isteyenler içindir. İlginçtir, dört bir yanımızda bulunmalarına karşın, malzemeler genelde kendilerini pek belli etmezler. İlk bakışta belirleyici özelliklerini nadiren açık ederler, genellikle de yaşamlarımızın arka planında gözden yiterler. Çoğu metal parlak ve gridir; alüminyum ile çeliğin arasındaki farkı kaç kişi anlayabilir? Kerestelerin arasındaki fark barizdir ama bunun nedenini kaç kişi söyleyebilir? Plastikler kafa karıştırıcıdır, politen ile polipropilen arasındaki farkı kim bilir? Ama belki de daha önemlisi, böyle şeyleri kim, neden önemsemelidir?

Ben önemsiyorum ve neden önemsediğimi size anlatmak istiyorum. Üstelik konu her şeyi oluşturan maddeler olunca, insan istediği yerden başlayabilir. Ben de bu iki nedenden dolayı, kitabımın içeriğinin esin kaynağı ve başlangıç noktası olarak terastaki fotoğrafımı seçtim. Maddenin öyküsünü anlatmak için o fotoğraftaki on malzemeyi ele aldım. Her malzemede, o malzemeyi hayata geçiren talebi göstermeye çalışıyor, perde arkasındaki malzeme bilimini açıklıyor, o malzemenin yapılmasını sağlayan teknolojik kudretimize hayranlığımı sunuyorum ama hepsinden fazla, o malzemenin neden önemli olduğunu anlatmaya çalışıyorum.

Anlatırken de insanlarda olduğu gibi, malzemelerin arasındaki asıl farkların yüzeyin çok altında yattığını görüyoruz.

Malzemeler dünyası, kapsamlı bilimsel donanımı bulunmadığı sürece, çoğu kişiye kapalı bir dünyadır. Haliyle malzemeyi anlamak için insan ölçekli yaşantıdan uzaklaşarak, malzemelerin iç dünyasına yolculuk etmemiz gerekiyor. Bazı malzemeler kokarken, bazılarının neden kokmadığını; bazı malzemeler bin yıl dayanırken, bazılarının neden güneşte sararıp dağıldığını; bazı camlar kurşungeçirmezken, şarap kadehinin neden en ufak bir darbede tuzla buz olduğunu, ancak mikroskobik ölçekte keşfedebiliriz. O mikroskobik dünyaya yolculuk, yiyeceklerimizin, giysilerimizin, aletlerimizin, mücevherlerimizin ve elbette bedenlerimizin arkasındaki bilimi ortaya çıkarır.

Fakat o dünyanın fiziksel ölçeği daha küçük olmakla birlikte, zaman ölçeğinin genelde katbekat büyük olduğunu keşfedeceğiz. Örneğin, bir saç teliyle aynı ölçekte yer alan bir iplik parçasını ele alalım. İplik, çıplak göz yetimizin sınırında bulunan, insan üretimi bir yapıdır ve ipler, battaniyeler, halılar ve en önemlisi, giysiler yapmamızı sağlar. Tekstil ürünleri insanın ürettiği ilk malzemelerden biridir. Kot pantolon veya herhangi bir giysi giydiğimizde, giydiğimiz şey, tasarımı Stonehenge'den çok daha eskiye dayanan, minyatür bir dokuma yapısıdır. Giysiler yazılı tarih boyunca bizi sıcak tutup koruduğu kadar, modaya uymamızı da sağlamıştır. Ama giysiler yüksek teknoloji ürünüdür de aynı zamanda. Yirminci yüzyılda Ay'da astronotları koruyacak kadar dayanıklı tekstil ürünlerinden uzay giysileri yapmayı öğrendik; yapay uzuvlar için katı tekstil ürünleri yaptık; hatta şahsen söylemekten mutluluk duyuyorum, adına Kevlar denen sentetik, yüksek güçlü bir liften dokunmuş, bıçak darbesine dayanıklı "iç giyim" geliştirdik. Malzeme teknolojilerimizin binlerce yıl içinde geçirdiği evrime bu kitapta tekrar tekrar döneceğim.

Her yeni bölüm farklı bir malzeme sunmakla kalmayacak, o malzemeye farklı bir bakış açısı da getirecek. Kimi bölümlerde

malzemeye öncelikle tarihi bir açıdan yaklaşılırken, kiminde daha şahsi bir açıdan yaklaşılacak; kimi kuşku uyandıracak kadar dramatik, kimiyse buz gibi bilimsel olacak; kiminde bir malzemenin kültürel yaşamı, bir diğerindeyse hayranlık uyandıran teknolojik hünerleri vurgulanacak. Kitaptaki tüm bölümlerin, bu yaklaşımların kendine has bir karışımı olmasının nedeni basittir: Malzemeler ve bizim onlarla kurduğumuz ilişki o kadar çeşitlidir ki tüm malzemelere uyacak tek bir yaklaşım yoktur. Malzeme bilimi alanı malzemeleri teknik açıdan anlamamızı sağlayacak en güçlü, en uygun çatıyı sunar ama malzemelerde bilimden fazlası vardır. Sonuçta her şey başka bir şeyden yapılır ve o şeyleri yapanların, sanatçıların, tasarımcıların, aşçıların, mühendislerin, mobilyacıların, kuyumcuların, cerrahların ve tüm diğerlerinin, kullandıkları malzemenin pratik, duygusal ve duyusal boyutuna ilişkin farklı bir anlayışı vardır. Yansıtmaya çalıştığım, malzeme bilgisinin bu çeşitliliğidir.

Örneğin, kâğıt hakkındaki onuncu bölümün bir dizi enstantaneden oluşmasının nedeni, kâğıdın yalnızca birçok formda karşımıza çıkması değil, aynı zamanda hemen herkes tarafından, bin bir farklı biçimde kullanılmasıdır. Öte yandan, biyomalzemeler hakkındaki bölüm, maddi yanımızın derinliklerine, bedenlerimize bir yolculuktur. Burası çok geçmeden malzeme biliminin Vahşi Batısına dönecek bir alandır; burada yeni malzemeler biyonik denen yepyeni bir alanın kapılarını açarak, etimiz ve kanımızla bütünleşmek üzere tasarlanmış "akıllı" biyo-implantların yardımıyla bedenimizi yeniden yaratmamızı sağlar. Böyle malzemeler toplum üstünde derin etkiler yaratırken, kendimizle ilişkimizi toptan değiştirmeyi vaat eder.

Sonuçta her şey atomlardan meydana geldiğinden, atomları yöneten ve kuantum mekaniği adıyla bildiğimiz teorinin betimlediği kurallardan söz etmek kaçınılmazdır. Dolayısıyla küçük şeylerin atomik dünyasına girerken sağduyumuzu tamamen

bir yana bırakıp dalga fonksiyonlarından ve elektron durumlarından söz etmemiz gerekiyor. Bu ölçekte giderek artan sayıda malzeme sıfırdan tasarlanmakta ve imkânsız görünen görevleri yerine getirebilmektedir. Kuantum mekaniği kullanarak tasarlanan silikon çipleri, bilgi çağını çoktan açtı. Benzer biçimde tasarlanan güneş pilleri, yalnızca güneş ışığını kullanarak enerji sorunumuzu çözme potansiyeline sahip. Ama henüz o aşamaya varmadık, hâlâ petrole ve kömüre bağlıyız. Neden? Elinizdeki kitapta, başarmayı umabileceğimiz şeylerin sınırlarına ışık tutmak amacıyla bu sahada yeni doğan büyük umudu inceleyeceğim: grafen.

Malzeme biliminin arkasındaki ana fikir şudur: Görünemeyecek kadar küçük ölçekteki bu değişimler, insan ölçeğinde kendini bir malzemenin davranışındaki değişim olarak gösterir. Ne yaptıklarını görecek mikroskopları bile olmayan atalarımızın, muazzam bir başarı kaydederek, tesadüfen tunç ve çelik gibi yeni malzemeler yapmasını sağlayan süreç, bu süreçtir. Örneğin, bir metal parçasına vurursanız metalin şeklini değiştirmekle kalmaz, içyapısını da değiştirirsiniz. Eğer belli bir yöntemle vurursanız bu içyapı metali sertleştirecek biçimde değişir. Atalarımız bunu, nedenini bilmeseler de deneyimlerinden biliyorlardı. Bu kademeli bilgi birikimi bizi, malzemelerin yapısının önemi daha gerçek anlamda idrak edilmeden Taş Devri'nden yirminci yüzyıla getirmiştir. Demircinin zanaatı gibi zanaatlarda ifadesini bulan, malzemelere yönelik bu ampirik kavrayışın önemi bakidir: Bu kitaptaki hemen hemen bütün malzemeleri kafamız kadar ellerimizle de tanırız.

Maddeyle böylesine duyusal ve şahsi bir ilişki kurmanın olağanüstü sonuçları vardır. Kimi malzemeleri kusurlarına karşın severken, kimilerinden, daha kullanışlı olsalar bile nefret ederiz. Örneğin, seramiği ele alalım. Seramik yemek yeme malzemesidir; tabaklarımız, kâselerimiz, fincanlarımız seramiktir.

Bu malzeme olmaksızın ne ev evdir ne de lokanta lokantadır. Binlerce yıl önce tarımı icat ettiğimizden beri seramiği kullanıyoruz ama seramik en olmadık zamanlarda kırılmaya, çatlayıp parçalanmaya yatkındır. Neden tabak ve fincan yapmak için plastik veya metal gibi, daha sağlam malzemelere geçmedik? Neden mekanik açıdan eksilerine rağmen seramiğe sadık kaldık? Bu soru tasarımcı ve sanatçılardan tutun arkeolog ve antropologlara kadar, türlü akademisyenin araştırma konusu olmuştur. Ama malzemelerle duyusal etkileşimimizi sistematik biçimde araştırmaya adanmış bir disiplin var. Psikofizik denen bu disiplin, çok ilginç bazı keşifler yapmıştır. Örneğin, "gevreklik" araştırmalarının gösterdiği üzere, bazı yiyeceklerden keyif almamız için, o yiyeceğin tadı kadar çıkardığı ses de önemlidir. Buradan esin alan bazı aşçılar ses efekti eklenmiş yiyecekler üretmiştir. Bu arada, bazı patates cipsi üreticileri, cipslerin gevrekliğini artırmakla kalmamış, cips paketinin çıkardığı sesi de artırmıştır. Çikolata hakkındaki bölümde, malzemelerin psikofizik boyutlarını keşfe çıkarak, bu durumun yüzyıllardır yeniliklere yol açan başlıca etken olduğunu göstereceğim.

Bu kitap, malzemelerin ve malzemelerin insan kültürüyle ilişkisinin ayrıntılı bir incelemesi değil, daha ziyade malzemelerin yaşamlarımızdaki etkisini gösteren ve terasta çay içmek gibi masum bir eylemin bile derin bir malzemeler karmaşıklığına dayandığını anlatan bir "enstantanedir". Tarihin ve teknolojinin insan kültürünü nasıl etkilediğini görmek için müzeye gitmenize gerek yoktur; etkileri zaten dört bir yanınızdadır. Çoğu zaman o etkileri görmezden geliriz; görmezden gelmek zorunda kalırız çünkü tüm zamanımızı parmaklarımızı beton bir duvarda gezdirip iç çekerek geçirirsek kaçık muamelesi görürüz. Ama bazen böyle şeyler düşünmenin zamanı gelir: Bir metro istasyonunda bıçaklanmak bana o zamanı vermişti ve umarım bu kitap da size öyle bir zaman verir.

1. Boyun Eğmez



Daha önce bir bar tuvaletinde gizlilik sözleşmesi imzalamam istenmemişti; o yüzden Brian'ın benden tek isteğinin bu olduğunu öğrenince içime sular serpildi. Brian'la henüz bir saat önce tanışmıştım. O zamanlar çalıştığım yere pek uzak sayılmayan

Dun Laoghaire'de, Sheehan's adlı bir *pub*daydık. Brian, sakat bacağı yüzünden bastonla yürüyen, altmışlarında, kırmızı yüzlü bir adamdı. Üstünde şık bir takım vardı, sarıya çalan gri saçları seyrekleşmeye yüz tutmuştu. Silk Cut marka sigarasının birini söndürüp diğerini yakıyordu. Brian, bilim insanı olduğumu öğrenince doğru bir tahminde bulunarak, 1970'lerde Londra'da yaşadıklarıyla ilgileneceğimi düşündü. Doğru zamanda, doğru yerde bulunmuş ve kutusunu bir sterlinden getirttiği 12.000 kutu Intel 4004 silikon çipini, toy bilgisayar endüstrisine kutu başı 10 sterlinden satmıştı. University College Dublin (UCD) Makine Mühendisliği bölümünde metal alaşımlar üstüne çalıştığımdan söz edince düşünceli bir hal takınarak, ilk kez sustu. Sessizliği tuvalete gitmek için fırsat bildim.

Gizlilik anlaşması, Brian'ın defterinden henüz yırttığı bariz bir kâğıt parçasına yazılmıştı. İçeriği kısaydı. Brian'ın icadını bana açıklayacağını, benimse bunu gizli tutacağımı belirtiyordu. Karşılığında bana bir İrlanda sterlini ödeyecekti. Biraz daha anlatmasını istedim ama Brian komik bir hareketle elini dudaklarına götürüp fermuar çekme hareketi yaptı. Bu konuşmayı neden illa bir tuvalet kabininde yapmak istediğini pek anlamıyordum. Omzunun üstünden diğer bar müdavimlerinin tuvalete girip çıktığını görebiliyordum. Acaba yardım çağırsam mı, diye düşündüm. Brian ceketini yokladıktan sonra, bir tükenmezkalem çıkardı. Kot pantolonundan buruşuk bir sterlinlik banknot çıktı. Çok ısrarcıydı.

Her yanı duvar yazılarıyla dolu kabinde kâğıdı imzaladım. Brian da imzaladı, ardından sterlini bana verdi ve böylece kâğıt, yasal bir belgeye dönüştü.

Bardaki içkilerimize döndüğümüzde Brian, körelen jiletleri bileyen elektronik bir makine icat ettiğini anlattı. Bunun tıraş piyasasında devrim yaratacağını çünkü böylelikle insanların ömür boyu tek bir jiletle yetinebileceğini açıkladı. İcat tek taşla

hem milyar dolarlık bir endüstriyi piyasadan silecek, hem Brian'ı olağanüstü zengin bir adam yapacak, hem de dünyanın mineral kaynaklarının tüketimini azaltacaktı. "Ne dersin?" diyerek, birasından muzafferane bir yudum aldı.

Adama kuşkuyla baktım. Her bilim insanının kafasını saçma sapan bir icat fikriyle şişiren biri er ya da geç çıkar. Dahası, jilet konusu benim için hassas bir konuydu. Hammersmith istasyonunun peronundaki olayda sırtımda açılan uzun yarayı düşününce, içimi bir huzursuzluk kapladı. Ama devam etmesini işaret ederek, dinlemeyi sürdürdüm...

Bilimin yirminci yüzyıla kadar çeliği anlamamış olması tuhaf bir vakadır. Yirminci yüzyıldan öncesinde çelik yapımı, binlerce yıldır kuşaktan kuşağa geçen bir zanaattı. Astronomi, fizik ve kimyada etkileyici bir teorik kavrayış kazandığımız on dokuzuncu yüzyılda bile Endüstri Devrimimizin dayandığı demir ve çelik yapımı, sezgisel varsayımlarla, dikkatli gözlemlerle ve büyük ölçüde şansın yardımıyla ampirik yöntemlerle başarılıyordu. (Brian da böyle bir şansın yardımıyla jiletleri bileyecek, devrim niteliğinde yeni bir yöntem bulmuş olabilir miydi? Bu fikri gözardı etmeye hazır olmadığımı fark ettim.)

Taş Devri'nde metal son derece nadirdi ve çok değerliydi çünkü gezegendeki yegâne metal kaynakları bakır ve altındı. Bakır ve altın (madenlerden çıkarılması gereken çoğu metalin aksine), seyrek de olsa yerkabuğunda bulunuyordu. Biraz da demir vardı; mevcut demirin çoğu göktaşı biçiminde gökten düşmüştü.

Kuzey Bosna'da yaşayan Radivoke Lajic, gökten düşen tuhaf metal parçaları hakkında her şeyi bilen bir adamdır. 2007 ile 2008 arasında evine en az beş meteorit çarpmıştır: Bu istatiksel olarak o kadar olanak dışıdır ki adamın uzaylıların kendisini hedef aldığı yönündeki iddiası neredeyse makul görünmektedir.

Lajic 2008 yılında kuşkularını basına açıkladıktan sonra, evine bir meteorit daha çarptı. Darbeleri inceleyerek, eve çarpan taşların gerçekten meteorit olduklarını doğrulayan bilim insanları, bu olağandışı sıklığa bir açıklama getirebilmek için Lajic'in evinin çevresindeki manyetik alanları incelemektedirler.



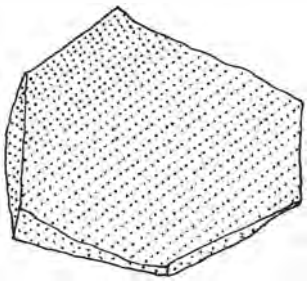
Radivoke Lajic ve 2007 yılından itibaren evine çarpan beş meteorit.

Taş Devri'ndeki atalarımız, bakır, altın ve göktaşı kökenli demiri bulamayınca, aletlerini çakmaktaşı, tahta ve kemikten yapıyorlardı. Hayatında bir kez olsun böyle aletlerle iş görmeyi deneyen, ne kadar kısıtlayıcı olduklarını bilir: Bir tahta parçasına vurursanız ya kıymıklarına ayrılır, ya çatlar ya da kırılır. Aynı şey taş ve kemik için de geçerlidir. Metaller bu diğer malzemelerden temelden farklıdır çünkü çekiçle vurularak şekillendirilebilirler; akışkandırlar, dövülebilirler. Bu kadarla kalmaz, metallere vurduğunuz zaman sağlamlaşırlar: Bir bıçağı döve döve sertleştirebilirsiniz. Süreci tersine çevirmek isterseniz metali ateşe koyup ısıtmanız yeter; metal yumuşayacaktır. Bu özellikleri ilk keşfeden insanlar, 10.000 yıl önce kaya kadar sert ama plastik davranışı sergileyen ve neredeyse sayısız kere yeniden

kullanılabilen bir malzeme bulmuşlardı. Başka bir deyişle aletler, özellikle de balta, keski ve ustura gibi kesici aletler yapmak için ideal malzemeyi keşfetmişlerdi.

Metallerin yumuşak bir malzemeden sert bir malzemeye dönüşebilmesi, atalarımıza sihir gibi gelmiş olsa gerek. Çok geçmeden öğrendiğim üzere, Brian'a da öyle gelmişti. Brian, makinesini deneme yanılma yoluyla icat ettiğini, gerçek anlamda fizik ve kimya bilgisinin işe karışmadığını ama her nasılsa başarıya ulaştığını anlattı. Benden istediği, jiletlerin Brian'ın işleminden geçmeden önceki ve geçtikten sonraki keskinliğini ölçmemdi. Yalnızca bu kanıt Brian'ın jilet şirketleriyle ciddi iş görüşmelerine başlamasını sağlayacaktı.

Brian'a, şirketlerin onu ciddiye alması için birkaç ölçümden daha fazlasının gerekeceğini anlattım. Çünkü metaller kristallerden oluşur. Sıradan bir jilette milyarlarca kristal vardır ve her kristalde çok özel bir biçimde dizilerek neredeyse tam bir üç boyutlu desen oluşturan atomlar vardır.

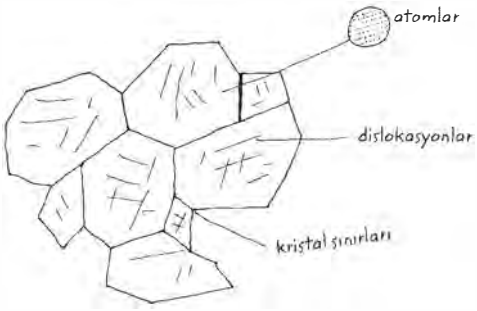


Jilette bulunan bir metal kristali. Nokta sıraları, atomları temsil ediyor.

Aralarındaki bağlar atomları bir arada tuttuğu gibi, kristallere de güçlerini sağlar. Bir jiletin körelmesinin nedeni, karşılaştığı kıllarla çarpışa çarpışa o kristalleri yeniden biçimlenmeye, bağlar kurup koparak jiletin pürüzsüz kenarında küçük çentikler açmaya zorlamasıdır. Bir jiletin Brian'ın önerdiği gibi bir

elektronik mekanizmadan geçerek keskinliğini yeniden kazanması için bu sürecin tersine çevrilmesi gerekir. Başka bir deyişle, o mekanizmanın, atomları harekete geçirerek yıkılan yapıyı yeniden kurması gerekir. Ciddiye alınmak istiyorsa Brian'ın kristaller ölçeğinde yapıyı yeniden kurma sürecini kanıtlaması yetmeyecek, mekanizmanın nasıl çalıştığını da atomik ölçekte inandırıcı bir şekilde açıklaması gerekecekti. Elektrik yoluyla üretilsin veya üretilmesin, ısının genelde Brian'ın iddia ettiğinden farklı bir etkisi vardır; metalleri yumuşatır. Bunu Brian'a açıkladım, oysa zaten biliyordu, üstelik elektronik makinesinin çelik jiletleri ısıtmadığında da ısrarcıydı.

Kristal deyince kafamızda elmas ve zümrüt gibi çok kesitli ve saydam mücevherler belirdiği için metallerin kristallerden yapıldığını düşünmek tuhaf gelebilir. Metallerin kristalli yapısı bize görünmez çünkü metal kristalleri opak ve genelde mikroskop kullanmadan görülemeyecek kadar küçüktür. Elektron mikroskobuyla bakıldığında bir metal parçasındaki kristaller, çılgınca döşenmiş yol taşlarına benzer ve içlerinde eğri büğrü çizgiler vardır. Bunlar dislokasyonlardır. Dislokasyonlar, metal kristallerindeki kusurlardır; atomların normal koşullarda



Bu çizimde kolayca görülsün diye yalnızca birkaç tane dislokasyon gösterdim. Normal metallerde kesişen ve üst üste binen muazzam sayıda dislokasyon vardır.

mükemmel olması gereken kristal dizilimindeki sapmaları temsil ederler. Kristal kusurları, normal şartlarda olmaması gereken atomik aksaklıklardır. Kötü görünmekle beraber, kristal kusurları aslında çok yararlıdır. Metalleri alet, kesici ve nihayet jilet malzemesi olarak bu kadar özel kılan şey dislokasyonlardır çünkü metal kristallerinin biçim değiştirmesini sağlayan onlardır.

Dislokasyonların gücünü görmek için çekiç kullanmanıza gerek yoktur. Bir ataşı büktüğünüzde, aslında bükülen şey metal kristalleridir. Kristaller bükülmeselerdi ataş bir dal parçası gibi kırılırdı. Bu esnek davranış, kristalin içinde hareket eden dislokasyonlar sayesinde edinilir. Dislokasyonlar hareket ederken, kristalin bir tarafından ötekine küçük malzeme parçaları nakleder. Bu işlem ses hızında gerçekleşir. Bir atacı büktüğünüzde, yaklaşık 100.000.000.000.000 dislokasyonun saniyede yüzlerce metre hızla hareket etmesine yol açarsınız. Her dislokasyon kristalin yalnızca küçük bir parçasını (yani aslında tek bir atomik düzlemi) hareket ettirmekle birlikte, kristallerin kolay kırılan bir taş gibi değil, aşırı dayanıklı bir plastik gibi davranmasını sağlayacak kadar fazla dislokasyon söz konusudur.

Bir metalin erime noktası, metal atomlarının birbirine ne kadar sıkı bağlandığının bir göstergesidir ve dolayısıyla dislokasyonların ne kadar kolay hareket edebileceğini de belirler. Kurşunun erime noktası düşüktür, o yüzden dislokasyonlar son derece kolaylıkla hareket ederek kurşunu çok yumuşak bir metal haline getirir. Erime noktası daha yüksek olan bakır, daha dayanıklıdır. Metalleri ısıtmak, dislokasyonların hareket etmesini ve yeniden düzenlenmesini sağlar, bunun bir sonucu da metallerin yumuşamasıdır.

Metallerin keşfi tarih öncesinde önemli bir andı ama bu durum çevrede yeterince metal bulunmamasından kaynaklanan asıl sorunu çözmedi. Elbette, gökyüzünden biraz daha metal düşmesini beklemek de bir seçenekti ama öylesi hayli sabır isterdi.

(Yeryüzüne her yıl birkaç kilo metal düşer ama çoğunlukla okyanuslara düşer.) Ama günün birinde biri, Taş Devri'nin sonunu getirecek ve sınırsız görünen bir metal kaynağına kapı açacak keşfi yaptı. Yeşilimsi bir taşın çok yüksek bir ateşe konup çevresi közlerle sarıldığında, parlak bir metal parçasına dönüştüğü keşfedildi. Bu yeşilimsi taş malakitti ve metal, elbette bakırdı. Baş döndürücü bir aydınlanma yaşamışlardır kuşkusuz. Dört bir yanlarını saran atıl taş, iç yaşamı olan, gizemli bir madde çıkmıştı.

Bu dönüşümü yalnızca malakit gibi birkaç taş türüyle gerçekleştirebilirlerdi çünkü işlemin başarıya ulaşması yalnızca bu taşları saptamaya bağlı değildi, aynı zamanda ateşin kimyasal koşullarının da dikkatlice denetlenmesi gerekiyordu. Ama ateş ne kadar sıcak olursa olsun inatla taş formundan çıkmayan işe yaramaz taşların da bağrında sırlar sakladığından kesin kuşkulanmışlardır. Haklıydılar. Bu pek çok mineralde işe yarayan bir işlemdir, oysa (ateşte oluşan gazlarla taş arasındaki kimyasal tepkimeleri denetlemek için gereken) kimya kavrayışının ergitmede gerçek anlamda yeniden bir çığır açmasına daha binlerce yıl vardı.

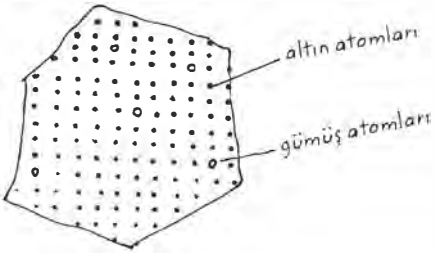
Bu süreçte, yaklaşık MÖ 5000'lerden itibaren, bakır üretimi işlemini mükemmelleştirmek için deneme yanılma yöntemi kullanıldı. Bakır alet yapımı insan teknolojisinde muazzam bir büyüme başlatarak, başka teknolojilerin, kentlerin ve ilk büyük uygarlıkların doğmasına aracılık etti. Mısır piramitleri, elde yeterince bakır alet olunca nelerin mümkün hale geldiğini gösteren bir örnektir. Piramitlerin her bloğu bir madenden çıkarılmış ve bakır keskiler kullanılarak tek tek elde işlenmiştir. Eski Mısır tarihi boyunca, gereken 300.000 keski için 10.000 ton bakır madeninin çıkarıldığı tahmin edilmektedir. Bu büyük bir başarıydı, aksi halde ne kadar köle kullanılırsa kullanılsın piramitler inşa edilemezdi çünkü metal aletler olmaksızın taş oymak, uygulanabilir bir işlem değildir. İşin asıl etkileyici yanı, bakırın çok sert

olmadığı için taş kesmek için ideal malzeme olmamasıdır. Bir kireçtaşını bakır bir keskiyle yontmak, bakırın çabucak körelmesine yol açar. Tahminlere göre, bakır keskilerin iş görmesi için birkaç tokmak darbesinde bir bilenmesi gerekiyordu. Aynı nedenden ötürü bakır, jilet yapmak için de ideal bir malzeme değildir.

Altın bir diğer görece yumuşak metaldir. O kadar yumuşaktır ki yüzükler nadiren saf altından yapılır çünkü saf altın kolayca çizilir. Ama altına yüzde birkaç oranında başka metallerden ekleyerek bir alaşım oluşturursanız altının rengi değişmekle kalmaz (gümüş altını beyazlaştırır, bakırsa kırmızılaştırır) kendisi de sertleşir, çok daha sertleşir. Metal bilimini böylesine büyüleyici kılan, metallerin özelliklerinin, başka maddelerin çok küçük oranlarda eklenmesiyle bu denli değişmesidir. Altın alaşımları örneğinde, gümüş atomlarının nereye gittiğini merak edebilirsiniz. Sorunun yanıtı şudur: Gümüş atomları altın kristal yapısının içine yerleşip bir altın atomunun yerine geçer ve altının dayanıklılığını artıran, kristal örgüsünün içindeki bu atom değişimidir.

Alaşımların genelde saf metallerden daha güçlü olmasının nedeni çok basittir: Alaşım atomlarının ebat ve kimyaları, konakçı metalin atomlarından farklıdır. Dolayısıyla alaşım atomları konakçı kristalin içine yerleşince bin bir çeşit mekanik ve elektrik bozulmaya yol açarlar ve bunlar da tek bir kritik sonuç doğurur: Dislokasyonların hareket etmesi zorlaşır. Dislokasyonlar hareket etmekte zorlandığında metal güçlenir çünkü metal kristallerinin biçim değiştirmesi güçleşir. Dolayısıyla alaşım tasarımı, dislokasyonların hareketini önleme sanatıdır.

Atomlar doğal olarak başka kristallerin içinde de birbirinin yerine geçer. Bir alüminyum oksit kristali safken renksizdir ama demir atomlarıyla saflığı bozulduğunda mavileşerek safir denen mücevhere döner. Aynı alüminyum oksit kristali krom kirliliği içerdiğinde, yakut denen mücevher olur.



Atomik ölçekte gümüş alaşımlı altın. Gümüş atomlarının kristaldeki bazı altın atomlarının yerine nasıl geçtiği görülüyor.

Bakır Çağı'ndan Tunç Çağı'na ve Demir Çağı'na kadar, uygarlık çağları gittikçe güçlenen alaşımların birbirini izlemesini simgeler. Bakır zayıf bir metaldir ama doğada bulunur ve ergitmesi kolaydır. Az miktarlarda kalay, bazen de arsenik içeren tunç, bir bakır alaşımıdır ve bakırdan çok daha sağlamdır. Yani, eğer elinizde bakır varsa ve ne yaptığınızı biliyorsanız fazladan pek bir çaba harcamadan, bakırdan on kat sağlam, on kat sert silahlar ve usturalar üretebilirsiniz. Tek sorun, kalayın ve arseniğin son derece nadir bulunmasıdır. Tunç Çağı'nda tam da bu nedenle, Cornwall (İngiltere) ve Afganistan gibi yerlerden Ortadoğu'daki uygarlık merkezlerine kalay getirmek için kapsamlı ticaret yolları gelişmiştir.

Modern tıraş bıçakları da bir alaşımdan yapılır ama Brian'a açıkladığım gibi bu alaşım, varlığıyla binlerce yıl atalarımızın kafasını karıştıran, çok özel bir alaşımdır. Demir ve karbon alaşımı olan çelik, tunçtan da sağlamdır. Bileşenleriyse çok daha bol bulunur: Hemen hemen her taş parçasında biraz demir vardır ve karbon, her yakacakta bulunur. Atalarımız çeliğin bir alaşım olduğunu fark etmedi; odun kömürü formundaki karbonun yalnızca demiri ısıtıp şekillendirmeye yarayan bir yakacak olmadığını, aynı zamanda demir kristallerinin içine de girebildiğini anlamadılar. Karbon aynı şeyi ergitilen bakıra yapmaz,

kalaya veya tunca da yapmaz ama demire yapar. İnsanlara çok gizemli gelmiştir kuşkusuz; kuantum mekaniği bilgimiz sayesinde karbonun bu etkisinin nedenini ancak yeni yeni açıklayabiliyoruz. (Çelikteki karbon, kristaldeki bir demir atomunun yerine geçmez; demir atomlarının arasına sıkışmayı başararak, gerilmeye maruz kalmış bir kristal oluşturur.)

Bir sorun daha var. Demire çok fazla karbon karıştırılırsa yani, örneğin demir, yüzde bir yerine yüzde dört karbon içerirse son derece kırılganlaşır, haliyle de alet ve silah yapımında kullanılamaz. Bu çok büyük bir engeldir çünkü bir ateşin içinde oldukça fazla karbon vardır. Demiri ateşte gereğinden uzun süre tutarsanız veya ateşte sıvılaşmasına izin verirseniz metal kristallerine büyük miktarda karbon gireceğinden, alaşım kolayca kırılacak kıvama gelir. Böyle yüksek karbonlu çelikten yapılan kılıçlar savaşta kırılıverir.

Alaşımlama sürecinin ilk kez tam anlamıyla açıklandığı yirminci yüzyıla kadar, bazı çelik yapım süreçleri işe yararken, bazılarının neden işe yaramadığını kimse anlamıyordu. Süreçler deneme yanılma yöntemlerine dayanıyordu; başarılı denemeler bir sonraki kuşaklara aktarılıyor, çoğunlukla da meslek sırrı olarak saklanıyordu. Bu sırlar çalınsa bile işlemler o kadar karışıktı ki başka birinin çelik yapım sürecini başarıyla taklit etme şansı çok düşüktü. Bazı kültürlerdeki bazı metalürjik gelenekler son derece yüksek kaliteli çelik yapımıyla tanınır hale geldi ve böyle uygarlıklar gelişti.

1961'de Oxford Üniversitesi'nden Profesör Richmond, MS 89'da Romalıların kazdığı bir çukuru keşfetti. Çukurda 763.840 adet beş santimlik çivi, 85.128 adet orta boy, 25.088 adet büyük boy, 1.344 adet de kırk santimlik aşırı büyük boy çivi vardı. Gömü altından değil de demir ve çelikten oluştuğu için çoğu kişi bu durumda acı bir hayal kırıklığı yaşardı. Ama Profesör

Richmond yaşamadı. Bir Roma lejyonu yedi tonluk demiri ve çeliği neden gömer, diye sordu kendi kendine.

Roma lejyonu İskoçya'da Inchtuthil denen bir yerde, Agricola'nın ileri karargâhlarını ele geçiriyordu. Burası Roma İmparatorluğu'nun menzilinin dışındaydı, lejyonun görevi ise imparatorluk sınırını, vahşi kabileler gözüyle gördüğü Kelt tehdidinden korumaktı. 5.000 kişilik lejyon bölgeyi altı yıl boyunca elinde tuttuktan sonra, geri çekilmek zorunda kalarak kaleyi terk etti. Giderken, arkalarında düşmana yarayacak hiçbir şey bırakmamaya gayret ettiler. Bütün yiyecek içecek kaplarını kırdılar, kaleyi yakıp yerle bir ettiler. Ama bununla da yetinmediler. Küllerde kaleyi vaktiyle ayakta tutan çelik çiviler vardı ve o çiviler Romalıları bölgeden süren kabilelere bırakılmayacak kadar değerliydi. Demir ile çelik, Romalıların su kemerleri, gemiler ve kılıçlar yapmasını mümkün kılmış, bir imparatorluk tasarlamasına izin vermişti. Çivileri düşmanlarına bırakseler bir silah zulası bırakmış kadar olacaklardı, o yüzden güneye çekilmeden önce çivileri bir çukura gömdüler. Silah ve zırhlarının yanı sıra, yanlarına aldıkları az sayıdaki, ufak tefek çelik eşyanın arasında muhtemelen Romalıların uygar yaşam anlayışını özetleyen ve adına *novacula* denen bir nesne de vardı: Romalıların tıraş bıçağı. *Novacula*'lar ve onları kullanan berberler sayesinde, Romalılar sinekkaydı tıraş olup bakımlı bir halde geri çekilerek, kendilerini o topraklardan süren vahşiler güruhundan farklarını göstermişlerdir.

Çelik yapımının esrarlı havası çeşit çeşit efsane doğurmuştur. Bu efsanelerin en uzun ömürlülerinden biri, Romalıların çekilmesi akabinde Britanya'da huzurun ve birliğin sağlanmasını simgeleyen, Kral Arthur'un efsanevi kılıcı *Excalibur*'dur. Kimi zaman büyülü güçler atfedilen bu kılıç, Britanya'nın meşru hükümdarlığıyla ilişkilendirilmiştir. Kılıçların savaşlarda sürekli kırılarak şövalyeleri savunmasız bıraktığı bir çağda, güçlü

bir savaşçının kullandığı yüksek kaliteli bir çelik kılıcın neden uygarlığın kaos üstündeki egemenliğinin simgesi haline geldiğini anlamak kolaydır. Çelik yapımının mecburen ritüellere dayalı bir süreç olması da bu malzemenin neden büyüyle ilişkilendirildiğini anlamamıza yardım eder.

Bu durum en çok Japonya için geçerliydi. Japonya'da bir Samuray kılıcı yapmak haftalar sürüyordu ve dini bir törenin bir parçasıydı. *Ama-no-Murakumo-no-Tsurugi* (Gökyüzünde Toplanan Bulutların Kılıcı), büyük savaşçı Yamato Takeru'nun rüzgârı kontrol ederek tüm düşmanlarını yenmesini sağlayan, efsanevi bir Japon kılıcıdır. Fantastik öykülere ve ritüellere karşın, diğer kılıçlardan on kat sağlam ve keskin kılıçlar yapılabileceği fikri, efsaneden ibaret değildi, gerçekti. MS on beşinci yüzyılda Japon Samurayların yaptığı kılıçların çeliği, dünyanın görüp görebileceği en iyi çelikti ve beş yüzyıl boyunca, metalürjinin yirminci yüzyılda bir bilim haline gelmesine kadar, rakipsiz kaldı.

Samuray kılıçları *tamahagane* denen özel bir çelik türünden yapılırdı. "Mücevher çeliği" olarak çevrilebilecek *tamahagane,* Pasifik'in volkanik siyah kumundan elde edilirdi (bu kum büyük ölçüde, aslında pusula iğnesi malzemesi olan ve adına manyetit denen bir demir cevherini içerir). Söz konusu çelik *tatara* adı verilen, yüz yirmi santimetre yüksekliğinde, yüz yirmi santimetre genişliğinde ve üç yüz altmış santimetre uzunluğunda, kilden, çok büyük bir kapta yapılır. Kap, içinde ateş yakılmak suretiyle "ateşlenir" ve böylece kalıplanmış kil, seramiğe dönüşür. Kap ateşlenince, dikkatli bir şekilde ağzına kadar siyah odun kömürü ve siyah kum tabakalarıyla doldurulur; bunlar seramik fırının içinde tamamen yakılır. İşlem yaklaşık bir hafta sürer ve elle çalışan körüklerle *tatara*'ya hava pompalayarak ateşin gerekli sıcaklıkta kalmasını sağlayacak, dört beş kişilik bir ekibin sürekli ilgisini ister. Sonunda *tatara* kırılarak açılır, *tamahagane* çeliği, kum ve kömür kalıntısı külden çıkarılır. Bu rengi

atmış çelik parçaları çok sevimsizdir ama içeriklerinde bulunan, kimi çok düşük, kimi yüksek bir dizi karbon onları özel kılar.

Samurayların getirdiği yenilik, sert ama kolay kırılan yüksek karbonlu çeliği görece yumuşak ama dayanıklı düşük karbonlu çelikten ayırabilmekti. Bunu yalnızca çeliğin görünüşüne bakarak, gövdesini elleriyle yoklayarak ve vurunca çıkardığı sesi dinleyerek yapıyorlardı. Çeliğin farklı türlerini birbirinden ayırarak, düşük karbonlu çeliğin kılıcın ortasında kullanılmasını sağlıyorlardı. Böylece kılıç neredeyse sakız kıvamında bir elastiklik ve muazzam bir dayanıklılık kazanıyor, dolayısıyla dövüşürken kılıçların kırılması imkânsız hale geliyordu. Kılıcın kenarında kolayca kırılan ama son derece sert olduğu için oldukça keskinleştirilebilen yüksek karbonlu çeliği kullanıyorlardı. Keskin yüksek karbonlu çeliği, dayanıklı düşük karbonlu çeliğin üstüne geçirerek, çoğu kişinin imkânsız gördüğü bir şeyi başarmışlardı: Başka kılıçlarla veya zırhla çarpışmaya dayanabilirken, adamın kafasını kesecek kadar keskin kalabilen bir kılıç yapmışlardı. Bir taşla iki kuş.

Sanayi Devrimi'ne kadar kimse Samuraylarınkinden daha dayanıklı, daha sert bir çelik üretemedi. Sanayi Devrimi'yle birlikte Avrupa ülkeleri daha büyük, daha iddialı ölçekte demiryolları, köprüler ve gemiler gibi yapılar üretmeye başladıklarında dökme demir kullandılar çünkü dökme demir büyük miktarlarda üretilip kalıplara dökülebiliyordu. Ancak ne yazık ki belli koşullar altında çatlamaya son derece yatkındı. Mühendislik iddiasını artırdıkça, o koşullar da daha sık görülmeye başladı.

En kötü kazalardan biri İskoçya'da yaşandı. 28 Aralık 1879 gecesi, dünyanın en uzun köprüsü olan dökme demirden Tay Rail Bridge kışın şiddetli fırtınalar sırasında çöktü. Yetmiş beş yolculu bir tren Tay Nehri'ni boylayınca, yolcuların hepsi hayatını kaybetti. Facia, çoğu kişinin kuşkusunu doğruladı: Demir

bu işe uygun değildi. Samuray kılıçları kadar sağlam çelik üretebilmek yeterli değildi, aynı zamanda o çeliğin seri üretimini de yapabilmek gerekiyordu.

Bir gün Sheffield'da çalışan mühendis Henry Bessemer, İngiliz Bilimsel İlerleme Derneği'nin (British Association for the Advancement of Science) bir toplantısında ayağa kalkarak, bunu başardığını bildirdi. Bessemer'ın yöntemi Samurayların detaylı işlemlerini gerektirmiyordu. Bessemer yöntemiyle tonlarca sıvı çelik üretilebiliyordu. Devrim başlıyordu.

Bessemer yöntemi dâhiyane bir basitlikteydi. Eriyik demirin içine hava püskürtmek suretiyle havadaki oksijenin demirdeki karbonla tepkimeye girmesine ve böylelikle karbondioksit gazına dönüşen karbonun giderilmesine dayanıyordu. Yöntem kimya bilgisi gerektirdiğinden, çelik yapımı ilk kez bilimsel bir temele oturdu. Dahası, oksijenle karbon arasındaki tepkime son derece şiddetli cereyan ettiğinden, büyük bir ısı açığa çıkıyordu. Bu ısı, çeliğin sıcaklığını yükselterek, sıcak ve sıvı kalmasını sağlıyordu. Bessemer yöntemi dolambaçsız bir yöntemdi ve endüstriyel bir ölçekte kullanılabilirdi: Aranan yanıt bulunmuştu.

Bessemer yönteminin tek sorunuysa işe yaramamasıydı. Daha doğrusu, deneyen herkes böyle söylüyordu. Bessemer'dan patent lisansı alıp donanıma büyük paralar yatırdıktan sonra, kolayca kırılan demirden başka bir şey üretemeyen öfkeli çelik üreticileri, çok geçmeden paralarını geri istemeye başladılar. Bessemer'ın verecek bir yanıtı yoktu. Yöntemin kimi zaman başarıyla sonuçlanırken, kimi zaman neden başarısızlığa uğradığını gerçekten anlamıyordu ama teknolojisinin üstünde çalışmayı sürdürdü ve İngiliz metalürjist Robert Forester Mushet'ın yardımıyla, tekniğini geliştirdi. Karbonu gereken miktara, yani yüzde bir oranına kadar düşürmeye çalışmaktan vazgeçti çünkü her çelik üreticisi farklı bir demir kaynağı

kullandığından, karışıklık çıkıyordu. Mushet bunun yerine, önce tüm karbonun giderilmesini, sonra da yeniden yüzde bir oranında karbon eklenmesini önerdi. Öneri işe yaradı, üstelik tekrar tekrar uygulanabiliyordu.

Bessemer dünyanın ilgisini yeni yöntemine çekmeye çalışınca, diğer çelik üreticileri yine bir sahtekârlık döndüğünü varsayarak aldırış etmediler. Sıvı demirden çelik üretmenin imkânsız bir iş, Bessemer'ın ise düzenbazın teki olduğu konusunda ısrarcıydılar. Bessemer sonunda kendi çelik fabrikasını açmaktan ve malzemeyi bizzat üretmekten başka seçenek göremedi. Birkaç yıl sonra, Henry Bessemer&Co. şirketi rakip şirketlere kıyasla o kadar ucuza, o kadar büyük miktarlarda çelik üretiyordu ki sonunda rakipleri de yönteminin patent lisansını almak zorunda kalınca, Bessemer muazzam bir zenginliğe kavuştu ve makine çağı açıldı.

Brian da yeni bir Bessemer olabilir miydi? Elektrik veya manyetik alanların etkisi aracılığıyla jiletin ucundaki metalin kristal yapısını yeniden düzenleyen, kendisinin anlamadığı ama yine de işe yarayan bir yöntemi tesadüfen bulmuş olabilir miydi? İleri görüşlü kişilere gülen, sonra da o kişilerin başarısı karşısında utançtan yerin dibine geçen insanlar hakkında çok şey duyuyoruz. Pek çok kişi havadan ağır makinelerin uçabileceği fikrine güldü, oysa şimdi hepimiz o makinelerle uçup duruyoruz. Aynı şey televizyon, cep telefonları ve bilgisayarlar için de geçerlidir: Hepsi bir istihza bulutundan doğmuştur.

Yirminci yüzyıla kadar çelik usturalar ve cerrah bıçakları fahiş fiyatlara satılıyordu. Elde imal edilmeleri ve en yüksek derece çelikten yapılmaları gerekiyordu çünkü çeliğin yalnızca bu tipi pürüzlere takılmadan (kör jilet kullanmış biri, bıçağın en ufak bir pürüze takılmasında bile nasıl keskin bir acı duyulduğunu iyi bilir) yüz kıllarını kökünden, kolayca kesecek kadar keskinleştirilebiliyordu. Üstelik çelik, hava ve suyla temas

ettikçe korozyona uğradığından, temizleme işlemi de bıçakları köreltir, dolayısıyla ince kesici kenar tam anlamıyla pastan çürür. O yüzden tıraş ritüeli binlerce yıldır bileme işlemiyle başlar; bıçak uzun bir deri parçasına ileri geri sürtülerek bilenir. Deri kadar yumuşak bir malzemenin çeliği bileyebilmesini inandırıcı bulmuyorsanız haksız değilsiniz. Aslında bileme işini yapan, deri kayışa emdirilmiş ince seramik tozudur. Geleneksel yöntemlerde "kırmızı parlatma tozu" denen bir mineral kullanılırdı ama bugünlerde elmas tozu daha yaygındır. Çeliği bir aşağı bir yukarı kayışa sürtmek, bıçağın tozda bulunan son derece sert elmas parçacıklarıyla buluşmasını sağlar ve bu da çarpışmaya maruz kalan az miktardaki metali ortadan kaldırarak, kesici kenara eski hassasiyetini geri verir.

Ama 1903 yılında durum değişti: King Camp Gillette adında Amerikalı bir iş adamı, Bessemer yöntemiyle üretilen bu yeni ucuz endüstriyel çeliği, tek kullanımlık tıraş bıçağı yapımında kullanmaya karar verdi. Böylece tıraş dünyasına demokrasi gelecekti. Gillette'in hayali, tıraş bıçaklarını körelince çöpe atabileceğimiz kadar ucuzlatarak bileme ihtiyacını ortadan kaldırmaktı. 1903 yılında Gillette 51 adet tıraş bıçağı, 168 adet jilet sattı. Bir sonraki yıl 90.884 tıraş bıçağı, 123.648 jilet sattı. 1915 yılına gelindiğinde, şirket Birleşik Devletler, Kanada, İngiltere, Fransa ve Almanya'da imalathaneler açmıştı ve tıraş bıçağı satışları yetmiş milyonu geçmişti. Tıraş olmak için berbere gitme ihtiyacı ortadan kalkınca, tek kullanımlık çelik tıraş bıçakları her banyonun demirbaşı haline geldi. Öyle de kaldı: Bugün yiyecek üretiminde her türlü köklere dönüş hareketi varken, kimse saçını bakır bıçaklarla kestirmek veya kör usturalarla tıraş olmak istemiyor.

Gillette'in iş modeli çoğu nedenden ötürü zekiceydi ve bu nedenlerden biri, hiç kuşkusuz şuydu: Jiletler tıraş yüzünden körelmese bile paslanma yüzünden kısa sürede keskinliğini

kaybederek satışın yinelenişini garanti edecekti. Ama öyküde bir dönüm noktası daha vardı: Bu öylesine basit bir yenilikti ki kazara keşfedilmesi gerekti.

1913 yılında Avrupa güçleri Birinci Dünya Savaşı için harıl harıl silahlanırken, Harry Brearly gelişmiş silah namluları yaratmak için metal alaşımları araştırma işini üstlenmişti. Sheffield'ın metalürji laboratuvarınlardan birinde çalışan Brearly, çeliğe çeşitli alaşım elementleri ekliyor, numunelere bakıyor, sonra da mekanik açıdan numunelerin sertliğini sınıyordu. Brearly çeliğin bir demir ve karbon alaşımı olduğunu biliyordu, ayrıca özelliklerini geliştirmek veya yok etmek için çeliğin içine başka bir sürü element katılabileceğini de biliyordu. O zamanlar bunların nedeni bilinmiyordu, o yüzden Brearly deneme yanılma yöntemini kullanarak çeliği eritti ve etkilerini öğrenmek için içine çeşitli maddeler kattı. Bir gün alüminyum ekliyordu, başka bir gün nikel.

Brearly hiçbir gelişme kaydedemedi. Yeni numunelerden biri sert çıkmadığında, numuneyi laboratuvarın bir köşesine atıyordu. Brearly dâhiyane keşfini bir ay sonra yaptı: Laboratuvarda yürürken, paslı numune yığınında ışıl ışıl parlayan bir şey gördü. Pırıltıyı görmezden gelip *pub*a gideceğine o paslanmamış numune parçasını diğerlerinin arasından çıkarınca parçanın önemini anladı: Elinde dünyanın bildiği ilk paslanmaz çelik parçasını tutuyordu.

Brearly iki alaşım bileşenini, karbon ve kromu tesadüfen doğru oranlarda koyarak, hem krom hem de karbon atomlarının demir kristallerinin içine girdiği, çok özel bir kristal yapısı oluşturmayı başarmıştı. Krom katkısı çeliği sertleştirmemişti ve Brearly numuneyi bu yüzden atmıştı ama ortaya çok daha enteresan bir sonuç çıkmıştı. Normalde, çelik hava ve suyla temas edince, yüzeydeki demir tepkimeye girerek, demir (III) oksit oluşturur. Halk arasında pas olarak bilinen bu kırmızı mineral

pul pul dökülünce, altındaki diğer çelik tabakasını yeni bir korozyona maruz bırakır. Paslanmanın çelik yapılar için kronik bir sorun oluşturmasının nedeni budur; çelik köprüler ve arabalar bu yüzden boyanmaya ihtiyaç duyar. Ama krom devreye girince farklı bir durum gerçekleşir. Krom aşırı kibar bir konuk gibi, ev sahibi demir atomlarına fırsat vermeden oksijenle tepkimeye girerek krom oksit oluşturur. Krom oksit mineraldir, saydamdır, serttir ve çeliğe sımsıkı yapışır. Başka bir deyişle, pul pul dökülmez, varlığını bile hissetmezsiniz. Kimyasal yollarla çeliğin tüm yüzeyini kaplayan, görünmez bir koruyucu tabaka oluşturur. Dahası, bu koruyucu tabakanın kendi kendini onardığını artık biliyoruz, yani mesela paslanmaz çeliği çizip koruyucu tabakayı delseniz bile tabaka yeniden şekillenir.

Brearly dünyanın ilk paslanmaz çelik bıçaklarını yapma denemelerini sürdürdü ama anında sorunlarla karşılaştı. Elde edilen metal keskin bir kenar yapılacak kadar sert değildi, o yüzden adları çok geçmeden "kesmeyen bıçaklara" çıktı. Zaten Brearly'nin alaşımı silah namlusunda kullanmayışının asıl nedeni, sertlikten yoksun olmasıydı. Oysa yüzyılın ilerleyen yıllarında anlaşıldığı üzere, sertlikten yoksun oluşu alaşımın başka şeyler yapmasına izin veriyordu. Alaşım karmaşık biçimlere sokulabiliyordu. Böylece İngiliz heykeltıraşlığının en etkili parçalarından biri ortaya çıktı; hemen her evde bulunan bu parça, mutfak lavabosuydu.

Paslanmaz çelik lavabolar dirençlidir, parlaktır, üstlerine atılan her şeyi kaldırabilecekmiş gibi görünürler. Yağdan ağartıcıya ve aside kadar, her türlü atığımızdan anında ve kolayca kurtulmaya can attığımız bir dünyada, bu malzeme gerçekten yardımımıza koştu. Mutfaktaki seramik lavaboları kapı dışarı etti, izin versek banyodaki seramik hazneleri kapı dışarı ederdi ama henüz bu yeni malzemeye en mahrem atığımızın tasfiyesini emanet edecek kadar güvenmiyoruz.

Paslanmaz çelik modern çağımızın alametifarikasıdır. Temiz görünümlüdür, pırıl pırıldır, adeta yok edilemezmiş gibi gözükür. Oysa özünde çok demokratiktir: Bir yüzyıldan kısa bir süre içinde en içli dışlı olduğumuz metal oluvermiştir; sonuçta hemen her gün ağzımıza soktuğumuz bir malzemedir. Çünkü Brearly sonunda paslanmaz çelikten çatal bıçak takımı yapmayı başardı. O saydam koruyucu krom oksit tabakası sayesinde kaşığın tadı yoktur, dilimiz aslında metale hiç değmez, o yüzden tükürüğümüz metalle tepkimeye girmez. O yüzden bizler çatal bıçaklarımızın tadını almak zorunda kalmayan ilk kuşaklardan biriyiz. Paslanmaz çelik, yıpranmaz görünümlü parlak yüzeyi sayesinde, mimari ve sanatta sıklıkla kullanılır. Anish Kapoor'un Chicago'daki *Cloud Gate* heykeli buna iyi bir örnektir. Heykele baktığımız zaman, içimizdeki çağdaşlık duygusunu, nesnellik duygusunu, kirliliği, yaşamın karmaşasını ve pisliğini yenmiş olma duygusunu ve kendi içimizdeki direnci bize geri yansıtır.

Metalürjistler paslanmaz çeliği çatal bıçak yapımında kullanılacak kadar sertleştirmenin çözümünü ararken, farkında olmadan tıraş bıçaklarının paslanma sorununu da çözdüler ve o güne dek bilinen en keskin bıçağı ürettiler, bu süreçte de pek çok yüzün ve vücudun görünümünü değiştirdiler. Tıraş teknolojisini her eve sokma sürecinin istenmeyen bir etkisi de oldu: Sokak suçları için yeni bir silah seçimi doğdu. Jiletler hem dayanıklı hem ucuzdu ama daha da önemlisi aşırı keskindi: Şahsen gayet iyi bildiğim üzere, kat kat deriyi, yünü, kumaşı ve insan derisini yarabiliyorlardı.

Brian'la paslanmaz çelik tıraş bıçaklarını bilemek için geliştirdiği yeni yöntem hakkında konuşurken, tüm bunları kafamda tarttım. Suya ve havaya dayanıklı, sert, sağlam ve keskin bir çelik olan paslanmaz çelik, son birkaç bin yıl içinde büyük ölçüde

deneme yanılma yöntemiyle üretildiğinden, bilimsel eğitimden geçmemiş birinin bile bıçağını tekrar tekrar bilemek için yeni bir yöntem bulmuş olması o kadar imkânsız görünmüyordu. Malzemelerin mikroskobik dünyası öylesine karışık ve büyüktür ki şu ana dek yalnızca küçücük bir kısmı keşfedilmiştir.

O akşamın sonunda *pub*dan ayrılırken, Brian elimi sıkıp beni arayacağını söyledi. Sodyum sokak lambalarının sarı ışığıyla aydınlanmış Dublin caddesinde yalpalaya yalpalaya yürürken, arkasını dönüp sarhoş sarhoş bağırdı: "Çelik tanrısına selam olsun!" Hephaistos'tan söz ettiğini düşündüm. Metallere, ateşe ve volkanlara hükmeden Yunan tanrısı Hephaistos, klasik tasvirlerinde ocak başında bir demirci olarak betimlenir. Bedensel özürlüdür, eciş bücüştür, büyük olasılıkla arsenikozdan mustariptir; bu enfeksiyon, tunç eritirken yüksek dozlarda arsenik zehirlenmesine maruz kalan dönemin demircileri arasında sık görülür, aksaklığa ve deri kanserine yol açardı. Tekrar yalpalaya yalpalaya yolda yürüyen Brian'a baktım; bastonu ve kırmızı yüzünü düşündüm, ardından, o akşam bilmem kaçıncı kez, Brian'ın aslında kim olduğunu merak ettim.

2. Güvenilir

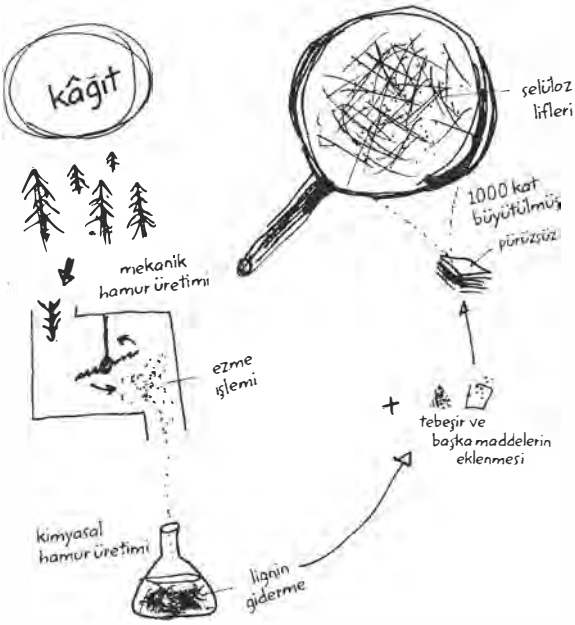


Kâğıt gündelik yaşamımızın o kadar içindedir ki tarihin büyük bir bölümü boyunca kâğıdın nadir ve pahalı olduğunu kolayca unutabiliriz. Sabah uyandığımızda ya poster, ya fotoğraf ya da bizzat duvar kâğıdı formunda duvarlarımızı süsleyen kâğıtla

karşılaşırız. Sabah temizliğimizi yapmak için banyoya gider, banyoda tuvalet kâğıdı kullanırız; bu eşyanın yokluğu anında kişisel bir kriz yaratır. Mutfağa girdiğimizde renkli kartonlar biçiminde karşımıza çıkan kâğıt, kahvaltılık gevreğimizi saklamakla kalmaz, tıngır mıngır "mutlu sabahlar" şarkısını söyleyen gevreklerin sesini de yansıtır. Meyve suyumuz ve sütümüz de benzer biçimde, parafinli kartonlarda korunur. Çay yaprakları bardağa daldırılıp sıcak suda kolayca dağılsın diye kâğıt poşetlere konur, kahve kâğıttan süzülerek içilir. Kahvaltıdan sonra doğruca dış dünyaya açılabiliriz ama genelde yanımıza para, defter, kitap ve dergi biçiminde kâğıt almadan dışarı çıktığımız nadirdir. Evden kâğıtla çıkmasak bile kâğıt, çok geçmeden elimize geçer: Makinelerden toplu taşıma biletleri biçiminde kâğıt çıkar, gazeteye bakarız veya marketten yiyecek bir şeyler alırız, karşılığında da satın alma belgesi olarak kâğıt fiş verirler. Çoğu kişinin mesleği bir sürü evrak işi içerir: Kâğıtsız ofislerden söz edilmesine karşın, hiçbir zaman hayata geçmedi, geçecek gibi de gözükmüyor; bir bilgi deposu olarak kâğıt malzemesine işte bu kadar çok güveniyoruz.

Öğle yemeğinde kâğıt peçeteler vardır, aksi halde kişisel sağlığa uygunluk standartları büyük bir düşüş kaydederdi. Dükkânlar kâğıt etiketlerle doludur, aksi halde ne alacağımızı veya kaç para ödeyeceğimizi bilemezdik. Satın aldığımız şeyler genelde eve kadar kâğıt torbalar içinde gelir. Eve vardığımızda, aldıklarımızı bazen doğum günü hediyesi olarak ambalaj kâğıdına sarar, yanına da kâğıt zarf içinde kâğıt bir doğum günü kartı koyarız. Partide fotoğraflar çekeriz, hatta fotoğrafları fotoğraf kâğıdına basarak maddi anılar bile oluşturabiliriz. Yatmadan önce kitaplar okuruz, burnumuzu sileriz, tuvaleti son bir kez ziyaret edip, tuvalet kâğıdıyla samimi bir görüşme yapar ve ancak ondan sonra rüyalar âlemine dalarız (ya da belki kâğıtsız bir dünya hakkında kâbuslar görürüz). Peki, artık böylesine alıştığımız bu madde nedir?

Not kâğıdı



Defterimdeki bir taslaktan kâğıt üretiminin temel prensipleri.

Not kâğıdı düz, pürüzsüz ve kesintisiz bir madde gibi görünse de gerçekte öyle değildir: Saman balyasını andıran, küçük ince liflerden oluşmuş bir yığındır. Biz kâğıdın karmaşık yapısını hissedemeyiz çünkü mikroskobik bir ölçekte tasarlandığından, bizim dokunma duyumuzu aşar. Dünyanın yakından bakıldığında çok sayıda dağlar, tepeler ve vadiler içermesine karşın, uzaydan yusyuvarlak görünmesini sağlayan aynı ölçek kaynaklı nedenlerden ötürü kâğıdı pürüzsüz görürüz.

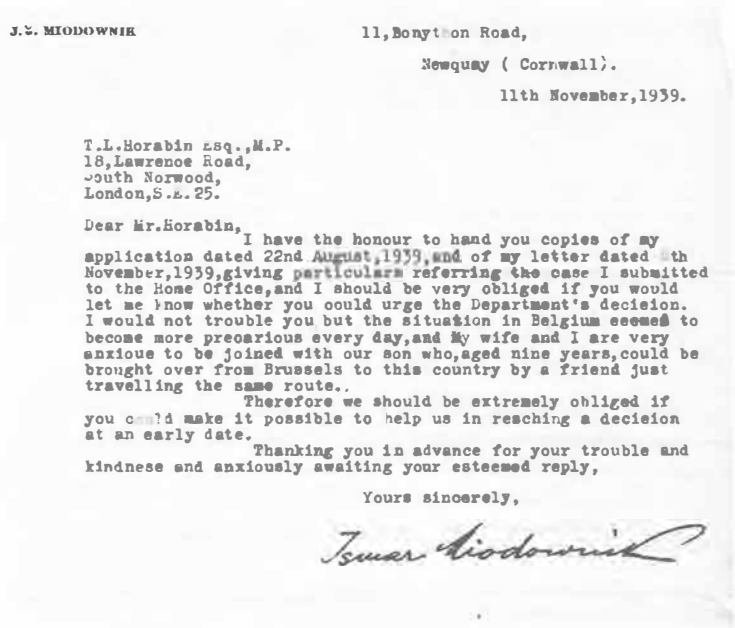
Çoğu kâğıt, yaşamına ağaç olarak başlar. Bir ağacın iç gücü selüloz denen ve lignin adlı organik yapıştırıcı ile bir arada tutulan, mikroskobik boyutlardaki liflerden gelir. Yüzyıllarca

dayanabilecek bu kompozit yapı, son derece sert ve esnektir. Selüloz liflerini ligninden ayırmak kolay değildir. Saça yapışmış çikleti ayırmaya benzer. *Delignifikasyon* denilen lignin giderme işlemi, odunu küçük parçalara ayırıp yüksek sıcaklıklarda kaynattıktan sonra, ligninin içindeki bağları koparıp selülozu serbest bırakacak kimyasal bir karışımla o parçaları ezmeye dayanır. İşlem başarıyla tamamlandıktan sonra, geriye kalan karmakarışık lif yığınına kâğıt hamuru denir: Bu aslında sıvı kâğıttır ve mikroskobik ölçekte bol soslu bir spagettiye benzer. Kâğıt hamuru düz bir zemine serilip kurutulunca, kâğıt oluşur.

Bu basit kâğıt tipi ham ve kahverengidir. Kâğıda beyazlık, kayganlık ve parlaklık vermek için kimyasal bir açıcı ve tebeşir tozu formunda kalsiyum karbonat gibi ince beyaz bir toz katkısı gerekir. Ardından kâğıdın yüzeyine konan mürekkebin gereğinden fazla emilip selüloz örgüsüne geçmesini önlemek için başka kaplamalar eklenir, aksi halde mürekkep dağılır. En ideali, not kâğıdının yüzeyine az miktarda mürekkebin girmesi, girer girmez de kuruyarak, renkli moleküllerle dolu yükünü bırakmasıdır: Selüloz örgüsüne işleyen o moleküller kâğıtta kalıcı bir iz bırakır.

Not kâğıdının önemi yabana atılacak gibi değildir: Not kâğıdı teknolojisi, baktığımız zaman mikroskobik dehasından gözümüz korkmadan, yalnızca boş bir sayfa görelim ve o sayfaya istediğimiz şeyi kaydedelim diye, incelikleri bizden mecburen gizlenen, iki bin yıllık bir teknolojidir.

Yazılı kayıtlar



J.S. MIODOWNIK

11,Bonyton Road,
Newquay (Cornwall).
11th November,1939.

T.L.Horabin Esq.,M.P.
18,Lawrence Road,
South Norwood,
London,S.E.25.

Dear Mr.Horabin,

I have the honour to hand you copies of my application dated 22nd August,1939,and of my letter dated 8th November,1939,giving particulars referring the case I submitted to the Home Office,and I should be very obliged if you would let me know whether you could urge the Department's decision. I would not trouble you but the situation in Belgium seemed to become more precarious every day,and My wife and I are very anxious to be joined with our son who,aged nine years,could be brought over from Brussels to this country by a friend just travelling the same route..

Therefore we should be extremely obliged if you could make it possible to help us in reaching a decision at an early date.

Thanking you in advance for your trouble and kindness and anxiously awaiting your esteemed reply,

Yours sincerely,

Ismar Miodownik

İkinci Dünya Savaşı'nın çıkışından sonra dedem Ismar Miodownik'in İngiltere İçişleri Bakanlığı'na gönderdiği mektubun bir kopyası.

Dedemin İkinci Dünya Savaşı çıktığı sıralarda Almanya'daki yaşamına dair öyküleri, çocukken çok ilgimi çekerdi ama artık dedem yok, o yüzden arkasında bıraktığı belgeler kendi öykülerini kendileri anlatmak zorunda. Gerçek bir tarih parçasını elinizde tutmak gibisi yoktur; bir Alman istilasından korkan dedemin, babamı Belçika'dan çıkarmak için İngiltere İçişleri Bakanlığı'na yazdığı mektup, işte böyle bir tarih parçasıdır.

Kâğıtlar iki nedenden ötürü zamanla sararır. Kâğıt ucuz, düşük kaliteli, mekanik kâğıt hamurundan yapılırsa içinde hâlâ biraz lignin kalır. Lignin ışık görünce oksijenle tepkimeye

girerek, kromofor (sözcük anlamı "renk taşıyan" demektir) oluşturur ve kromofor, yoğunlaştıkça kâğıdı sarartır. Bu tip kâğıtlar tek kullanımlık, ucuz kâğıt ürünlerde kullanılır; gazetelerin ışıkta çabucak sararması bu yüzdendir.

Eskiden kâğıdı alüminyum sülfatla kaplayarak doku kalitesini artırmak oldukça yaygındı, ancak o zamanlar anlaşılmayan bir şey vardı; aslında su arıtmakta kullanılan bu kimyasal bileşim, asidik koşullar üretiyordu. Bu da selüloz liflerini hidrojen iyonlarıyla tepkimeye sokarak başka türlü bir sararmaya yol açıyordu. Aynı zamanda kâğıdın dayanıklılığını da azaltıyordu. On dokuzuncu ve yirminci yüzyıla ait çok sayıda kitap, bugün kitapçılarda ve kütüphanelerde parlak sarı görünümleriyle kolayca saptanabilecek, bu "asitli kâğıtlara" basılmıştı. Asitsiz kâğıtlar bile eskimeye duyarlıdır ancak onların eskimesi daha yavaş bir seyir izler.

Zamanla eskime sürecinin bir sonucu da eski kâğıt ve kitap kokusuna yol açan, çok sayıda uçucu (yani kolayca buharlaşan) organik molekülün oluşmasıdır. Bugün kütüphaneler geniş kitap koleksiyonlarının denetlenmesinde ve korunmasında bir fayda sağlayıp sağlamayacağını anlamak için kitap kokusunun kimyasını araştırmaktadır. Kitap kokusu aslında çürük kokusu olsa da çoğu kişi bunu güzel bir koku olarak algılar.

Kâğıdın sararması ve dağılması rahatsız edicidir, ancak yine de bütün antikalar gibi, kâğıt da otantikliğini ve gücünü yılların verdiği patinasından alır. Eski kâğıtların duyusal izlenimleri geçmişe bir kapı açarak o dünyaya çok daha kolayca girmenizi sağlar.

Fotoğraf kâğıdı



Dedemin oğlu adına İngiltere İçişleri Bakanlığı'na dilekçe yazma girişimi başarıyla sonuçlandı. Sonucu da bu oldu: Babamın 4 Aralık 1939'da Brüksel'den çıkışı sırasında göçmen bürosu tarafından damgalanmış, Alman kimlik kartı. Babam o zaman dokuz yaşındaydı, fotoğrafında da içinde bulunduğu tehlikeden bihaber görünüyor. Alman işgali Mayıs 1940'ta gerçekleşti.

Fotoğraf kâğıdının insan kültürüne etkisi yabana atılamaz. Kimlik tespitinin standart hale getirilmesine ve doğrulanmasına olanak sağlamıştır ve bu bakımdan neye benzediğimizin, dolayısıyla aslında kim olduğumuzun nihai belirleyicisi kabul edilmiştir. Fotoğrafın faşizme kaçan otoritesi, görüntünün kaydedilme biçiminin sonucu olan (görünüşte) önyargısız doğasından kaynaklanır. Bu da bizzat kâğıda bağlıdır: Kâğıttaki kimyasallar yalnızca yansıyan ışıkla tepkimeye girerek yüzünüzdeki

karanlık ve aydınlık kısımları otomatikman kaydettiğinden, görüntü tarafsız gözükür.

Babamın bu siyah beyaz fotoğrafı, ilk başta gümüş bromür ve gümüş klorür molekülleri içeren ince bir jelle kaplanmış, beyaz bir kâğıt parçasıydı. 1939'da, babamdan yansıyan ışık, objektife girip fotoğraf filmine düştüğünde bir negatif görüntü oluşturmuştu. Sürecin, karanlık odada ışığın filmden geçirilerek fotoğraf kâğıdına yansıtılması suretiyle tersine çevrilmesi, gümüş bromür ve klorür moleküllerini kâğıt üzerinde gri lekeler olarak görünen küçük gümüş metal kristallerine dönüştürmüştü. Kâğıt bu aşamada karanlık odadan çıkarılsaydı babamın görüntüsü kaybolurdu. Çünkü görüntünün bulunmadığı tüm beyaz kısımlar ışıkla dolarak tepkimeye girer, fotoğrafın kapkara çıkmasına yol açardı. Bunu önlemek için fotoğraf karanlık odada, tepkimeye girmeyen gümüş halojenürü yıkayıp temizleyen bir kimyasalla "sabitlenmişti". Böylece geriye yalnızca kâğıdın yüzeyindeki jel tabakasına gömülmüş gümüş kristalleri kalmıştı. Kâğıt kuruyup işlendikten sonra babamın fotoğrafı olmuş ve başka bir çocuğun değil, onun toplama kamplarından kaçmasını sağlamıştı.

Babam hâlâ hayatta, öyküsünü kendi anlatabilir ama günün birinde bize zamanın o anını yalnızca bu fotoğraf, kolektif belleğimize katılan bu somut tarihi olgu anımsatacak. Elbette fotoğraflar asla önyargısız değildir ama zaten hatıralar da değildir.



Evimdeki kitaplığımın fotoğrafı: Kitaplar toplu halde bakılınca bir kütüphaneden daha fazlasını ifade eder, kimliğimizi tanımlar.

Bilginin öykülerle, şarkılarla ve usta-çırak ilişkisiyle kuşaktan kuşağa aktarıldığı sözlü bir kültürden yazıya dayanan yazılı bir kültüre geçiş, uygun yazı malzemesinin yokluğu nedeniyle yüzyıllarca ertelenmiştir. Taş ve kil tabletler kullanılıyordu ancak bunlar kırılmaya yatkındı ve taşınmaları zordu. Tahta çatlama sorunu yaşar, üstelik çeşitli şekillerde çürümeye müsaittir. Duvar resimleri sabittir, yerleri sınırlıdır. Çinlilerin dört büyük icadından biri sayılan kâğıdın icadı bu sorunları çözdü ama rulonun yerine kodeksi, yani şimdiki adıyla kitabı getirerek söz konusu malzemenin tüm potansiyelini ortaya çıkaran, Romalılar oldu.

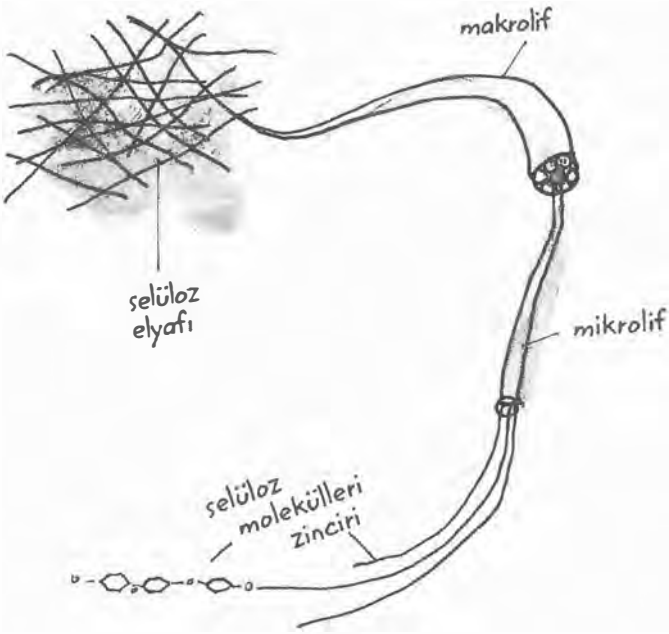
Üzerinden iki bin yıl geçti ama kitap hâlâ yazılı sözün baskın bir biçimidir.

Taştan veya tahtadan çok daha yumuşak bir malzeme olan kâğıdın rakiplerini eleyerek yazının hamisi haline gelmesi, kayda değer bir malzeme öyküsüdür. Kâğıdın en büyük avantajlarından biri inceliğidir. İnceliği kâğıda defalarca elden geçmeye dayanacak esnekliği verir ama kâğıtlar kitap formunda bir araya getirildiğinde, reform geçirmiş bir ahşap bloğu gibi, katı ve sağlam bir hal alır. Kâğıtları bir arada tutan sert kapakların kullanılmasıyla birlikte kitap, binlerce yıldır sözcükler için bir kale olmuştur.

Tek bir sırta bağlı bir yığın kâğıdın iki kapağın arasına sıkıştırılmasına dayanan bu "kodeks" formatının dehası ve bu formatın rulonun hâkimiyetine son vermesinin nedeni, metnin kâğıdın her iki tarafına yazılmasına izin vermekle kalmayıp aynı zamanda kesintisiz okuma deneyimi sunmasında yatar. Başka kültürler bir kâğıt tabakasının tekrar tekrar kendi üstüne katlanmasıyla bir kâğıt yığını oluşturulmasına dayanan *concertina* formatıyla benzer bir başarı kazanmıştır ama ayrı ayrı sayfaları bulunan kodeksin avantajı, pek çok kâtibin aynı anda aynı kitap üstünde çalışabilmesindeydi ve matbaanın icadından sonra aynı anda aynı kitabın pek çok kopyası üretilebilmeye başladı. Biyolojinin çoktan keşfettiği üzere, bilginin korunmasının en etkin yolu, hızla kopyalanmasıdır.

Yeni formatta üretilen ilk kitabın Kutsal Kitap olduğu söylenir çünkü bu format amaca uygun metni bulmak için koca ruloyu evirip çevirmek yerine sayfa numaralarını kullanmaya olanak verdiğinden, tam Hıristiyan vaizlere göreydi. Bu "rastgele erişimli bellek" formu dijital çağın müjdecisiydi ve ömrü muhtemelen onunkinden uzun olacaktır.

Paket kâğıdı



Saf kâğıt temelde selüloz elyafından oluşur.

Kâğıt, bilgiyi yalnızca korumaya yaramaz. Paket malzemesi rolünü üstlendiğinde, bilgiyi gözlerden saklama konusunda da iyi iş çıkarır. Heyecan ve beklenti yaratma rolünü diğer tüm malzemelerden daha iyi taşıyan paket kâğıdı olmasa doğum günleri neye benzerdi? Kumaşa sarılmış veya dolapta saklanmış hediyeler aldığım oldu ama paket kâğıdının büyüsü hiçbirinde yoktur. Bir hediye kâğıda sarılmadığı sürece hediye değildir. Bir nesneyi gizledikten sonra ortaya çıkararak, alma verme eylemini bir ritüel haline getiren ve o nesneyi bir armağana dönüştüren, kâğıttır. Bu yalnızca kültürel bir çağrışım değildir. Malzemenin temel özellikleri onu bu rol için ideal kılar.

Kâğıdın mekanik özellikleri, katlanıp bükülmeyi sağlar. Kâğıdı oluşturan selüloz lifleri, maksimum bükülme yerinden kısmen koparak kalıcı bir kat yeri (kırım) oluşmasına izin verirken, geriye malzemenin çatlayıp parçalanmasını önleyecek miktarda sağlam lif kalır. Hatta kâğıt bu konumdayken koparılmaya direnç gösterme becerisini büyük ölçüde sürdürür ama kırım üstünde bir zaaf noktası, yani küçük, öncü bir yırtık açılırsa kırım boyunca kolaylıkla, temiz bir biçimde yırtılabilir. Kâğıdın, mekanik özelliklerinin bu avantajlı birleşimi sayesinde katlanıp kıvrılarak herhangi bir nesnenin biçimini alabilmesi, *origami* sanatını doğurmuştur. Aynı özellikte çok az malzeme vardır: Metal folyolar katlanabilir ama kat yerlerini kontrol altında tutmak biraz daha zordur. Çok yumuşak olmadığı sürece plastik kaplamalarda kat yeri hiç oluşmaz; yumuşak plastik levhalar ise iyi bir paketleme malzemesinin gerektirdiği sertlikten (ve biçimden) yoksundur. Dolayısıyla kâğıdı bu amaç için eşsiz kılan, katlanabildiği halde katılığını yitirmemesidir.

Bir hediyeyi kâğıtla kaplamak, içindeki hediyenin değerini ve yeniliğini vurgulayan bir tazelik, bir el değmemişlik duygusu verir. Kâğıt, taşınma sırasında hediyeyi koruyacak kadar güçlüdür ama aynı zamanda bir bebeğin bile kolayca yırtıp açabileceği kadar zayıftır. Paketi açma anı, içindeki nesneyi birkaç saniyede karanlıklardan şöhrete taşır. Bir hediyeyi açmak doğuma benzer: O nesne için yeni bir yaşam başlar.

Fişler



MARKS&
SPENCER

Marks & Spencer plc
Unit 21, Building 3
80 Southwark Street
London SE1 0NA
Tel: (020 7620 0000
VAT No: 232 1288 93

		£
00740173	S/WICK DARK ALE	2.39DISC
00740173	S/WOLD DARK ALE	2.39DISC
00561105	NORFOLK BITTER	2.39DISC
00788175	SUB SWISS MILK	1.29
00647456	VEGETABLE CURRY	2.59
00186919	LAMB ROGAN JOSH	4.19
00578506	BRAEBURN BAG	2.29
00342505	*ENGLISH BUTTER	1.19
00626420	*SOFT SPRD : SL	0.43

Total before saving 19 21

Wines buy 2 save 10%
10% Discount

Balance to pay 9 items 16.49

Card tendered 16.49

MASTERCARD
CARD: **********3499 EXPIRY 04/13
REF: 11-8420/17058209/0412/1 AUTH: 228227
AID: A0000000041010 READ: ICC
Cardholder PIN Verified

06/05/11 20 OK 17058209 8420 011 0134

Please retain for your records

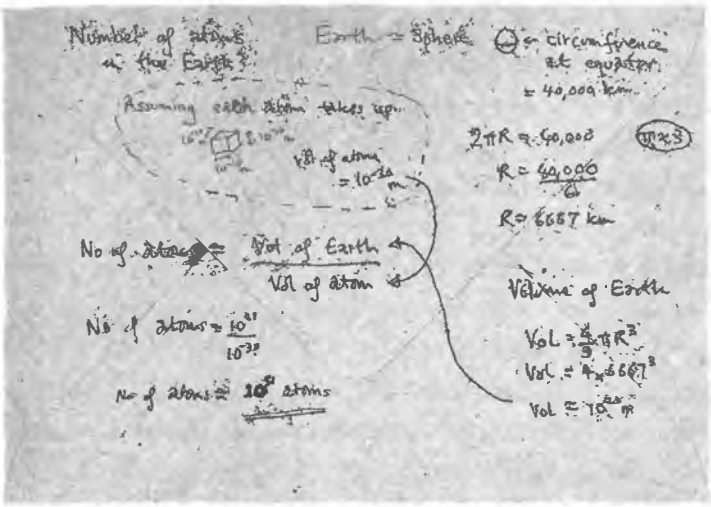
Bu fiş 2011 yılında oğlum Lazlo doğmadan üç gün önce gittiğim Marks&Spencer mağazasından alınmıştı. Lazlo'nun annesi Ruby zor bir hamilelik geçirdi. Zorlanmasının bir nedeni Ruby'nin bira aşermesiydi; kendisi içmeyi göze almadığından, ısrarla onun yerine benim içmemi istiyordu. Bazen canı öyle çok bira çekiyordu ki M&S fişinde görüldüğü üzere, gecede üç şişe içmek zorunda kalıyordum. Ruby ise bazen hasretle ama çoğu zaman suçlayıcı bakışlarla yudumlarımı izliyordu.

Lazlo neredeyse iki hafta erken doğuyordu ama ikimizin de doyurucu bir açıklamasını bulamadığımız beklenmedik gelişmeler sonucunda çıkmayı reddetti. Yirmi dört saat sonra hastaneden eve gönderilirken, Ruby'ye tavsiyede bulunarak, acı köri

yemenin, Lazlo'nun rahminden ayrılmasını teşvik edebileceğini söylediler. İki hafta sonra her gece dışarı yollanıp almaya gittiğim köri soslu yemeklerden biraz usanmıştık. Ama en çok Kuzu Rogan Josh'ı sevdiğimi anımsıyorum, o gece de tekrar ondan yediğimiz gözümün önüne geliyor. Baharat ağırlıklı beslenmenin mantığı Lazlo'nun huzurunu kaçırmaktı ama bana kalırsa asıl huzuru kaçan, beslenmemizin ağırlığı yüzünden sindirim güçlüğü çeken bizdik. Bu arada, Lazlo şimdi iki yaşında ve baharatlı yiyeceklere bayılıyor.

Huzursuz zamanların anısını canlandırmasına karşın, bu fişi sakladığıma memnunum. Fişte bir fotoğrafın, hatta bir günlüğün mahremiyetinden farklı bir mahremiyet saklı çünkü yaşamımızın böyle dünyevi görünen detayları fotoğraf ve günlüklerde kaybolabiliyor. Ama fiş ne yazık ki Lazlo'nun okuyabileceği kadar dayanmayacak. Basıldığı termal kâğıt zamanla yıprandığından, fiş şimdiden solmaya başladı. Çünkü termal kâğıda bir şey basıldığında kâğıda mürekkep eklenmez. Mürekkep zaten "löko" denen bir boya ve bir asit formunda kâğıdın içinde bulunur. Baskı işlemi için kâğıdı ısıtacak bir kıvılcım yeter: Böylece asit ve boya birbiriyle tepkimeye girerek saydam boyayı koyu bir pigmente dönüştürür. Yazarkasalarda mürekkebin hiç bitmemesini sağlayan şey, kâğıt teknolojisinin bu kurnazlığıdır. Ama pigment zamanla eski saydam haline geri döndüğünden, mürekkep solarak körili ve biralı gecelerin kanıtını da beraberinde götürür. Ama M&S yine de coşkuyla "Lütfen kayıtlarınız için saklayınız" çağrısı yaparak bizi fişlerimizi saklamaya teşvik eder; ben de görev duygusuyla öyle yapmışım.

Zarflar



Bir zarfın arkasında dünyadaki atomların sayısını hesaplamış ve 10.0000 000000.0000000000.0000000000.0000000000.0000000000 bulmuşum.

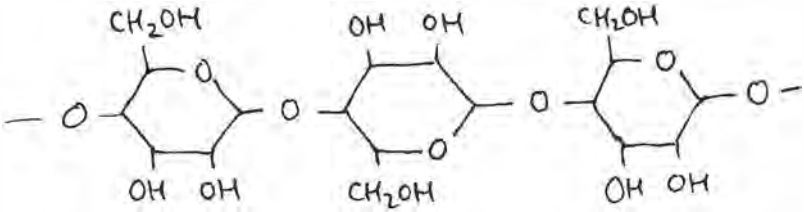
Sizi otobüste veya kafede yakalayan ilham anının hemen somutlaştırılması gerekir. Anında not alınmazsa, unutulur gider. Ama nereye alacaksınız? Masanızın başında değilsiniz, yanınızda defter mefter yok. Bir kâğıt parçası bulmak için ceplerinizi karıştırınca bir mektup veya elektrik faturası bulursunuz ama işe yarar: Bir zarfın arkasında fikrinizin ana hatlarını aktarmanıza yetecek kadar yer vardır. Siz de öyle yaparak, tarih boyunca zarf arkalarını önemli bir fikirler tiyatrosu kabul eden bir dizi ünlü bilim insanı ve mühendisin yolunu izlersiniz.

Fizikçi Enrico Fermi, bilimin temel sorunlarını mektup zarflarının arkasındaki kısıtlı alanda çözmesiyle tanındığı gibi, bu işlemi resmileştirmesiyle de bilinir. *Haiku*'nun bilimsel eşdeğeri olan bu yeni hesaplama yöntemine "büyüklük mertebesi"

hesaplaması denir. Dünyaya böyle bakmanın ödülü kesin yanıtlar elde etmek değil, her şeyden önce yalnızca bir otobüste ulaşabileceğiniz bilgiyi kullanarak dünya hakkında önemli bir şeyler söyleyen, anlaşılabilir yanıtlar bulmaktır. Yanıtlarınızın "büyüklük mertebesine göre" hatasız olması, yani iki veya üç katlık bir oran içinde doğru olması gerekir (yani, gerçek değer sonucun üçte biri kadar az veya üç katı kadar fazla olabilir ama daha fazla veya daha az olamaz). Böyle hesaplamalar oldukça yaklaşık sonuçlar verir ama Fermi ve diğerleri bunları bir paradoksu göstermek için kullandılar: Evrende bulunan muazzam sayıdaki yıldız ve gezegen başka akıllı yaşam formlarının oluşması için pek çok fırsat sunmuş olmalıdır, dolayısıyla çok büyük bir olasılıkla o yaşam formlarıyla karşılaşmamız gerekir ama karşılaşmadığımıza göre, o muazzam sayı, aslında akıllı yaşam formlarının ne kadar nadir olduğunun göstergesidir.

Çocukken, temel sorunları zarfların arkasında çözen ünlü bilim insanlarının öykülerini o kadar kafaya takmıştım ki okula eski zarflar götürüp arkalarında problemler çözerdim. Bu zihin için yalnızca bir kalemle bir zarf gerektiren bir tür dövüş sanatıydı. Sadece düşüncelerimi netleştirmeme değil, sınavları geçmeme de yardım etti. Oxford Üniversitesi giriş sınavımın ilk fizik sorusu şuydu: "Dünya'daki atomların sayısını hesaplamaya çalışın." Soruyu görünce gülümsedim: Klasik bir zarf arkası alanıydı. Sınavda soruyu nasıl çözdüğümü hatırlamıyorum ama hesabımın güncel versiyonu önceki sayfadadır.

Tuvalet kâğıdı



Neredeyse tamamen selüloz liflerinden oluşan tuvalet kâğıdının kimyasal formülü.

Popolarımızı hâlâ kâğıtla silmemize hayret ederim, oysa iç organlarımızla en alakalı, en kötü kokulu işimizi halletmemizi sağlayacak çok daha hijyenik, çok daha etkin başka bir sürü icat yapıldı.

Tuvalet kâğıdı kullanımının pek çok zincirleme etkisi vardır. İlk olarak, *National Geographic*'e göre, küresel popo silme işi her gün 27.000 ağacın kesilip işlenmesini gerektiriyor. Kâğıdın bir kez kullanıldıktan sonra lağıma atılması, onca ağacın yaşamı için korkunç bir son gibi görünüyor. Ama daha kötü bir senaryo da var: Tuvalet kâğıdının klozeti terk etmemesi. Manhattan'da yaşayan ağabeyimin otuz dördüncü kattaki dairesineyken başıma gelmişti.

Başkasının evindeyken sifonu çekmenize karşın kakanızdan kurtulamadığınız o anın özel bir dehşeti vardır. Benimki gitmeyince, üstüne biraz daha kâğıt atmıştım; o zaman bile kötü bir fikre benziyordu ama kendime engel olamadım. Noel için tüm aile toplanmıştık ve dolayısıyla tuvalet daha pek çok icraata sahne olacaktı. Kapıda durup ne yapacağımı düşündüm ve sifonu son bir kez çekmeye karar verdim. Sular yükselip kabardıkça içimdeki korku da kabardı. Derken olan oldu, korktuğum

başıma geldi: Klozetten taşan su, ağabeyimin son derece modern ve havalı dairesinin zeminine boşaldı. Otuz dört kat yukarıda olmamız durumu iyice beter bir hale sokacak gibiydi. Üst katlardan gelip kuyrukta bekleyen onca kakanın bir anda ağabeyimin dairesine dolduğu gözlerimin önüne geldi. Akla yakın bir düşünce değildi ama taşan kakalar insana böyle şeyler düşündürüyor işte. Dışkılar ve tuvalet kâğıdı yerde yüzerek, karoların üstünden bana doğru ilerliyordu.

İçerisi artık lağım gibi kokuyordu; ağabeyim beni banyoya kapatıp kapı aralığından paspasla tuvalet pompasını uzattı. Ortalığı temizlemek herhalde saatler sürmüştür ama bana günler sürmüş gibi geldi. O zamandan beri alternatif popo temizleme tekniklerine büyük bir ilgi duyuyorum. Yirmi birinci yüzyılın, tuvalet kâğıdının sonunun geldiğini ve bu en temel sorunumuz için yeni bir çözümün bulunduğunu göreceğine eminim.

Kâğıt torbalar



Pahalı giysiler alırken ayrı bir tedirginlik duyarım. Mağazada denerken gözüme yabancı görünür, yabancı gelirler. Üstelik mağaza görevlileri istedikleri kadar gülümseyip başlarıyla onaylasınlar, paramı o giysiye harcasam mı, harcamasam mı, bir türlü karar veremem. Ama evet dediğimde, hiç bıkmadığım bir ödül alırım.

İlk ortaya çıktığında yassıdır ama sonra alt kısmı dışarı doğru itilince, akordeon gibi katlanmış kâğıt kenarlar görkemli bir gök gürültüsü sesi çıkararak dik konuma geçer. Mağazadaki tezgâhın üstünde kozasından yeni çıkmış bir kelebek gibi durur: mükemmel, zarif ve vakur. Satın aldığım giysiler, onlara eve kadar eşlik edecek bu özel muhafazaya konuldu mu, alışverişim bir anda makul görünmeye başlar.

Tuvalet kâğıdının tam aksine, bu görünümüyle kâğıt, tarzı olan, rafine bir malzemedir; hafiftir, katıdır ve sağlamdır. Ama sağlamlığı bir yanılsamadır. Selüloz liflerini bir ağacın

parçasıyken bir arada tutan yapışkan lignin maddesi, o lifler kâğıt torbayı oluşturduğunda artık yoktur. Kuruma aşamasında liflerin arasında sağlamlaştırıcı hidrojen bağlar oluşmasına karşın, bunların sentetik yapıştırıcılarla güçlendirilmesi gerekir. O zaman bile suya dayanıklılığı az, zayıf bir malzemedir ve bir kez ıslanınca lifler hidrojen bağlarını kaybeder, kâğıt torba hızla dağılır.

Ama kâğıt torbaları bu görev için çekici kılan, belki de bu narinlikleridir. Pahalı kumaşlar genelde hafif ve narindir; onları eve götürmek için tek gerekenin kâğıt olması bu hafifliği ve narinliği pekiştiriyordur belki. Ayrıca kâğıdın yüksek bir kültürel konumu vardır: Ismarlama giysilere uygun düşecek el yapımı nesneleri, el sanatını çağrıştırır. Ama bu da yine bir yanılsamadır: Kâğıt tam teşekküllü bir sanayi ürünüdür, üstelik çevreye de pahalıya patlar. Enerji tüketimi açısından tek kullanımlık bir kâğıt torbanın etkisi, naylon torbanınkinden daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla kâğıt torbalar alışveriş zaferlerinizi kutlamak için tasarlanmış bir düşkünlüktür: Siz koridorlarda güçlükle ilerlerken, torbalarınız mecburen kapı çerçevelerine çarparak eve varış anını haber verir, çıkardıkları yumuşak gök gürültüsü sesi ise içinizi heyecan ve gururla doldurur.

Kuşe kâğıt



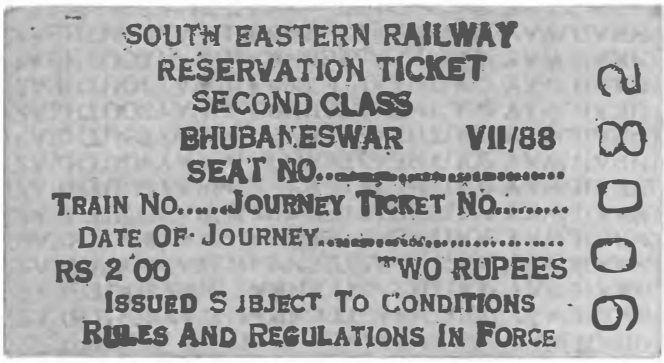
Anlaşıldığı üzere, kâğıdın görünümü ve dokusu son derece büyük önem taşır ve kâğıdın böylesine kullanışlı bir malzeme olmasının sırrı buradadır. Yalnızca yüzey katmanını değiştirerek, kâğıda *rustik* veya resmi, *retro* veya göz kamaştırıcı bir görünüm verilebilir. Bu estetik faktörleri kontrol etmek, ticari yayınların ekonomik gelecekleri açısından hayati önem taşır.

Kâğıdın görünümünü değiştirme bilimi son derece gelişmiş bir araştırma konusudur. Kâğıdın parlaklığının, pürüzsüzlüğünün ve ağırlığının, bazı dergilerin başarısı için elzem olduğu görülmüştür ama kâğıdının katılığının, daha doğrusu kâğıdın bükülme rahatlığının önemi fazla anlaşılmamıştır: Kâğıt çok

kolay bükülürse ucuz izlenimi verir; çok katı olursa küstah gözükür. Katılık "tutkallama" katkısıyla elde edilir. Tutkallama katkısı, başka özelliklerinin yanı sıra, kâğıdın nem emişini azaltmak suretiyle mürekkebin liflere nüfuz etmeden yüzeyde kurumasını sağlayan, aynı zamanda da kâğıdın beyazlığının denetlenmesine olanak veren kaolin ve kalsiyum karbonat gibi ince tozlardan oluşur. Bu tozlar ve tozları kâğıdın selüloz liflerine bağlayan yapıştırıcılar, "kompozit matris" denen şeyi oluşturur. (En bilindik kompozit malzeme örneği betondur. Beton da benzer biçimde iki farklı malzemeden oluşur: Matris veya "yapıştırıcı" çimentodan ve "takviye" olarak bilinen çakıl kum karışımından.) Bu matrisin denetlenmesi, kâğıdın ağırlığını, dayanıklılığını ve katılığını belirler.

Ama süreç sorunsuz değildir. Parlak popüler dergilerin görünüm ve dokularının düşük ağırlık ve katılık birleşimini gerektirdiği anlaşılmıştır ki bu da kâğıdı kesici bir alete çevirir. Kâğıt o kadar incedir ki kenarları jilet keskinliğindedir. Kâğıt çoğu şartlar altında kesmekten ziyade bükülür ama parmaklarınızı doğru açıda tutarak bir sayfanın kenarında gezdirirseniz kâğıt kesiği oluşur. Kâğıt kesiklerinin acı verdiği bilinir ama nedeni pek açık değildir. Genelde parmaklarda görüldüğü için olabilir çünkü parmaklarda yüksek yoğunlukta duyu alıcıları vardır; parmaktaki bir kesik, vücudun başka bir yerindekinden çok daha acı verici gelir. Elbette bu bedeli ödemeye değer; en azından her hafta kuşe dergi alan milyonlarca insan böyle düşünüyor.

Biletler



Bhubaneswar'a tren bileti. 1989 yılında Emma Westlake ve Jackie Heath ile birlikte Hindistan'ı gezerken gitmiştim.

Kâğıdın kalınlığı arttıkça esnekliği kaybolur. Gittikçe katılaşan kâğıt sonunda kendi ağırlığı altında bükülmeden, dimdik duracak kadar katılaşır. Kâğıt bu noktada yeni kültürel roller üstlenir. O rollerden biri, yolculuk izni sağlamasıdır. Dünyanın dört bir yanında otobüs, tren ve uçak biletleri karton denen kalın kâğıttan yapılır.

İnsan taşımacılığının tüm formları katı olmak üzere tasarlanmıştır, kartonun mekanik katılığı belki de o yüzden yolcuğu temsil etmeye bu kadar uygundur. Körüklü arabalar yalnızca alışılmadık değildir, aynı zamanda kullanışsızdır çünkü bir arabanın şasesi yeterince katı değilse, maruz kaldığı yüksek gerilimler sürüş mekanizmasının ayarını bozacaktır. Benzer bir şekilde, eğer bir tren fazla kavis yaparsa rayından çıkar, uçak kanatları kendi ağırlığının altında fazla eğilirse kalkışa geçmeyi başaramaz. Dolayısıyla tren, uçak ve otomobil tasarımları katılığa neredeyse fetişizm derecesinde bağlılık ister.

Katılığına ek olarak, kartonun artırılmış sağlamlığı ve dayanıklılığı bilete bir otoriterlik aşılar. Bilet sonuçta geçiş hakkı bağışlayan geçici bir pasaporttur. Bugünlerde biletlerin insanlar kadar makinelerin de denetiminden geçmesi gerekir, dolayısıyla biletin elden ele gezerken, ceplere sokulurken ve cüzdana konup çıkarılırken bükülüp buruşmayacak kadar dayanıklı olması önemlidir.

Yolculuk dünyasına katı, sert makineler hükmeder ve biletler, bize bunu yansıtır. İşin tuhafı, arabalar ve uçaklar giderek hafifleyip randıman kazanırken, biletler de onları taklit edip, giderek incelmiştir. Biletler büyük olasılıkla çok geçmeden tamamen ortadan kalkıp dijital yaşamlarımızın bir parçası olacaktır.

Banknotlar



Para en çok kâğıt formundayken baştan çıkarıcıdır. Hayatta, duvardaki bir deliğe şifrenizi girdikten sonra, önünüze sevimli, gıcır gıcır banknotların çıkması kadar mutluluk verici az şey vardır. Yeterli miktarda banknot dünyadaki her yere ve her şeye erişim sağlayan bir pasaporttur; bu özgürlük ise sarhoş edicidir. Banknotlar aynı zamanda bugüne dek yapılmış en incelikli kâğıt parçalarıdır. Öyle olmaları gerekir çünkü banknotlar, ekonomik sistemin bütününe duyduğumuz güvenin gerçek anlamda maddi bir tezahürüdür.

Sahteciliği önlemek için banknot kâğıdında bir sürü numara gizlidir. Her şeyden önce, banknot diğer kâğıtlar gibi ağaç selülozlarından değil, pamuktan yapılır. Pamuktan yapılması yalnızca kâğıdın dayanıklılığını artırıp yağmurda veya çamaşır makinesinde parçalanmasını önlemez, sesini de değiştirir: Gıcır gıcır sesi, kâğıt paranın en ayırt edici özelliklerinden biridir.

Kâğıt paranın sesi aynı zamanda en iyi sahtecilik karşıtı önlemlerden biridir çünkü ağaç temelli kâğıtla o sesi taklit etmek zordur. Pamuk kâğıdın özel dokusu, bankomatların özellikle denetlediği bir şeydir. İnsanlar da o dokuya karşı duyarlıdır. Bir

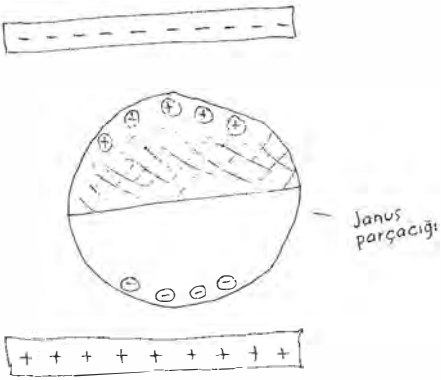
banknottan kuşku duyulursa onun pamuktan yapılıp yapılmadığını doğrulayacak basit bir kimyasal test vardır. Bu test pek çok mağazada iyotlu kalem kullanılarak yapılır. Selüloz temelli bir kâğıtta kullanıldığında selülozdaki nişasta ile tepkimeye giren iyot renk bırakır ve siyah bir iz oluşur. Aynı kalem pamuklu kâğıtta kullanıldığında, iyot tepkimeye girecek nişasta bulamadığından, iz oluşmaz. Bu iki basit ölçüm sayesinde, mağazalar renkli fotokopiyle üretilmiş sahte paralardan kendilerini koruyabilirler.

Ama kâğıdın gizli bir numarası daha vardır: filigran. Filigran, kâğıdın dokusuna işlenmiş bir resim veya desendir ama yalnızca ışık kâğıttan geçince görünür. Başka bir deyişle, ancak kâğıdı ışığa tuttuğunuzda görürsünüz. Sözcük anlamına karşın filigran bir su lekesi veya bir tür mürekkep değildir.* Filigran pamuğun yoğunluğunda küçük değişiklikler yapılarak tasarlanır ve bu değişiklikler sayesinde banknotun farklı kısımları bir desen veya Birleşik Krallık banknotlarındaki gibi hükümdarın portresini oluşturacak şekilde açık ve koyu gözükür.

Kâğıt para, nesli tükenmekte olan bir türdür. Bugünlerde para büyük ölçüde elektroniktir, alım satım işlemlerinin yalnızca küçük bir kısmı nakit yapılmaktadır. Nakit işlemler genellikle düşük değerli alım satım işlemleridir ama elektronik para onların da yerini almaya hazırdır.

* Filigranın İngilizcesi (*watermark*) su damgası anlamına gelir.

Elektronik kâğıt



Portatif kitap okuma cihazlarındaki elektronik "kâğıt", elektronik "mürekkep" olarak elektrostatik Janus parçacıklarını kullanır.

Bilgi kâğıda yazılabildiğinden beri, kütüphaneler bir uygarlığın bilim ve irfan birikimini saklayan en önemli arşivler haline geldi. Kütüphaneler çok kısa bir zaman öncesine kadar bu kilit rolünü koruyordu. Büyük bir kütüphaneye erişmek herhangi bir üniversite eğitiminin anahtarıydı; yerel bir kütüphaneye erişmek ise modern toplumlarda en temel insan haklarından biri olarak görülürdü. Dijital devrim manzarayı önemli ölçüde değiştirdi. Artık insan ırkının yarattığı tüm yazılı eserler külliyatını bilgisayar aracılığıyla herkese vermek mümkün. Ama gerçek kitaptan dijital kitaba geçiş bir hayli direnişle karşılaştı. Bu direniş büyük ölçüde erişimden ziyade okuma eyleminin verdiği duyusal hazla ilişkilidir.

Mühendislik tarihinde sıklıkla görüldüğü gibi, bir süredir bilinen ama kitleler tarafından ya hiç kullanılmayan ya da çok az kullanılan bir teknoloji, bir gün aniden kendini gösterdi. Elektronik kâğıt, gerçek mürekkep kullanan metni gösteren bir

düz ekran türüdür ve gerçek bir kitapta olduğu gibi, üstüne ışık vururken okunmak üzere tasarlanmıştır. Gerçek kitapla arasındaki fark, elektronik kâğıdın istenen herhangi bir metni, dijital talimatlarla neredeyse anında gösterebilmesidir. Elektronik kâğıt bir bilgisayar çipiyle birleştirilince milyonlarca kitabı depolayıp gösterebilir.

Söz konusu teknoloji, mürekkebin adına Janus parçacığı denen bir forma sokulmasına dayanmaktadır. Mürekkebin her parçacığı bir tarafı siyah, bir tarafı beyaz olacak şekilde boyanır. İki tarafa farklı elektrik yükleri verilir ve böylece uygun elektrik yükü uygulamak suretiyle elektronik kâğıttaki her piksel siyah veya beyaz yapılabilir. Janus parçacıkları adını Romalıların kavşaklara hükmeden tanrısı Ianus'tan alır; iki suratlı betimlenen Ianus, genellikle kapılarla ve geçitlerle ilişkilendirilir. Janus parçacıkları gerçek mürekkep olduklarından ve metin değiştikçe gerçekten yer değiştirmeleri gerektiğinden, bir iPad veya akıllı telefonun sıvı kristal ekranı kadar hızlı hareket edemezler, dolayısıyla film, video gibi modaya uygun şeyleri göstermeleri şu anda mümkün değildir. Janus parçacıklarının sevimli retro havası, belki de tam yazıya göredir.

Janus parçacığı, en azından sözcüklerin sayfadaki görünümü açısından, e-kitap okumayı büyük ölçüde gerçek kitap okuma deneyimine benzetmiştir. Günün birinde yazılı metnin yerini alabilir. Ancak, gerçek kâğıdın kendine has kokusundan, dokusundan ve sesinden yoksun olduğundan, kitapların yerini tamamen alması pek mümkün değildir, çünkü okuma eylemini en çekici kılan şeylerden biri, birden fazla duyuya hitap etmesidir. İnsanlar kitapları belki de yazının kendisinden bile daha çok severler. Kitapları kendilerini tanımlamak ve değerlerinin maddi bir delilini sunmak için kullanırlar. Raflardaki ve masalardaki kitaplar bize kim olduğumuzu, kim olmak istediğimizi anımsatan bir tür iç pazarlama uygulamasıdır. Bizler gerçek varlıklar

olduğumuza göre, kendi değerlerimizi belirlerken ve dile getirirken okumanın yanı sıra dokunmayı, hissetmeyi ve koklamayı sevdiğimiz gerçek nesneler kullanmamız belki de gayet mantıklıdır.

Gazete kâğıdı


YORKSHIRE

Telegraph & Star

WAR SPECIAL

No. 19,018.

THE WORLD WAR AT AN END.

STATEMENT by the PREMIER

Historic Document Signed at 5 o'clock This Morning.

HOSTILITIES ENDED AT 11 a.m. TO-DAY

OVERTHROW.

German Republics Proclaimed.

PEOPLE CONTROL.

Troops Go Over to the New Authority.

FIGHTING IN BERLIN.

Soviets Formed Everywhere.

Basılı bir fotoğrafta veya bir gazete manşetinde, anlatılan olayı diğer tüm habercilik biçimlerinden daha gerçek kılan bir şey vardır. Bunun nedeni belki de kendi başına yadsınamaz bir gerçekliği bulunmasıdır: Gazete gerçek, maddi bir nesnedir. Bu hakikiliği haberlerine de yansır. Elle gösterilebilir, altı çizilebilir, kesilebilir, ilan panolarına asılabilir, not defterinin arasına konabilir veya kütüphanelerde saklanabilir. Haberler zamanda dondurulmuş, insan yapımı bir esere dönüşür; olay çok uzun zaman önce yaşanmış olabilir ama asılsız olsa bile, maddi varlığı sayesinde tartışmasız bir gerçek olarak varlığını sürdürür.

İnternetteki haber siteleri ise tam aksine gelip geçicidir. Gerçi onlar da arşivlenir ama taşıdıkları bilgiye delil olarak gösterilebilecek kendine has fiziksel bir bileşenleri yoktur. Bu

nedenle üzerlerinde kolayca oynanabileceği ve dolayısıyla tarihin bile değiştirilebileceği hissi doğururlar. Ama dijital medyayı böyle heyecan verici kılan, tam da bu değişken ve akıcı içeriğidir. Haber siteleri, tarihi önceki dönemlerdeki kadar yekpare görmeyen bir çağa uygundur. Dijital haber siteleri potansiyel olarak da çok daha demokratiktir çünkü gerçek bir gazete, devasa matbaa makinelerine ve trenleri, uçakları, kamyonları, mağazaları ve nihayetinde gazete bayilerini birbirine bağlayan bir dağıtım ağına gerek duyarken, dijital dünyada tek bir insan, tek bir bilgisayarın yardımıyla tek bir ağacın bile kesilmesine gerek kalmadan tüm dünyayla iletişim kurabilir.

Basılı gazetelerden uzaklaşmak, ülkelerin ve kentlerin iç diyaloglarını değiştirmekle kalmayacak, sosyal alışkanlıklarını da değiştirecektir. Kâğıt hışırtısı artık pazar öğleden sonrası ritüelinin bir parçası olmaktan çıkacak; gazeteler artık çamurlu çizmelerin altına konmayacak veya katlanmış bir halde tren istasyonlarındaki banklarda yatmayacak; artık parkeleri boya damlalarından korumayacak veya koruma amacıyla değerli eşyalara sarılmayacak; artık buruşturulup top yapılmayacak, ateş yakmakta kullanılmayacak veya arsızca her şeyden habersiz bir kardeşe fırlatılmayacak. Gazetenin bu kullanımlarının hiçbiri kendi içinde temel bir önem taşımaz ama hepsi birlikte ele alındığında çok sevilen, kullanışlı bir ev malzemesi resmederler. O malzeme özlenecektir.

Aşk mektupları


Do you remember
the first cold night we met
when you were wearing a beard
and that lumpy brown cardigan
and I was in my fake leopardskin coat
and I asked you too many questions
and I wanted to impress you
because you felt so right
and you and the wine made me bold
and I said we should see each other again
I'd rehearsed it in my head
as we sat talking
and you said yes
and I walked away glowing
and grinning
and the next time I saw you
and we were at that strange party
where you talked to a man
in a bow tie
and I was coming down with flu
and we left in the freezing fog
and that Russian bar was closed
and we got the night bus
or was it a taxi
to your flat

where earlier we'd had a cocktail
and you lit a fire and made
hot toddies
and we sat on the floor and kissed
and I stayed the night
and you left me your Kurosawa t-shirt
and I kept my leggings on
and in the morning we met Buzz
and had coffee together
and that was the beginning
of this most precious part of my life
and even now I think to myself
how incredibly lucky I am to have met you
and how exciting our future feels
and how full of love
and possibility.

I miss you, and it's
cold and I'm wearing
your brown cardigan.
X X X

Sevgilimin mektubu.

Dijital teknolojilerin hızlı ilerleyişine karşın, kâğıdın bir iletişim aracı olarak toptan ortadan kalkacağına inanmak zor. Bazı mesajlarımız için kâğıda, diğer tüm araçlardan daha fazla güveniriz. Sevdiğinizden postayla gelen bir mektup kadar, bir yandan midenizi sıkarken bir yandan da yüreğinizi hoplatan (sözcüğün gerçek anlamıyla içinizi hop ettiren) hiçbir şey yoktur. Telefon konuşmaları iyidir, samimidir; kısa mesajlar ve e-postalar anlıktır, mutlu eder ama sevdiğinizin dokunduğu malzemeyi ellerinizde tutmak, kâğıttaki tatlı kokusunu içinize çekmek, aşkın sahici parçalarıdır.

Mektup, sözcüklerle iletişimden fazlasıdır. Yapı gereği güvensiz olanları yatıştıracak fiziksel bir sağlamlığı, bir kalıcılığı vardır. Tekrar tekrar, defalarca okunabilir. Hayatınızda gerçek

anlamda bir yer işgal eder. Kâğıdın kendisi, sevdiğinizin teninin bir suretidir; kâğıt sevdiğiniz gibi kokar ve üstündeki yazı, sevdiğinizin eşsiz doğasının parmak izi misali bir ifadesidir. Aşk mektubu sahte olmaz, aşk mektuplarında kopyala yapıştır yapılmaz.

Kâğıtta normalde belki de sır olarak kalacak şeylerin dile getirilmesini sağlayan ne vardır? O sözler özel bir anda yazılır ve kâğıt, duyusal aşka uygundur: Yazma eylemi temel bir dokunma, akma, süsleme eylemine dönüşür; kenara şirin, küçük taslaklar çizilir, klavyenin mekaniğinden bağımsız bir bireysellik ortaya konur. Mürekkep, dürüstlük ve anlatım talep eden bir kana dönüşür, sayfaya düşer ve düşüncelerin akmasına izin verir.

Mektuplar ayrılmayı da zorlaştırır çünkü fotoğraflar gibi mektuplar da sayfada sonsuza dek yankılanır. Bu, kalbi kırılan için zulümdür ama yeni bir sayfa açanlar için acı bir ihanet tokadı veya hiç değilse oluşmuş kişiliklerindeki bir vefasızlık kamburudur. Ama kâğıt, karbon temelli bir malzeme olduğundan, böylesi bir işkenceden kurtulmak isteyenlere parlak bir çözüm sunar: kibrit.

3. Temel



2009'da, bir bahar günü marketten ekmek almaya giderken köşeyi döndüğümde Southwark Kuleleri'nin yerinde yeller estiğini gördüm. 1970'lerden kalma, yirmi beş katlı klasik iş hanı yerle bir olmuştu. Belleğimi zorlayarak, binayı en son ne zaman

gördüğümü hatırlamaya çalıştım. Geçen pazar yine hızlı adımlarla ekmek almaya giderken görmüştüm herhalde, öyle değil mi? Biraz huzursuzluğa kapıldım: Düşünme yeteneğimi mi kaybediyordum, yoksa bina yıkım işi çok mu ilerlemişti? Her halükârda kendimi güvensiz ve önemsiz hissettim. Southwark Kuleleri'ni severdim. Tam moda olduğu zamanlarda yapılmış otomatik kapıları vardı. Şimdiyse bina gitmiş, sokakta ve yaşamımda umduğumdan daha büyük bir boşluk bırakmıştı: Artık hiçbir şey aynı görünmüyordu. Binanın geride bıraktığı boş alanı çeviren parlak renkli inşaat panolarına yöneldim.

Panoların yanındaki bir ilan buraya Avrupa'nın en yüksek binası Shard'ın dikileceğini bildiriyordu.* İlanda, Southwark Kuleleri'nin küllerinden doğup Londra Köprüsü istasyonunun üstünde yükselecek, sivri uçlu, kocaman cam bir gökdelen resmi vardı: İlan metni, yıllarca Londra siluetine hükmedecek bu yeni yapının hayalini övüyordu.

Canım sıkıldı, kaygılandım. Bu dev cam fallus teröristlerin hedefi haline gelir miydi? İkiz Kuleler gibi saldırıya uğrayıp yıkılarak, beni ve ailemi öldürür müydü? Google Haritalar'a danıştıktan sonra içim rahatladı; bu 310 metrelik bina yana devrilse bile benim daireme ulaşamazdı. Belki bir hamlede civardaki Shakespeare Tavern adlı *pub*a ulaşabilirdi ama oraya pek sık gitmiyordum. Yine de boğucu bir toz bulutu oluşur, diye mırıldanarak bir kıyamet havası içinde ekmek almaya gittim.

Sonraki birkaç gün, kapının önünde bu devasa gökdelenin yapılışını izleyecektim. Olağanüstü manzaralara, muhteşem mühendislik harikalarına tanıklık edecektim ama çoğunlukla da betonu iyi tanıyacaktım. Hem de çok iyi.

---

* 2012'de açıldığında Avrupa'nın en yüksek binası unvanını kazanan Shard, Moskova'daki Mercury City Tower'ın 2013'te tamamlanmasıyla bu unvanı kaybetmiştir. (*e.n.*)

İşe kocaman bir çukur kazarak başladılar. Kocaman derken, *muazzam* demek istiyorum. Ekmek getirme görevimde haftalar haftaları kovalarken, inşaat panolarının yanındaki gözetleme penceresinden bakınca, devasa makinelerin kepçe kepçe toprak alıp maden kazıyormuşçasına iyice derinlere indiğini görüyordum. Ama kazdıkları maden değil, Thames Nehri'nin yüzbinlerce yıldır biriktirdiği balçıktı. Londra kentini oluşturan evlerin ve ambarların yapımında kullanılan tuğlalar hep bu killi balçıkla pişirilirdi. Ama Shard'ın inşasında kullanılmayacaktı.

Bir gün, tüm balçık ortadan kaldırıldıktan sonra, çukura 700 kamyon dolusu beton döktüler. Dökülen beton, muazzam gökdeleni ayakta tutarak yukarıdaki yetmiş iki katı ve o katlarda oturacak 20.000 kişiyi balçığa gömülmekten koruyan temeli oluşturacaktı. Muazzam çukuru katman katman betonla doldurarak yeraltında kat üstüne kat çıktılar ve sonunda o dev gibi çukurdan eser kalmazken ortaya, yavaş yavaş katılaşmaya başlayan dökme betondan bir yeraltı katedrali çıktı. İş gayet güzel ve etkileyici bir hızla bitirildi ki bu da çok önemliydi çünkü maddi nedenlerden ötürü temeli bitirmeden kuleyi inşa etmeye başlamışlardı.

Köpekli bir adam bana, "Sizce betonun kuruması ne kadar sürer?" diye sordu. İkimiz de panolardaki gözetleme penceresinden inşaata bakıyorduk. "Bilmem," diyerek yalan söyledim.

Yalan söylememin amacı sohbeti kısa kesmekti ve işe yaradı. Londra'da yaşamanın ve kabalık etmeden yabancılarla konuşmaktan kaçınma yolları aramanın doğurduğu, alışılageldik bir yalandı bu. Hele de bu durumda, adam veya köpeği, sohbete adamın yanlışını düzelterek başlamamı nasıl karşılardı, bilmiyordum: Beton kurumaz. Tam tersine: Su, betonun bir bileşenidir. Beton sertleşirken, suyla tepkimeye girmek suretiyle malzemenin derinliklerinde karmaşık bir mikroyapı oluşturacak bir kimyasal tepkimeler zinciri başlatır ve böylece beton, içinde

büyük miktarda su saklamasına karşın, yalnızca kuru değil, aynı zamanda su geçirmez olur.

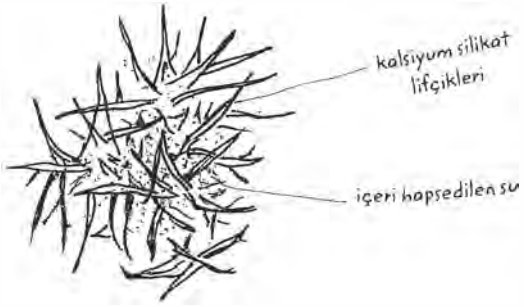
Betonun hazırlanması, özünde, aktif bileşeni ufalanmış kaya olan, dâhiyane bir kimyasal süreçtir. Ama her tür kayaç işe yaramaz. Beton yapmak istiyorsanız kalsiyum karbonat bulmanız gerekir. Kalsiyum karbonat, milyonlarca yıl içinde sıkışan ve yerkabuğu hareketinin yarattığı ısı ve basınçla kaynaşan canlı organizma katmanlarından oluşmuş kireçtaşının ana bileşenidir. Ayrıca silikat içeren bir miktar kayaç bulmanız gerekir; silikat, silikon ile oksijen içeren ve yerkabuğunun yaklaşık yüzde doksanını oluşturan bir bileşik olduğundan, bazı kil formları işinizi görür. Bu maddeleri öğütüp suyla karıştırırsanız hiçbir yere varamazsınız (Tabii vıcık vıcık çamur elde etmek istemiyorsanız). Söz konusu maddelerin içinde suyla tepkimeye girecek ana bileşeni oluşturmak için önce o maddeleri halihazırdaki kimyasal bağlarından kurtarmanız gerekir.

Bu da kolay bir iş değildir. O kimyasal bağlar son derece sağlamdır, kayaçlar bu yüzden kolayca dağılmazlar veya fazla bir şeyle tepkimeye girmez, tam tersine, iyi iklimlerde de kötü iklimlerde de milyonlarca yıl kalırlar. İşin sırrı kayaçları ısıtarak 1450°C civarında, aşırı yüksek bir sıcaklığa getirmektir. Bu sıcaklık, kor kırmızı veya sarı kor halindeyken 600 ila 800°C arasında seyreden ortalama odun veya kömür ateşininin sıcaklığını bir hayli aşar. 1450°C'deki sıcaklıklarda ateş akkor haline gelir, alevlerde kırmızıdan, hatta sarıdan eser yoktur ve yalnızca hafif bir mavilik görülür: Ateş göz korkutucu bir parlaklığa kavuşur, bakması bile adeta acı vericidir.

Kayaçlar bu sıcaklıklarda parçalanıp yeniden biçimlenerek, adına kalsiyum silikat denen bileşikler ailesini oluşturur. Bu bir ailedir çünkü elde edeceğiniz sonucu değiştirebilecek çok sayıda ufak safsızlık içerir. Alüminyum ve demir yönünden zengin kayaçlar beton yapımı için sihirli bileşenlerdir ama yalnızca

doğru oranlarda kullanıldıklarında. Soğuyunca, Ay'ın grimsi beyaz rengini taşıyan, çok özel bir toz oluşur. Elinizi o tozun içine sokarsanız külün ipeksi dokusuna sahip olduğunu görürsünüz ama çok geçmeden ellerinizin ilk bakışta anlaşılmayan bir saldırıya uğramış gibi kuruduğunu hissedersiniz. Bu çok özel malzeme oldukça ruhsuz bir ad taşır: çimento.

Bu toza şimdi su eklerseniz, suyu tamamen emerek kararır. Ama toz haline getirilmiş çoğu kayaca su eklendiğinde olduğu gibi, sulu bir çamur oluşmaz, tersine karşımı jel kıvamına getirecek bir dizi kimyasal tepkime gerçekleşir. Jeller yarı katı ve titrek maddelerdir; çocukların partilerinde sunulan jöle, bir jeldir ve diş macunlarının çoğu da öyledir. Jel sıvı gibi çalkalanmaz çünkü içindeki sıvının hareket etmesini önleyen bir iç iskeleti vardır. Jölede iç iskeleti sağlayan jelatindir. Çimentonun iskeleti ise kalsiyum silikat hidrat lifçiklerinden oluşur; kalsiyum ve silikat moleküllerinden çıkan bu kristal benzeri oluşumlar şimdi, adeta organik bir biçimde, suda çözünmüştür (aşağıdaki çizime bakınız). Dolayısıyla çimentonun içinde şekillenen jel durmaksızın değişirken masif iç iskelet büyür ve başka kimyasal tepkimeler oluşur.



Sertleşen çimentonun içinde büyüyen kalsiyum silikat lifçikleri gösteren bir çizim.

Lifçikler büyüyüp birbirleriyle karşılaştıkça, birleşip bağlar oluşturarak ve gittikçe içeri daha çok su hapsederek jel kıvamındaki karışımı masif bir kayaya dönüştürür. Bu lifçikler yalnızca birbirleriyle değil, diğer taşlar ve kayalarla da bağlar kurar ve çimento betona böyle dönüşür. Çimento eskiden ev yapımında kullanılan tuğlaları ve anıtların yapımında kullanılan taşları birleştirmek için kullanılırdı ama her iki durumda da her şeyi bir arada tutan ikincil bileşen olarak çatlakların arasına sıkıştırılırdı. Çimento, ufak tuğlalar rolü üstlenen küçük taşlarla karıştırılmak suretiyle betona dönüştürüldüğünde bir yapı malzemesi olma potansiyelini gerçekleştirir.

Her kimyasal tepkimede olduğu gibi, bileşenleri yanlış oranda koyarsanız ortalık karışır. Beton örneğinde, karışıma fazla su eklerseniz çimento tozundan tepkimeye girecek kadar kalsiyum silikat çıkmaz ve böylece su yapının içinde kalarak onu güçsüzleştirir. Benzer biçimde eğer çok az su eklerseniz çimentonun bir kısmı tepkimeye girmeden kalır ve bu da yapıyı zayıflatır. Betonun bozulmasına yol açan, genelde bu gibi insan hatalarıdır. Kalitesiz beton fark edilmeyebilir ama fark edilmezse inşaatçılar işini bitirip gittikten yıllar sonra felakete yol açar. 2010 Haiti depremindeki hasarın boyutlarından, kötü inşaat işçiliği ve düşük kaliteli beton sorumlu tutuldu: Yaklaşık 250.000 bina çöktü, 300.000'den fazla insan öldü, bir milyon insan evsiz kaldı. İşin kötüsü, Haiti kesinlikle bir istisna değildir. Kalitesiz beton, saatli bombadır ve dünyanın dört bir yanına dağılmıştır.

Böyle insan hatalarının kaynağını bulmak zor iştir çünkü dışarıdan bakıldığında beton gayet iyi görünür. JFK Havaalanı binasının denetim mühendisi rutin testler sırasında bir şey fark etti: Kamyonlarla öğleden önce gelen beton sertleşince yüksek dayanım kazanırken, öğleden hemen sonra gelen beton büyük ölçüde dayanıksızdı. Kafası karışan adam buna yol açabilecek tüm olası nedenleri araştırdı ama aradığı yanıtı bulamayınca

son çare olarak betonu getiren kamyonu havaalanına kadar izlemeye karar verdi ve şoförün öğle vakti yemek molası vermeyi alışkanlık edindiğini ve molaya çıkmadan önce fazladan su eklemenin betonu daha uzun bir süre sıvı halde tutacağı inancıyla, betonu hortumla suladığını keşfetti.

Shard ve Shard'ın destek yapıları için temel kazan mühendisler, tarihi modern betondan önceye giden bir beton türüne dair kanıt buldular: Roma betonu. Eski Southwark Kuleleri'nin yanında bulunan benim *fish & chips*'çiyi yıkarlarken, işte o betonun bir arada tuttuğu Roma hamamının kalıntılarını buldular.



Shard mühendislerinin bulduğu Roma hamamı kalıntıları.

Romalıların betonda şansları yaver gitmişti. Farklı öğütülmüş kayaç kombinasyonlarını akkor sıcaklıklara getirerek deneyler yapmak zorunda kalmamış, Napoli'nin hemen dışında Pozzuoli diye bir yerde hazır çimento bulmuşlardı.

Pozzuoli gerçekten leş gibi kokuyordu. Civarda bulunan volkanik kumlardaki sülfürün kokusu nedeniyle adını Latince *putere* (kötü kokmak) sözcüğünden almıştı. Kokunun iyi tarafı, bölgenin milyonlarca yıl boyunca lav ve ponza ve kül

patlamalarına maruz kalmasıydı. Buradaki volkanik kül, vaktiyle bir volkan bacasının püskürttüğü silikat kayacın aşırı ısınmasının bir sonucuydu. Bu süreç tuhaf bir şekilde modern beton yapım sürecine benzer. Romalılara kokuya katlanıp milyonlarca yıldır biriken kaya tozu madenini kazmaktan başka bir iş düşmüyordu. Bu doğal çimento, modern ("Portland") çimentosundan biraz farklıdır ve sertleştirmek için kireç katkısı gerekir. Ama Romalılar bunu anlayıp çimentoyu güçlendirmek için içine taş ekleyince insan tarihinde ilk kez eşsiz bir temel yapı malzemesi olan betonu elde etmişlerdi.

Tuğla bir binanın kompozit yapısı, cazibesinin bir parçasıdır. Tuğlanın kendisi ele sığacak şekilde tasarlanmış bir yapı elemanı olduğundan, bütüne bir insan ölçeği katar. Betonun bu yapı malzemesinden temel bir farkı vardır çünkü başlangıçta sıvıdır. Yani, betondan yapılan binalar dökülebilir niteliktedir ve oluşturulan yapı, temelinden çatısına kadar hiçbir eklentisi olmayan, sürekli bir yapıdır.

Bir beton mühendisinin mantrası şudur: Temel isterseniz temel dökeriz; kolon isterseniz kolon dökeriz; zemin isterseniz zemin dökeriz. İki kat büyütmek mi istiyorsunuz? Hiç sorun değil. Kavis mi istiyorsunuz? Hiç sorun değil. Betonla bir yapının kalıbını yapabiliyorsanız kendisini de yaparsınız. Beton maddesinin elle tutulur bir gücü vardır ve betonun yapıldığı şantiyeleri ziyaret eden herkes bu gücün bağımlısı olur. Haftalarca Shard'ın şantiyesindeki gözetleme deliğinden baktım ve gördüklerim karşısında, olduğum yerde mıhlanıp kaldım. Bir bina temelden hızla yükseliyordu; insan karıncalar binayı, dökerek var ediyordu. Şantiyeye toz halinde getirilen taşlar ve kayaçlar yalnızca su eklenmek suretiyle yeniden taşa dönüşüyordu. Bu bir mühendislik tekniği olduğu kadar bir felsefedir de: Yerkabuğunun dağ oluşumu sürecinde kayaç ve taş üretmesiyle başlayan döngü, bu taş madenlerinin insanlar tarafından

kazıldıktan sonra, yeniden, yaşadığımız ve çalıştığımız yerlerde bizim tasarımımıza göre yapılmış yapay taş dağlara dönüşmesiyle tamamlanır.

Betonun varlığı mühendislerin hırsını besler. Romalılar betonu icat ettiklerinde, bu malzemeyle imparatorluklarının alt yapısını kurabileceklerini fark ettiler. Beton, Romalıların istediği yere liman yapmasına olanak veriyordu çünkü Romalıların betonu suyun altında sertleşebiliyordu. Ayrıca su kemerleri ve köprüler yaparak yerel taşa veya kile bel bağlamak yerine betonun hammaddelerini gereken yere taşımak için lazım olan alt yapıyı kuruyorlardı. Beton bu açıdan yapı dünyasına hükmetmek için idealdir. Ancak, Romalıların en etkileyici beton mühendisliği eseri başkentlerindedir: Roma'daki Pantheon'un kubbesi. Bugün hâlâ ayakta duran kubbe 2000 yaşındadır ve hâlâ dünyadaki en büyük desteksiz beton kubbedir.



Pantheon Roma İmparatorluğu'ndan uzun yaşamışsa da bir malzeme olarak betonun ömrü o kadar uzun sürmedi. Romalılar beton işini bıraktıktan sonra, bin yılı aşkın bir süre boyunca hiç beton bina yapılmadı. Malzeme teknolojisindeki bu kaybın nedeni hâlâ gizemini koruyor. Malzemenin kaybolmasının

nedeni, belki de doğası gereği endüstriyel bir malzeme olması ve endüstriyel bir imparatorluğun desteğine gerek duymasıydı. Ya da belki demircilik, taş işçiliği veya marangozluk gibi özel bir beceri veya zanaatla bağdaşmadığından, dolayısıyla da aile geleneği olarak kuşaktan kuşağa geçmediğinden kaybolmuştur. Belki de kullanışlılığına karşın, Romalıların da bildiği ama bir türlü çözemediği çok büyük bir kusuru vardı.

Bir malzemeyi kırmanın iki yolu vardır. Biri plastik olarak kırmaktır. Örneğin, bir sakızı çekip kopardığınız zaman plastik kırılma gerçekleşir: Söz konusu malzeme biçimlendirilebilme özelliğine sahiptir, uzar, orta yerinden incelir, sonunda da iki parçaya ayrılır. Çoğu metali kırmak için böyle yapmanız gerekir ama metalleri sakız gibi uzatmak bir hayli enerji gerektirir (çünkü çok sayıda dislokasyonu harekete geçirmeniz gerekir) ki bu yüzden metaller sağlam ve sert malzemelerdir. Bir malzemeyi kırmanın diğer yolu ise malzemede bir çatlak oluşturmaktır. Bir bardak veya fincan böyle kırılır: Kendisini çekip koparmaya çalışan gerilime uyum sağlamak için uzayamadığından, bu tip bir malzemedeki tek zayıflık malzemenin bütünlüğünü bozar, malzeme çatlar ve parçalanır. Beton böyle kırılır ki bu da Romalıların başını ağrıtmıştır.

Romalılar bu sorunu hiç çözemediler, o yüzden betonu malzemenin esnetildiği değil, yalnızca sıkıştırıldığı durumlarda, örneğin sütun, kubbe veya bir binanın temeli gibi, betonun her parçasının yapının ağırlığı altında sıkıştığı yerlerde kullandılar. Beton, böyle basınç altındayken çatlaklar oluşsa bile sağlamlığını korur. 2000 yıllık Pantheon kubbesini görmeye giderseniz, kubbede yıllar içinde ihtimalle depremlerden veya çökmeden ötürü oluşan çatlakları görürsünüz ama bu çatlaklar yapı için bir tehlike arz etmez çünkü tüm kubbe basınç altındadır. Romalılar betondan kirişler veya asma katlar yapmayı denediler ama bunlar için betonun eğilme gerilmesine dayanması gerektiğinden,

en küçük bir çatlakta bile yapının çöktüğünü görmüşlerdir. Betonun çatlağın iki yanında kalan kısmının, kendi ağırlığı ve binanın ağırlığı altında çekilmeye maruz kaldığında direnmesi mümkün değildir. Dolayısıyla bugün yaptığımız gibi, betonun tüm potansiyelini kullanarak duvarlar, katlar, köprüler, tüneller ve barajlar yapmak için bu sorunun çözülmesi gerekiyordu. Avrupa'da Sanayi Devrimi sahneye girene kadar bir çözüm bulunamadı. Hatta o zaman bile çözüm hiç beklenmedik bir kaynaktan geldi.

Joseph Monier adlı Parisli bir bahçıvan kendi saksılarını yapmayı seviyordu. O zamanlar,1867'de, saksılar pişmiş topraktan yapıldığından dayanıksız ve kolay kırılan nesnelerdi. Hele seralarda tropikal bitki yetiştirme çılgınlığına uygun büyük saksılar isteniyorsa yapımı oldukça pahalıydı. Beton en uygun çözüm gibi görünüyordu. Betondan kile kıyasla çok daha kolayca büyük saksılar yapılabilirdi çünkü betonun bir fırında pişirilmesi gerekmiyordu. Üstelik aynı nedenden ötürü daha ucuzdu. Ama hâlâ gerilime dayanıksızdı, o yüzden de Joseph'in beton saksıları sonunda tıpkı terakota gibi çatladı.

Joseph çözümü betonun içine çelik halkalar koymakta buldu. Çimentonun çeliğe sıkı sıkı bağlanacağını bilemezdi. Çelik betonun içindeyken, sirkenin içindeki zeytinyağı gibi ayrı durmayı da tercih edebilirdi. Ama öyle olmadı çünkü betonun içindeki kalsiyum silikat lifçikleri yalnızca taşa değil, metale de yapışır.

Beton özünde taşın bir suretidir: Taştan elde edilir, görünümü, yapısı ve özellikleri taşa benzer. Çelikle güçlendirilmiş beton, yani betonarme ise çok farklıdır: Doğada böyle bir malzeme yoktur. Betonarme eğilme gerilmelerine maruz kaldığında, içerideki çelik iskelet gerilmeyi tamamen kendi üstüne alarak, betonda büyük çatlakların oluşmasını önler. Tek bünyede iki malzemedir bu ve betonu bir uzman malzemesinden gelmiş geçmiş en çok-amaçlı yapı malzemesine dönüştürür.

Joseph'in o zamanlar bilemeyeceği bir şey daha vardı ki o şey, aslında ürettiği betonarmenin başarısının anahtarlarından biriydi. Malzemeler statik nesneler değildir; çevrelerine, özellikle de sıcaklığa duyarlıdırlar. Çoğu malzeme ısınınca genleşir, soğuyunca büzüşür. Binalarımız da, yollarımız da, köprülerimiz de gece gündüz sıcaklık döngülerini nefes alıyormuşçasına gözlemleyerek aynı şekilde genleşip büzüşürler. Yollarda, binalarda çatlaklar oluşmasına yol açan bu genleşme ve büzüşmedir. Yapıların tasarım aşamasında genleşme ve büzüşme hesaba katılmazsa biriken gerilimler yapıyı yıkabilir. Joseph'in deneylerinin sonucunu kestiren her mühendis, iki farklı malzeme olan beton ile çeliğin farklı oranlarda genleşip büzüşerek birbirini parçalayacağını, Joseph'in bahçesinde güneşin alnında veya kışın ortasında çeliğin betonu kırıp dışarı çıkarak saksıları parçalayacağını varsayabilirdi. Belki de o yüzden bu işi bir bahçıvanın denemesi gerekiyordu: İşe yaramayacağı o kadar barizdi ki. Ama işe bakın ki çeliğin ve betonun genleşme katsayıları hemen hemen aynıdır. Başka bir deyişle, ikisi de hemen hemen aynı oranda genleşip büzüşürler. Bu küçük bir mucizeydi ama bunu fark eden tek kişi Joseph değildi. William Wilkinson adlı bir İngiliz de tesadüfen bu büyülü malzeme birleşimini keşfetmişti: Betonarmenin zamanı gelmişti.

Dünyanın gelişmekte olan pek çok ülkesinden herhangi birine giderseniz en fakir kesimden milyonlarca insanın çamurdan, ağaçtan ve oluklu çelik sac çatılardan yapılmış gecekondu mahallelerinde yaşadığını görürsünüz. Bu meskenler doğa koşullarına karşı savunmasızdır. Yazın bunaltıcı bir sıcağa yol açarlar; yağmurda ise içeriye su sızdırırlar, sarsılırlar. Sürekli fırtınalarla yıkılırlar, sellere kapılırlar veya polisin ve güçlülerin hizmetindeki buldozerlerin altında kalırlar. Doğa koşullarına ve sizi ezmek isteyenlere karşı sarsılmaz bir savunma sağlamak için sağlam

olduğu kadar ateşe, fırtınaya ve suya dayanıklı, daha da önemlisi dünyadaki herkesin bütçesine uyacak bir malzeme gerekir.

Bu malzeme betonarmedir. Tonu 100 sterlinden satılan beton, dünyanın uzak arayla en ucuz yapı malzemesidir. Ama aynı zamanda yapının mekanizasyonunu da sağladığı için daha sonra doğacak giderleri de azaltır. Bir kişi bir beton karma makinesiyle birkaç haftada bir evin temelini, duvarlarını, zeminlerini, çatısını yapabilir. Tüm bu elemanlar aynı yapının parçası olduğundan, her hava koşulunda yüzlerce yıl rahatlıkla dayanır. Atılan temeller binayı su sızıntılarından korur, böceklere ve küf istilasına geçit vermez. Duvarlar çökmeye karşı dayanıklıdır, cam pencereleri güvenle destekler. Çok az bakım ister: Çinileri dökülmez çünkü yoktur; çatı, binanın bütünleşmiş bir parçasıdır, ayrıca üstünde gıda maddesi olarak ve binaya ısı yalıtımı sağlamak için sarmaşıklar, bitkiler hatta çimen bile yetiştirilebilir. (Böyle teraslı çatı bahçelerinin betonun içindeki güçlendirilmiş çelik iskelet sayesinde mümkün hale gelmesi ki aksi halde yalnızca Pantheon'daki gibi kubbe çatıları yapılabilirdi, betonarmenin bahçıvan mucitlerinden birine saygı duruşu niteliğindedir.)

Shard'daki çalışma sürerken, artık şantiyedeki panonun gözetleme penceresine gitmem gerekmediğini fark ettim. Hatta o gözetleme penceresi bana, sunabileceği en kötü manzarayı sunuyordu. Artık tüm hareket gittikçe yükselen kulenin tepesindeydi. En iyi manzara çatımdaydı ve çok geçmeden sabahları kalkıp kahvemi içerken Shard'ın gelişimini izlemeyi alışkanlık edindim. Çatıdaki bacaya tebeşirle çentikler atarak, kulenin ne kadar büyüdüğünü ölçmeye başladım. Yükseldikçe yükseldi! Çalışmanın en civcivli yerinde, mühendislerin yaklaşık birkaç günde bir kat çıktıklarını hesapladım.

Buna olanak sağlayan, betonun durmaksızın dökülmesiydi. Kamyonlarla binanın dibine gelen beton, tepedeki bir kalıba

pompalanıyordu. Bu sırada, binanın bir katı boyutunda ve biçiminde olan kalıp, beton kulenin iç iskeleti görevi görecek çelik çubuklarla donatılıyordu. Dökümü biten kat, bir üst kata taşınarak, bir sonraki dökümü bekleyen kalıbı desteklemek için kullanılıyordu. Süreç böyle yinelendikçe, bina yükseliyordu. Hesaplarıma göre, günde üç metre yükseliyordu.

Daha da sarsıcısı, görünüşe göre kalıbı bir üst kata taşıyıp içine yeniden beton dökme zahmetine girdiğiniz sürece, bu devridaim devam edebilirdi: Tıpkı büyüyen bir ağaç fidanının filiz vermesi gibi. Oysa aslında sürecin şimdilik sınırları var. Dubai'de bulunan, Shard'ın yaklaşık üç katı uzunluğundaki Burj Khalifa'nın mühendisleri, makine aksamının kulenin tepesine dikey olarak beton pompalama kapasitesinin ciddi bir sorun yarattığını görmüşlerdir.

Yine de yöntem dâhiyanedir. Betonu böylesine modern bir malzeme yapan, bina yapım sürecinin bu mekanizasyonudur. Beton dökülüp kalıplanmaya, kocaman binaları hızla yapmaya uygundur. Eskinin büyük yapılarını, söz gelimi Avrupa'nın



Dünyanın en güzel köprülerinden biri, Fransa'daki Millau Viyadüğü, betonarme bir yapıdır.

taş katedrallerini veya büyük Çin Seddi'ni yapmak onlarca yıl sürüyordu. Avrupa'nın en uzun binalarından biri olan Shard'ın merkezi çekirdeği altı aydan kısa bir sürede yapıldı. Bu malzeme büyük düşünmenize, hayal kurmanıza izin verir. İnşaat mühendislerinin tutkusunu gözler önüne seren, bu malzemedir. Hoover Barajı, Millau Viyadüğü, Spaghetti Kavşağı betonarme yapılardır.

Bir gün Shard'ın yükselmesi durdu ve ardından birkaç gün içinde beton kalıp teçhizatı gözden kayboluverdi. Geriye yetmiş iki kat yüksekliğine beton bir kule kaldı: Griydi, hamdı ve yeni doğmuş bir bebek gibi buruşuktu. Altta yeniden çalışma başladı; Londra'nın en yeni beton kulesi ise dibine üşüşmüş insan-karıncaları izlemekten başka yapacak bir şeyi olmaksızın, rüzgârla sessizce salındı. Ama boş durmuyordu. Malzemenin içinde büyüyen kalsiyum silikat hidrat lifçikleri iç içe geçerek taşlara ve çeliklere bağlanıyordu. Kule bu suretle güçleniyordu. Her ne kadar suyla tepkimeye giren beton yirmi dört saat içinde sertleşerek makul bir güç kazansa da bu yapay taşın iç mimarisinin gelişmesi, dolayısıyla tam gücüne kavuşması yıllar



İnşaat sırasında Shard.

sürer. Ben bunları yazarken, gözle görülmese de Shard'ın beton çekirdeği hâlâ sertleşip güçlenmeye devam ediyor.

Tam gücüne kavuşunca, bu beton yapı gündüzleri içinde yaşayacak 20.000 insanın ağırlığını taşıyacak. O insanların binlerce masasının ve sandalyesinin, onca mobilyasının ve bilgisayarın, üstüne bir de tonlarca suyun ağırlığını taşıyacak. Her gün sabahtan akşama kadar bu ağırlığı taşırken, hiçbir deformasyon göstermeyecek. Katlar katılık ve yekpareliklerini koruyacak. Üstelik beton, binlerce yıl boyunca gıkını bile çıkarmadan, bina sakinlerini kollayıp doğa şartlarından koruyabilir. Gerekli bakımı yapılsın yeter.

Çünkü bir bina malzemesi olarak etkileyici referanslarına karşın, güçlendirilmiş beton gerçekten de bakım ister. Betonun zafiyeti de gücünün geldiği yerden gelir: iç yapısından.

Betonu güçlendirmek için kullanılan çelik, normal şartlar altında hava koşullarına maruz kalınca paslanmaya yatkındır. Ama aynı çelik betonla kaplandığında, alkalin şartlar çeliğin üstünde koruyucu bir deri işlevi gören bir demir hidroksit tabakası oluşturur. Ama bir binanın ömrü boyunca, betonda hem normal eskime ve yıpranmadan, hem de yazları ve kışları görülen genleşme ile büzüşmeden kaynaklanan küçük çatlaklar görülebilir. Su bu çatlaklardan içeri sızabilir ve donup genleşerek daha derin bir yarık oluşturabilir. Tüm taş binalar aşınmanın ve yıpranmanın bu türüne katlanmak zorundadır. Dağlar da aynı durumdan mustariptir, erozyona uğramaları bundandır. Taş veya beton binaları benzer sıkıntılardan korumak için yapılarının yaklaşık elli yılda bir bakımdan geçmesi gerekir.

Ama beton çok daha habis bir hasara uğrayabilir. Bu hasar beton çok su aldığında ve içindeki güçlendirici çelik aşındığında görülür. Yapının içine yayılan pas yeni çatlaklar oluşturarak tüm çelik iskeleti tehdit edebilir. Bu durum özellikle demir hidroksit korumayı yok ederek çeliği pas içinde bırakan tuzlu suyun varlığında görülür. Soğuk ülkelerde bulunan ve düzenli (örneğin

karlanmaya ve buzlanmaya karşı kullanılan) tuza maruz kalan köprüler ve yollar, bu tür kronik bozulmalara karşı savunmasızdır. Geçenlerde Londra'daki Hammersmith üstgeçidinin bu tarz bir beton çürümesine uğradığı görüldü.

Dünyadaki yapıların abartısız yarısının betondan yapıldığı düşünülürse beton yapıların bakımı giderek artan, büyük bir çabayı simgeler. Bu da yetmezmiş gibi, bu yapıların çoğu, söz gelimi İsveç ile Danimarka'yı birbirine bağlayan Øresund Köprüsü veya bir nükleer enerji istasyonunun iç çekirdeği gibi düzenli aralıklarla gidip görmek istemediğimiz çevrelerde bulunur. Böyle durumlarda en ideal çözüm, betonun kendine bakmasını sağlamanın bir yolunu bularak betonu kendi kendini onaracak biçimde tasarlamak olacaktır. Artık böyle bir beton vardır ve henüz bebeklik aşamasında olsa da işe yaradığı çoktan kanıtlanmıştır.

Kendini onarabilen betonların öyküsü, bilim insanlarının ağır koşullarda hayatta kalabilen yaşam formlarını araştırması sırasında başladı. Bilim insanları volkanik hareketlerle oluşan yüksek dereceli alkalik göllerin dibinde yaşayan bir bakteri türü buldular. Alkalik göllerin pH değerleri 9 ile 11 arasındadır ve bu değerler insan derisinde yanıklara yol açar. Önceden, mantıksız sayılamayacak nedenlerden ötürü, bu kükürtlü göletlerde hiçbir canlının yaşayamayacağı düşünülüyordu. Ama titiz çalışmalar yaşamın sandığımızdan çok daha azimli olduğunu ortaya çıkardı. Alkalifilik bakterilerin bu koşullarda hayatta kalabildiği anlaşıldı. Ardından da *B. Pasteurii* denen özel bir türün, bir beton bileşeni olan kalsit minerali salgılayabildiği keşfedildi. Bu bakterilerin aynı zamanda son derece dayanıklı olduğu ve taşın içinde uyuyarak onlarca yıl yaşayabildiği anlaşıldı.

Kendini onaran betonun içine bu bakterilerle birlikte bakterilere yiyecek işlevi gören bir tür nişasta konur. Normal şartlar altında söz konusu bakteriler, kalsiyum silikat hidrat lifleriyle sarmalanmış halde uyumaya devam eder. Ama bir çatlak

oluştuğu takdirde bakteriler bağlarından kurtulurlar, içeri su girdiğinde ise uyanıp yiyecek aramaya başlarlar ve betona eklenmiş nişastayı bulurlar. Nişasta bakterilere büyüyüp üreme imkânı sunar. Bu süreçte bakteriler bir kalsiyum karbonat formu olan kalsit mineralini salgılar. Bu kalsit betona yapışır ve çatlağı kaplayıp mühürlemek suretiyle büyümesini önleyen bir mineral yapısı oluşturmaya başlar.

Söz konusu fikir, teoride iyi görünse de pratikte asla işe yaramayan türdeki fikirlerden biridir. Ama gerçekten işe yarar. Şimdiki araştırmalar bu yöntemle hazırlanmış çatlak betonun söz konusu bakteriler sayesinde gücünü yüzde doksan oranında geri kazanabildiğini gösteriyor. Kendini onaran beton artık gerçek mühendislik yapılarında kullanılmak üzere geliştiriliyor.

İçinde canlı bir katkı maddesi bulunan bir başka beton tipi, filtre betondur. Filtre betonun doğal yolla oluşan bakterilerin kolonizasyonuna izin veren, gözenekli, çok özel bir dokusu vardır. Betondaki gözenekler suyun akıp gitmesini sağlayarak drenaj ihtiyacını azaltırken, betonun içindeki bakteriler de yağları ve diğer atıkları ayrıştırarak suyu arıtır.



Kumaş beton.

Betonun artık bir de kumaş beton denen bir tekstil versiyonu var. Rulo halinde gelen bu malzemeyi istenen şekle sokup sertleştirmek için su eklemek yeterli. Kumaş betonda her ne kadar heykel malzemesi olma potansiyeli bulunsa da herhalde en büyük kullanım alanı felaket bölgeleridir: Havadan atılan rulo betonlardan olay yerinde yapılan çadırlar birkaç gün içinde geçici bir kent oluşturabilir ve yeniden inşa çalışmaları sürerken, insanları yıllarca yağmurun, rüzgârın ve güneşin etkilerinden koruyabilir.

Oysa Shard'daki çalışmaların bir sonraki adımı betonun bu potansiyelini över nitelikte değildi. Aksine Shard'ın dış cephesini yavaş ama emin adımlarla çelik ve cam kaplayarak, binanın beton çekirdeğine dair tüm izleri siliyorlardı. Neyin ima edildiği ortadaydı: Betondan utanıyorlardı. Yeni binanın dış dünyayla veya sakinleriyle karşılaşma anında, betonun yeri yoktu.

Çoğu kişi aynı yaklaşımı benimser. Betonun bir otoban köprüsünün veya hidroelektrik barajın yapımında kullanılması olumlu karşılanır ama kent içindeki binaların yapımında kullanılması uygun görülmez. Bugün beton kullanımını, 1960'larda Londra Southbank Centre'da olduğu gibi, özgürlük ve bağımsızlığın bir ifadesi olarak düşünmek mümkün değildir.

1960'lar beton için baş döndürücü zamanlardı. Kent merkezlerini yeniden inşa etmek ve modern bir dünya kurmak için beton, cüretkârca kullanılırdı. Ama beton zaman içinde bir noktada bu çağrışımını kaybetti ve insanlar, betonun geleceğin malzemesi olmadığına karar verdi. Belki düşük kaliteli betondan fazlasıyla katlı otopark yapılmıştı, belki de duvarları grafiti kaplı beton altgeçitlerde fazlasıyla insan soyulmuştu ya da belki beton toplu konutlarda yaşadıkları için fazlasıyla aile insanlıktan çıktığını hissetmişti. Günümüzde beton insanların gözünde gerekli, ucuz, işlevsel, gri, kasvetli, lekeli, insanlık dışı ama hepsinden çok da çirkindir.



Dives in Misericordia.

Ama işin aslı şudur: Malzeme ne olursa olsun ucuz tasarım, ucuz tasarımdır. Çelik iyi veya kötü tasarımlarda kullanılabilir, ahşap ve tuğla da öyle ama "çirkin" damgası yapıştırılan yalnızca betondur. Betonun estetiğinde doğası bakımından bir eksiklik yoktur. Anıtsal kabuk kaplaması betondan yapılmış Sidney Opera Binası ya da Londra Barbican Centre'a bakarsanız betonun en büyük ve olağanüstü mimari tasarımları uygulayabildiğini, hatta bizzat o tasarımları mümkün kıldığını görürsünüz. 1960'lardan beri bu durum değişmedi. Bugün kabul edilemez gelen şey, betonun görüntüsüdür ve o yüzden beton artık rutin bir biçimde gözlerden gizleniyor, çekirdeğin ve temelin yapımında kullanılıyor ama görülmesine izin verilmiyor.

Betonun estetik cazibesini tazelemek için pek çok yeni beton çeşidi icat edildi. Son icat, titanyum dioksit parçacıkları içeren, kendi kendini temizleyen betondur. Betonun yüzeyinde bulunan parçacıklar mikroskobik boyutta ve saydam olduklarından, dışarıdan farklı görünmezler. Ancak, bu parçacıklar güneşten UV ışını aldıklarında, temas ettikleri her organik pisliği parçalayan, serbest radikal iyonlar oluştururlar. Kalan parçaları ya yağmur

yıkar ya rüzgâr uçurur. Roma'daki Dives in Misericordia adlı kilise, bu kendi kendini temizleyen betondan yapılmıştır.

Dahası, titanyum dioksit betonu temizlemekten fazlasını yapar; bir katalizör gibi, arabaların havaya karıştırdığı nitrojen oksit oranını da azaltır. Söz konusu betonun işe yaradığını gösteren çeşitli araştırmalar, kent çevresindeki binaların ve yolların gelecekte tamamen pasif kalmayabileceği olasılığını gündeme getiriyor: Binalar ve yollar, bitkiler gibi havayı temizleyebilirler.

Artık Shard tamamlandığından, daha kabul edilebilir malzemelerle kaplanan beton tamamen görünmez oldu. Ama bizim de Shard'ınki gibi çirkin bir sırrımız var: Beton gerçek anlamıyla toplumumuzun temelini oluşturuyor; kentlerimizin altyapısı, yollarımız, köprülerimiz, güç kaynaklarımız, kısacası yaptığımız her şeyin yüzde ellisi beton. Ama betonun kemik gibi içeride kalmasını tercih ediyoruz, görünür olduğundaysa itici geliyor. Bu kalıcı bir durum olmayabilir. Belki yalnızca ikinci dalga beton coşkusunun sonu gelmiştir. İlki Romalılarla başlamış, bilinmeyen nedenlerle sona ermişti. Gelişmekte olan yeni beton çok daha incelikli, o yüzden zevklerimizi yeniden tersyüz ederek üçüncü bir coşku dalgasını ateşleyebilir ve bu kez coşkunun nesnesi olan akıllı beton, içine gömülü bakteriler sayesinde nefes alan, canlı bir mimari üreterek bu temel malzemeyle ilişkimizi değiştirebilir.

4. Nefis



Bir parça bitter çikolata alıp ağzınıza atın. Önce bir süre parçanın sert kenarlarının damağınıza ve dilinize değdiğini hissedersiniz ama aroma açısından az bir tat gelir. Çikolatayı bir güzel ısırmamak için kendinizi zor tutarsınız ama tutun, tutun

ki bir sonraki aşamayı yaşayabilesiniz: Kitle dilinizin sıcaklığını emerek bir anda yumuşar. Çikolata sıvılaşırken, dilinizin serinlediğini fark edersiniz; derken tatlı ve acımtırak aromaların bir karışımı ağzınıza yayılır. Bunları meyve ve fındık tatları izler, sonunda da genzinizde toprağımsı, çamur gibi bir tat duyarsınız. Keyif dolu bir anlığına yeryüzünün en lezzetli mühendislik ürününün esiri olursunuz.

Çikolata ağza konar konmaz sıvılaşmak üzere tasarlanmıştır. Bu numara yüzlerce yıllık aşçılık ve mühendislik emeğinin çay ve kahve karşısında konumunu koruyabilecek popüler bir içecek yaratma hedefine yönelmesinin bir sonucudur. O emekler boşa çıkmıştır, ta ki çikolata üreticileri cezve yerine ağızda sıcak çikolata yapmanın çok daha keyifli, çok daha modern olduğunu ve açık ara çok daha fazla tutulduğunu fark edene kadar: Esasen ürettikleri, katı bir içecekti. Çikolata sanayi bu noktadan sonra arkasına hiç bakmadı. Başarılarını mümkün kılan şey kristalleri, özellikle de kakao yağı kristallerini anlamaları ve kontrol etmeleriydi.

Kakao yağı sebze krallığındaki en iyi yağlardan biridir; birincilik için tereyağı ve zeytinyağı ile kapışır. Saf hali tuzsuz tereyağına benzeyen kakao yağı, yalnızca çikolatanın değil, lüks yüz kremlerinin ve losyonların da ana maddesini oluşturur. İştahınız kaçmasın: Yağlar her zaman insanlar için yiyecekten fazlası olmuş, mum, krem, gaz lambası, cila ve sabun biçiminde kullanılmıştır. Ama kakao yağı pek çok nedenle özel bir yağdır. Öncelikle vücut sıcaklığında erir, yani katı halde saklanabilir ama insan bedenine değer değmez sıvılaşır. O yüzden losyonlar için idealdir. Dahası, içinde bayatlamayı önleyen doğal antioksidanlar bulunduğu için, bozulmadan yıllarca saklanabilir (sütten yapılan ve raf ömrü birkaç haftayı geçmeyen tereyağı ile kıyaslayın). Yüz kremi üreticileri kadar çikolata üreticileri için de iyi bir haberdir bu.

Kakao yağının bir numarası daha vardır: Kristaller oluşturur ve çikolatalara mekanik dayanımını veren bu kristallerdir. Kakao yağının ana bileşeni, trigliserit denen ve kristaller oluşturan büyük bir moleküldür. Kristaller trigliseritlerin nasıl istiflendiğine bağlı olarak pek çok farklı şekilde oluşur. Bir arabanın bagajını doldurmak gibi düşünün: Eşyaları bagaja farklı şekillerde koyabilirsiniz ama bazı durumlarda daha az boş yer kalır. Trigliseritler ne kadar sıkış tıkış istiflenmişse kakao yağının kristalleri de o kadar sıkışık olur. Kakao yağı ne kadar yoğun olursa erime noktası o kadar yükselir, kararlılığı ve dayanıklılığı da artar. Bu yoğun kakao formu aynı zamanda elde edilmesi en zor olanıdır.



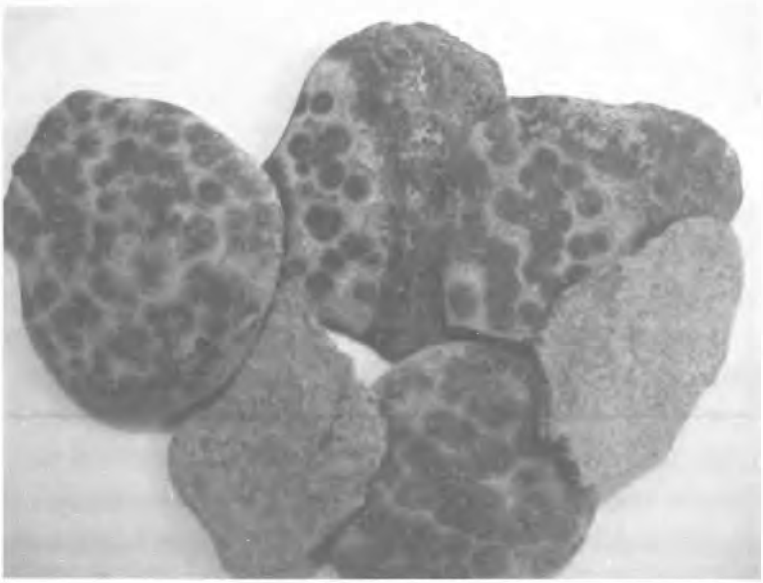
Trigliserit moleküllerinin farklı biçimlerde kristal formuna girişini gösteren çizim. Hepsinin yapısı ve yoğunluğu farklıdır.

Tip I ve Tip II olarak anılan kristaller mekanik açıdan yumuşak ve oldukça kararsızdır. Fırsat bulurlarsa daha yoğun olan Tip III ve Tip IV'e dönüşürler. Yine de dondurmalara çikolata kaplaması yapmak için elverişlidirler çünkü 16°C'lik düşük erime noktaları sayesinde, dondurmanın serinliğinde bile ağızda erirler.

Tip III ve Tip IV kristalleri yumuşaktır, kolay ufalanır, kırılınca gevrek bir "çat" sesi çıkarmaz. Mekanik çatırdama özelliği çikolatacılar için önemlidir çünkü çikolata deneyimimize sürpriz ve drama unsuru katar. Örneğin, yumuşak dolguyu saracak sert dış kabuklar üretilerek, dokusal bir tezat sağlanmasına olanak verir. Bu arada psiko-fiziksel açıdan bakıldığında,

çikolatayı kırınca çıkan ses ve gevreklik, tazelikle ilişkilidir ve bu da çikolata yeme keyfine yine bir "çat" sesiyle katılır. Ağzına attığı bir çikolata tabletinin sert ve gevrek olmasını beklerken, vıcık vıcık erimiş bir çikolatayla karşılaşan herkes, o çatırtıyı kaybetmenin nasıl bir hayal kırıklığı yaratabileceğini bilir. (Gerçi erimiş çikolatanın da ayrı bir yeri olduğunu söylemek gerek...)

Tüm bu nedenlerden ötürü çikolata üreticileri Tip III ve Tip IV kristallerinden kaçınmak isterler ama ne yazık ki en kolay üretilenler de bunlardır. Bir parça çikolatayı eritip soğumasını beklerseniz hemen her zaman Tip III ve Tip IV kristalleri elde edersiniz. Bu çikolatanın yumuşak bir dokusu ve mat bir kaplaması vardır, elde kolayca erir. Bu kristaller zamanla daha kararlı olan Tip V'e dönüşecektir ama dönüşüm sürecinde kristaller şeker ve yağ bırakacağından, çikolatanın yüzeyinde beyaz tozlar görülecektir. Buna çiçeklenme denir.



Yağ çiçeklenmesi gösteren çikolata.

Tip V son derece yoğun bir yağ kristalidir. Çikolataya sert, parlak bir kabuk ve adeta ayna gibi bir kaplama verir ve kırıldığında tatlı bir "çat" sesi çıkartır. Erime noktası diğer kristal tiplerine kıyasla yüksektir; 34°C'de, yani yalnızca ağzınızda erir. Bu niteliklerinden ötürü çoğu çikolatacının hedefi Tip V çikolata yağı kristalleri üretmektir. Ama söylemesi yapmasından kolaydır. Tip V kristallerinin "tavlama" (*tempering*) denen bir işlemle oluşturulması gerekir. Tavlamanın son katılaşma süreci esnasında önceden hazırlanmış "çekirdek" Tip V kristalleri eklenir. Böylece yavaş büyüyen Tip V kristalleri hızlı büyüyen Tip III ve Tip IV kristallerine karşı avantaj kazanırken, Tip III ve Tip IV kristallerinin ilerlemesine fırsat verilmeden tüm sıvı kitlenin katılaşarak daha yoğun bir kristal yapıya kavuşması sağlanır.

Ağzınıza attığınız saf bitter çikolatanın sıvılaşmaya başladığını hissettiğinizde, hissettiğiniz şey aslında çikolatayı bir arada tutan Tip V kakao yağı kristallerinin dağılmasıdır. Eğer gerektiği gibi korunmuşlarsa tüm yaşamlarını 18°C'nin altındaki sıcaklıklarda geçirmişler demektir. Şimdi ağzınızdayken 18°C'nin üstündeki bir sıcaklığa ilk kez maruz kalırlar. Onlar bu an için yaratılmıştır. Bu ilk ve son performanslarıdır. Isınıp 34°C eşiğine ulaşınca, erimeye başlarlar.

Adına "hal değişimi" denen bu katıdan sıvıya geçiş süreci, enerjinin kristal moleküllerini bir arada tutan atom bağlarını kırmasını gerektirir ve böylece kristaller sıvı halde özgürce hareket edebilir. Dolayısıyla çikolata erime noktasına ulaşırken, ihtiyaç duyduğu bu fazladan enerjiyi vücudunuzdan alır. Çikolata bu fazladan enerjiyi dilinizden, "gizil ısı" şeklinde alır. Siz bunu nane emmeye benzer, hoş bir soğutma etkisi olarak algılarsınız. Terlediğiniz zaman açığa çıkan şey de aynı soğutma etkisidir ama katı, sıvıya dönüşeceği yerde, sıvı (teriniz) hal değiştirerek gaza dönüşür ve bunun için gereken gizil ısıyı tenizden alır. Bitkiler serinlemek için aynı yöntemi kullanır.

Kakao kristalleri örneğinde, ağızda hemen oluşan sıcak yoğun bir sıvı, eriyen çikolatanın serinliğine eşlik eder. Benzersiz ağızda eriyen çikolata deneyiminin sorumlusu işte bu etkilerin çılgın birleşimidir: Sıcak çikolata deneyimi başlamaktadır.

Bir sonraki adımda, çikolatanın vaktiyle sert kakao yağı matrisiyle bir arada tutulan bileşenleri artık özgürce tat tomurcuklarınıza yayılır. Önceden masif kakao yağının içinde bulunan kakao tanecikleri artık serbest kalmıştır. Bitter çikolata genelde %50 kakao yağı, %20 kakao tozu içerir (ambalajda '%70 çikolata kuru maddesi' diye belirtilir). Geri kalanı neredeyse tamamen şekerdir. %30 oranında şeker çoktur. Ağzınıza bir kaşık şeker atmanıza denktir. Ama bitter çikolata aşırı tatlı değildir; hatta bazen hiç tatlı değildir. Çünkü eriyen kakao yağı şeker salarken, aynı anda kakao tozu da alkaloitler ve fenolikler olarak bilinen kimyasalları salar. Bunlar kafein ve teobromin gibi son derece acımtırak, buruk tatlı moleküllerdir. Acı ve ekşi tat alıcılarını etkinleştirerek, şekerin tatlılığını tamamlarlar. Bu temel tatları dengede tutarak çikolataya olgunlaşmış bir aroma kazandırmak, çikolatacının birinci görevidir. Aroma arttırıcı olarak tuz eklenmesi, modern çikolatalara başka bir boyut katmanın yanı sıra, çikolatanın tuzlu yemeklere katılmasına da yol açmıştır: Meksikalıların *pollo con mole* yemeğinin ana maddesi çikolatadır, içeriği ise bitter çikolatada pişmiş tavuktur.

Ancak pişmiş çikolatanın tadı, başka amaçla yenen çikolatadan farklıdır. Aslında temel tat acı, tatlı, tuzlu, ekşi ve umami (etimsi veya çeşnili) arasında seçim yapan tat tomurcukları tarafından dilde oluşturulsa da çoğu aroma, koku aracılığıyla alınır. Çikolatanın karışık tadının sorumlusu, ağzınızda duyduğunuz kokusudur. Çikolatayı pişirdiğiniz zaman tat moleküllerinin çoğu buharlaşır veya pişirme sürecinde yok olur. Bu yalnıza sıcak çikolatayı değil, kahve ile çayı da ilgilendiren bir sorundur. Bu yüzden o içecekleri demledikten sonra birkaç dakika içinde

içmeniz gerekir, yoksa aroması buharlaşıp havaya karışır. Yine aynı nedenle üşüttüğünüz zaman tat alma duyunuzu büyük ölçüde kaybedersiniz çünkü mukus burnunuzdaki koku alıcılarını örter. Ağızda sıcak çikolata yaratma fikri, çikolata yenene kadar tat moleküllerinin kakao yağının içinde saklanmasına ve 600'den fazla egzotik molekül bileşiminin ancak siz çikolatayı yediğiniz anda ağzınıza ve burnunuza salınmasına dayanır.

Burnunuzla saptadığınız ilk birkaç aromadan biri, "ester" molekül ailesine ait meyvemsi tatlardır. Bu moleküller biranın, şarabın ve elbette meyvelerin kesif kokusundan sorumludur. Ama bu esterler ham kakao çekirdeğinde bulunmaz. Daha önce ham kakao çekirdeği yediğimden biliyorum, korkunç bir tadı vardır: Tahta gibi, lif lif, acımtırak ve yavandır; meyve veya çikolata tadından eser taşımaz. Bir daha kesinlikle tatmam. Bu oldukça egzotik görünen ama tatsız çekirdekleri çikolataya dönüştürmek biraz mühendislik gerektirir. Hatta o kadar ki çikolatanın nasıl olup da icat edildiğine şaşarsınız.

Tropik iklimlerde yetişen kakao ağaçları büyük, etli ve çekirdekli taneler halinde meyve verir. Kalın kabuklu yabani bir



Kakao meyveleriyle dolu bir kakao ağacı.

portakala veya mor bir kavuna benzeyen kakao meyveleri dallarda değil, doğrudan ağacın gövdesinde yetiştiklerinden, tarih öncesinden kalmış, evrim geçirmemiş gibi görünürler. Dinozorların bu meyveleri yemeye çalıştığını (sonra da tükürüp attığını) gözünüzün önüne getirebilirsiniz.

Her meyvenin içinde erik boyutunda ve badem biçiminde otuz ila kırk kadar beyaz, tombul çekirdek vardır. Bu kakao yemişleriyle ilk karşılaştığımda ağzıma bir tane atıp heyecanla çiğnemiştim. Tadının neye benzediğini anlayınca, hemen tükürüp atmıştım. Yediğim şeyin gerçekten kakao yemişi olup olmadığını merak etmiştim, öyle olduğunu söylemişlerdi. Kan ter içinde, "Ama tadı çikolata gibi değil," diye yakınmıştım. Honduras'taki bir kakao tarlasında, kakao meyvelerinin toplanmasına yardım ediyordum ve sivrisineklerin saldırısına maruz kalmıştım. Hayal kırıklığıma ve huzursuzluğuma karşın, huysuzluk ettiğimi fark etmiştim; Roald Dahl'ın kitabı *Charlie'nin Çikolata Fabrikası*'nda altın bilet kazananlardan biri gibi konuşuyor olmalıydım. Dekor da kurgusal denecek kadar egzotikti: Muz ve hindistancevizi ağaçlarının gölgesinde yetişen, gövdesi boğum boğum, meyve dolu küçük kakao ağaçları ve yaprakların arasından süzülerek yeşilin bin tonuna dönüşen güneş. Az sonra yaşananlar da doğrudan Willy Wonka çikolatacılık okulundan çıkmış gibiydi: Büyük bıçaklar kullanarak topladığımız kakao çekirdeklerini yere yığıp çürümeye bırakmıştık.

Bu sürecin Honduraslı kakao çiftliklerinin tuhaf bir âdeti olmadığını sonradan öğrendim. Bütün çikolatalar böyle yapılır. Çekirdek yığınları iki hafta içinde çürüyerek fermente olmaya başlar, bu sırada da ısınırlar. Bu süreç kakao tohumlarını "öldürerek" büyüyüp kakao bitkisine dönüşmelerini önlemeye hizmet eder. Ama daha da önemlisi, kimyasal bir süreçle kakao çekirdeğinin içindeki hammaddeleri çikolata aromalarının öncülerine dönüştürür. Bu adım gerçekleşmezse ne

yaparsanız yapın, çikolatayla uzaktan da olsa benzeyen bir şey elde edemezsiniz.

Meyvemsi ester moleküllerinin oluşumu, bu mayalanma sırasında kakao çekirdeklerinin içinde hareket eden enzimlerin oluşturduğu alkoller ve asitler arasındaki tepkimenin sonucunda gerçekleşir. Bütün kimyasal tepkimelerde olduğu gibi, sonucu etkileyen bir sürü farklı değişken vardır: Katkı maddelerinin oranı, ortam sıcaklığı, oksijen ve başka pek çok şeyin mevcudiyeti. Dolayısıyla çikolatanın tadı büyük ölçüde yalnızca kakao çekirdeğinin olgunluğuna ve türüne değil, aynı zamanda çürüyen çekirdek yığınlarının yüksekliğine, çekirdeklerin çürümeye bırakıldığı süreye ve genel olarak havanın durumuna da bağlıdır.

Çikolata üreticilerinin bu inceliklerden neden pek bahsetmediğini merak ettiyseniz söyleyeyim: Çünkü bunlar sırdır. Dışardan bakıldığında kakao diğer emtialar gibi görünür; şeker gibi dünya marketlerine alınıp satılarak, milyon dolarlık gıda ürünleri endüstrisini besleyen temel bir maddedir. Ama fazla dile getirilmeyen şey şudur: Tıpkı kahve ve çayda olduğu gibi, farklı çekirdek çeşitleri ve farklı hazırlama teknikleri, birbirinden son derece farklı tatlar üretir. Doğru çekirdekleri satın almak için bu iki faktörü etraflıca bilmek gerekir. Üstelik en iyi çikolataları üretmek söz konusu olduğunda, bu bilgi sıkı korunur. Bu arada kalite kontrolü aynı zamanda tropik havanın değişkenliğini ve ara sıra rastlanılan hastalık akınını da göz önünde bulundurmayı kapsar. Her şey hesaba katıldığında, kaliteli çikolata üretmek büyük bir ilgi ve dikkat ister ve bitter çikolata o yüzden pahalıdır.

Gerçi paranızın karşılığında yalnızca fermente olmuş esterlerin leziz meyvemsi aromalarını değil, aynı zamanda topraksı, fındıksı, neredeyse etimsi birtakım aromalar alırsınız. Bunlar fermantasyondan sonra gelen süreçte, çekirdeklerin kurutulup kavrulması esnasında oluşur. Kahve yapımında olduğu gibi, kavurma işlemi de çekirdekleri içinde yeni tepkimelerin oluştuğu

küçük kimyasal fabrikalara dönüştürür. Önce çekirdeğin içinde bulunan ve büyük ölçüde şeker ile nişasta moleküllerinden oluşan karbonhidratlar ısı yüzünden ayrışmaya başlar. Şekeri bir tavaya koyup ısıttığınız zaman da aynı şey gerçekleşir: Şeker karamelize olur. Ancak karbonhidratta kakao çekirdeğinin içinde gerçekleşen karamelizasyon tepkimesi beyaz çekirdeği kahverengine dönüştürür ve fındık-karamel aroması taşıyan bir dizi olağanüstü tat molekülü üretir.

İster kakao çekirdeğinde, ister tavada veya başka herhangi bir yerde olsun, tüm şeker moleküllerinin ısıtılınca kahverengine dönmesinin nedeni, karbonun varlığıyla ilişkilidir. Şekerler karbonhidrattır; karbon ("karbo-"), hidrojen ("hidr-") ve oksijen ("-at") atomlarından oluşur. Bu uzun moleküller ısıtılınca çözünüp küçük birimlere ayrılır ve çok küçük olan bazı birimler buharlaşır (o güzel kokunun açıklaması budur). Genelde diğerlerinden büyük olanlar karbon yönünden zengin moleküllerdir, dolayısıyla geriye onlar kalır ve içlerinde "çift karbon-karbon bağı" denen bir yapı bulunur. Bu kimyasal yapı ışığı emer. Küçük miktarlardayken karamelize olan şekere sarımsı-kahverengi bir renk verir. Kavurma işlemi sürdürülürse şekerin bir kısmı (çift bağlarla bağlı) saf karbona dönüşür, yanık bir aromaya ve koyu kahverengine kavuşur. Kavurma işlemi sonuna kadar götürülürse kömür oluşur: Tüm şeker karbona dönüşür, karbon ise siyahtır.

Kakaonun rengine ve tadına katkıda bulunan bir diğer tepkime türü ise daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen Maillard tepkimesidir. Maillard tepkimesi, şekerin proteinle tepkimeye girmesiyle gerçekleşir. Karbonhidratlar hücre dünyasının yakıtıysa proteinler yük beygiridir: Hücreleri ve hücrelerin tüm iç işleyişini oluşturan yapısal moleküller, proteinlerdir. (Çekirdek veya kabuklu yemiş biçimindeki) Tohumlar, bir bitkinin hücresel mekanizmasını çalıştırmak için gereken tüm proteini içermelidir; dolayısıyla kakao çekirdeklerinde hayli protein vardır.

160°C ve üstü sıcaklıklara maruz kalınca Maillard tepkimesinden geçmeye başlayan bu proteinler ve karbonhidratlar, (önceki fermantasyon sürecinde üretilen) asitler ve esterlerle tepkimeye girerek, bir dizi küçük tat molekülü üretir. Maillard tepkimesi olmasa dünya bu kadar lezzetli olmazdı desek abartmış sayılmayız: Ekmek kabuğunun, közlenmiş sebzelerin ve diğer birçok kavrulmuş, lezzetli yiyeceğin tadından Maillard tepkimesi sorumludur. Bu durumda Maillard tepkimesi çikolataya o etimsi fındık aromasını verirken, aynı zamanda burukluğunu ve acımtıraklığını da biraz azaltır.

Fermente edilip kavrulmuş kakao çekirdeklerini öğüttükten sonra sıcak suyla karıştırırsanız Orta Amerikalıların yaptığı orijinal sıcak çikolatayı (*chocolatl*) elde edersiniz. İlk çikolata yetiştiricisi Olmekler ve ardından Mayalar çikolatayı böyle içerdi; bu içecek yüzyıllarca etkili, törensel bir içecek olarak saygı gördü. Kakao çekirdekleri para birimi olarak bile kullanıldı. Avrupalı kâşifler on yedinci yüzyılda tanıdıkları çikolata içeceğini kahvehanelere ihraç edince, çikolata Avrupalıların içecek tercihi olabilmek için çay ve kahveyle yarıştı ama kaybetti. Aslında kimsenin dile getirmediği bir şey vardı: *Chocolatl* sözcüğü "acı su" anlamında geliyordu, üstelik Afrika ve Güney Amerika'da kölelerin işlettiği tarlalardan akın akın gelen yeni ucuz şekerle tatlandırıldığında bile kumlu, yağlı ve ağır bir içecekti çünkü kakao çekirdeğinin yüzde ellisi kakao yağıdır. Çikolata bir iki yüzyıl daha konumunu korudu; ünlü ama kapış kapış satılmayan, egzotik bir içecek olarak kaldı.

Ama yeni endüstriyel süreçlerin icadı çikolatanın kaderini bir anda değiştirdi. İlk icat 1828'de Van Houten adında Hollandalı bir çikolata fabrikasının ürettiği vidalı presti. Fermente edilip kavrulmuş çekirdekler bu presle ezildiğinde kakao yağı dışarı sızdığından, Van Houten yağı geri kalan kakao kuru maddesinden ayırabiliyordu. Yağının büyük bir kısmından

kurtulan kakao öğütülünce çok daha ince bir toz haline getirilebiliyor ve böylece kumlu dokusunu yitirerek yağ gibi, pürüzsüz, kadifemsi bir dokuya kavuşuyordu. Kakao bu formuyla çikolata içeceği olarak popülerlik kazandı ve halen popüler.

Derken ezber bozan dâhiyane bir fikir ortaya atıldı: Madem bir tarafta kakaodan çıkarılmış saf kakao yağı, öbür tarafta da öğütülmüş kakao tozu vardı, o zaman neden ikisini yeniden karıştırıp biraz da şeker ekleyerek ideal çikolata çekirdeği yapılmasındı? Hem de ağaçtan toplamak isteyeceğiniz cinsten, bir Willy Wonka dünyasında bulunacak cinsten, doğru şeker, çikolata aroması ve yağ kombinasyonuna sahip bir kakao çekirdeği!

Belçika, Hollanda ve İsviçre'de bu yaklaşımla deneylere girişen pek çok çikolatacı vardı ama böyle bir "yenecek çikolata" nodülü üretip ilk tablet çikolatayı yaratmasıyla ünlenen, *Fry and Sons* adlı bir İngiliz firması oldu. Saf kakao yağı ağızda erirken çikolata tozu salınıyordu ve ağızda anında sıcak çikolata oluşuyordu; eşsiz bir duyguydu. Kakao yağının içeriği kakao tozu ve şekerden ayrı olarak kontrol edilebildiğinden, artık ağızda farklı zevklere uygun farklı türde duygular tasarlamak mümkün hale



Bir Fry's çikolata reklamı, 1902.

gelmişti. Üstelik buzdolabının icat edilmediği bir dönemde kakao yağının antioksidan özellikleri, bu şekilde yapılan çikolatanın ticari bir ürün olacak kadar uzun raf ömrüne sahip bulunması demekti. Çikolata endüstrisi doğmuştu.

Kimileri yüzde otuz oranında şeker eklendiği halde bu çikolatayı hâlâ çok acımtırak bulduğundan, içine çikolatanın tadını derinlemesine etkileyen bir başka malzeme daha katıldı: süt. Süt, çikolatanın burukluğunu kayda değer oranda azaltarak tadını iyice yumuşattı, böylece elde edilen çikolata çok daha tatlı bir aromaya kavuştu. Bu işi ilk yapan on dokuzuncu yüzyılda İsviçreliler oldu; yeni yeni palazlanan Nestlé şirketinin ürettiği süttozundan çikolataya bolca kattılar. Zaten süttozunun kendisi de kısa ömürlü taze bir yöresel ürün olan sütü uzun ömürlü, taşınabilir bir emtiaya çeviren bir üründü. Uzun raf ömürlü bu iki ticari ürünün birleştirilmesi, muazzam sükse yarattı.

O günlerde çikolataya katılan sütün türü dünya genelinde büyük bir çeşitlilik gösteriyordu ve sütlü çikolataların tadının ülkeden ülkeye değişmesinin başlıca nedeni buydu. ABD'de kullanılan sütün yağının bir kısmı enzimler tarafından giderildiğinden, çikolataya peynir gibi, adeta ekşimtırak bir tat veriyordu. İngiltere'de sıvı süte şeker eklendikten sonra, yoğunlaştırılmış bu çözelti çikolataya ekleniyor ve böylece çikolata, yumuşak bir karamel tadına kavuşuyordu. Avrupa'da hâlâ kullanılan süttozu, çikolataya pudramsı bir doku ve taze bir süt tadı verir. Bu değişik tatlar yolculuk etmekte iyi değildir. Küreselleşmeye karşın, tercih edilen sütlü çikolata tadı bir kez yerleşince, şaşırtıcı bir şekilde yerelliğini korur.

Ama tüm sütlü çikolataların ortak bir noktası vardır: Çikolataya eklenmeden önce sütün suyu neredeyse tamamen giderilir. Çünkü çikolata tozu hidrofildir (su sever), fırsat bulursa suyu emer ama suyu emince de yağ kaplamasını salar (su ve yağ birbirinde çözünmez) ve ayrışarak, büyük ölçüde Mayaların

çikolatasına benzeyen pütürlü bir sıvıya dönüşür. Sos yapmak için erimiş çikolataya su eklemeye kalkışan herkes aynı sorunu yaşamıştır.

Ben dâhil, pek çok çikolata bağımlısı var ve bağımlılığın tek nedeni çikolatanın tadı olmayabilir. Çikolatanın içinde ayrıca psiko-aktif maddeler bulunur. Bunların en bilineni, kakao çekirdeğinin içinde az miktarda bulunan ve kakao tozu aracılığıyla çikolataya geçen kafeindir. Diğer psiko-aktif madde, kafein gibi uyarıcı ve antioksidan özellikleri bulunan ama aynı zamanda köpekler için son derece zehirleyici olan teobromindir: Her yıl, özellikle Paskalya ve Noel zamanında, pek çok köpek çikolata yediği için ölür. Teobrominin insanlar üstündeki etkisi çok daha hafif seyreder. Zaten çikolatadaki uyarıcılık seviyesi, kahve ve çaya kıyasla azdır, o yüzden her gün bir düzine çikolata yeseniz bile hepi topu bir iki bardak sert kahve içmiş kadar olursunuz. Çikolatanın içerdiği bir diğer kimyasal, esrar çekmenin uyuşturucu etkisine yol açan kannabinoidlerdir. Ama bunlar da oldukça az miktarlarda bulunur, üstelik çikolata krizlerini analiz etmek için yapılan kör-tadım çalışmalarında araştırmacılar, bu kimyasalların çikolata kriziyle herhangi bir bağlantısına dair fazla bir kanıt bulamamıştır.

Çikolata bağımlılığını açıklamak için geriye başka bir olasılık kalıyor: Belki de bağımlılığı yaratan, çikolatanın kimyasal etkisinden çok, çikolata yeme eyleminin verdiği duygudur. Çikolata başka yiyeceklere benzemez. Ağızda erirken bir anda yabani ve karmaşık, tatlı ve acımtırak bir aromalar sağanağına yol açan sıcak, yoğun bir sıvıya dönüşür. Konu aroma değildir; yaşanan, tüm ağzı ilgilendiren bir deneyimdir. Çikolata sakinleştiricidir, yatıştırıcıdır ama aynı zamanda heyecan vericidir, hatta açıkça söylemek gerekirse, fiziksel bir açlıktan çok daha fazlasını doyurur.

Bazıları çikolata yemenin öpüşmekten daha iyi olduğunu söyler. Bilim insanları da bir dizi deney yürüterek, bu varsayımı

sınamayı görev bilmiştir. 2007'de Dr. David Lewis'in başkanlığındaki bir ekip, deney için seçtikleri âşık çiftlerin önce öpüşürken, sonra da (ayrı ayrı) çikolata yerken gözlemlenen beyin aktivitelerini ve kalp atışlarını ölçtü. Araştırmacıların bulgusuna göre, öpüşmek her ne kadar kalp atışını hızlandırsa da etkisi katılımcıların çikolata yediği zamanki kadar uzun sürmüyordu. Araştırma bir şeyi daha gösteriyordu: Çikolata erimeye başladığında, beynin tüm bölgelerinde öpüşürken ölçülen beyin aktivitesine kıyasla hem çok daha yoğun, hem de çok daha uzun süreli bir artış kaydediliyordu.

Her ne kadar bu veriler tek bir araştırmaya dayansa da söz konusu araştırma çoğu kişinin çikolata yeme kaynaklı duyusal deneyimi öpüşmeye yeğ tuttuğu varsayımına inandırıcılık kazandırmaktadır. Çikolata üreticileri çikolatanın bu şekilde aşırı duyusal hazla bağdaştırılmasını büyük bir hevesle desteklemektedir. Bunun belki de en kayda değer örneği, Cadbury's Flake çikolatasının uzun soluklu televizyon reklamlarıdır.

Gördüğüm ilk Flake reklamında banyoda keyifle zaman geçiren bir kadın oynuyordu. O zamanlar küçüktüm, banyo deyince içim o kadının yaşadığı türden bir hazla dolmuyordu. Banyolar benim için işlevsel ve genelde soğuk yerlerdi çünkü üç ağabeyim benden önce banyoya girerdi. 1970'lerdi; enerji pahalıydı ve dolayısıyla bizim evde sıcak su sıkıntısı vardı. Banyo, bir tek teknelerimle birlikte girmeme izin verildiği zaman eğlenceliydi. Televizyondaki kadının herhangi bir oyuncağı yoktu: yanındaki tek şey, bir Flake çikolatasıydı. Çikolatayı her ağzına sokuşunda, kadını adeta hazzın en saf halini yaşatmayı vaat eden keyif dalgaları sarıyordu. Bense böyle bir duyguyu banyo bir yana, hayatımda hiç yaşamamıştım. Reklam hem benim, hem de ağabeylerimin üstünde büyük bir etki bırakınca, soğuk banyomuza girerken çikolata yememize izin versin diye anneme ısrar ettik ama hiç şansımız yoktu. Hatta banyoda çikolata

yememize izin vereceği yerde, reklamları izlememizi yasakladı. Gerçi bu uygulanabilir bir yasak değildi çünkü televizyonumuz yoktu, "Flake'li kadını" ancak arkadaşlarımızda kaldığımızda görüyorduk. Annemin bizi korumaya çalıştığı şeyin, banyoda çikolata yemek olmadığını çok sonra fark ettim.

1950'lerin sonuna doğru başlayan ama bugüne dek süren bu reklamlarda hep tek başına gevşeyip dinlenirken Flake yemenin gizli hazzının doruğuna varan bir kadın vardır. Hem çubuğa benzeyen bu çikolatanın şekli ve boyutu, hem de hazzın doruğuna varan kadının imalı tavrı, kamuoyunda öfke ve panik dalgaları oluşturmaya yeterliydi. Oysa reklamlarda hiç müstehcenlik yoktu (yalnızca ima ediliyordu). Sonuçta yalnızca belli belirsiz bir telkin söz konusuydu. Eski reklamların yüklendiği YouTube'da aranırsa ilk dönem reklamların yakın zamankilere kıyasla çok daha imalı olduğu görülür. Ama sansür çağrısına karşın bu reklamlar başarı kazandı, temel mesajını akıllara kazıdı ve halkta gerçekten yankı uyandırdı. Hatta belki de o reklamlar çikolata hakkındaki bir gerçeğe dikkat çekiyordu: Çoğu kişiye göre, çikolata seksten güzeldir.



Aktris Donna Evans 1960'lardaki bir Flake reklamında.

En çok çikolata tüketilen ülkeler listesinin başında İsviçre gelir; onu Avusturya, İrlanda, Almanya ve Norveç izler. Hatta en çok çikolata tüketen yirmi ülkeden on altısı Kuzey Avrupa ülkesidir. (Amerika'da çikolata aroması çikolatadan daha popülerdir; nüfusun yarısından fazlası çikolatalı içecekleri, kekleri ve bisküvileri diğer aromalara tercih ettiğini söylemektedir.) Çikolatanın bir seks ikamesi olarak ünü düşünüldüğünde, bu bağlantıdan türlü türlü kültürel sonuçlar çıkarmak işten bile değildir. Ama söz konusu ülkelerde çok çikolata tüketilmesinin yine hava sıcaklığıyla ilişkili bir başka açıklaması da olabilir.

Çikolatanın ağızda kolayca katıdan sıvıya geçebilmesi için oldukça serin bir ortam sıcaklığı gerekir. Fazla sıcak bir iklimde çikolata ya rafta erir ya da dolaba konması gerekir, oysa dolaba konması çikolatanın amacına tamamen terstir çünkü soğuk çikolata erimesine fırsat verilmeden yenir. (Tropiklerde ilk kez çikolata üreten Orta Amerikalıların katı çikolata yapmaktansa çikolatayı içecek olarak tüketmelerinin açıklaması belki bu sorunda yatıyordur.) Ayrıca katı çikolata, mesela güneşte veya sıcak bir arabada bırakılmasının sonucunda 20°C'nin üstündeki sıcaklıklara maruz kalırsa yapısında köklü değişiklikler meydana gelir. Söz konusu değişiklikler anında fark edilir çünkü sonuç "çiçeklenmedir". Çikolatanın yüzeyine akın eden yağ ve şekerler, çoğu zaman nehir motifli, beyazımsı kristalli bir toz meydana getirir.

Çikolatanın verdiği katıksız haz kadar, yüksek şeker içeriği ve kafein ile teobrominin uyarıcı etkileri çikolataya tek bir sloganla özetlenen yeni bir rol biçmiştir: "Günde bir Mars yiyin, hem çalışın, hem oynayın, hem de dinlenin" ya da Fransızca versiyonu *"Un coup de barre? Mars et ça repart!"* (Yorulduysan, ye bir Mars, canlan!) veya Almancası *"Nimm Mars, gib Gas"* (Kap Mars'ı, ver gazı!). En az yüzde elli şeker, yüzde otuz yağ içeren ortalama bir bar çikolata elbette ki anında canlandıran,

yoğunlaştırılmış bir enerji kaynağı sunar. Ama aynı nedenlerden ötürü, çikolata yönünden zengin bir beslenme alışkanlığının ne kadar sağlıklı olduğu tartışma konusudur.

Akılda tutulması gereken ilk nokta şudur: Kakao yağı doymuş bir yağdır ve doymuş yağ, yüksek kalp hastalığı riskiyle ilintilendirilen bir yağ grubudur. Oysa vücudun söz konusu yağı nasıl sindirdiğini konu edinen araştırmalar, vücudun genelde bu yağı yararlı kabul edilen doymamış bir yağa çevirdiğini ortaya koymuştur. Bu arada, kakao parçacıkları muazzam oranda antioksidan içerir ama bu antioksidanların vücuda ne yaptığı aslında bilinmiyor. Ancak, Harvard Üniversitesi'nin kontrollü araştırmaları, küçük miktarlarda bitter çikolata tüketmenin (hiç çikolata tüketmemeye göre) ortalama ömrü uzattığını göstermiştir. Nedeni bilinmiyor ve araştırmalar devam ediyor. Elbette çikolata krizi çok fazla yaşanırsa kilo alımı çikolatanın tüm yararlarını devre dışı bırakır. Konu henüz belirsizliğini korusa da aşırı tüketimi bir yana bırakırsak çikolata artık sağlığımıza zararlı görülmüyor, hatta yararlı bile kabul ediliyor.

Tüm bu nedenlerden ötürü, doktorların reçeteye çikolata yazması veya çocuklara okul yemeğinde çikolata verilmesi söz konusu değilse bile çikolata pek çok ülkenin standart askeri öğününün ayrılmaz bir parçasıdır. İçindeki yüksek şeker oranı enerji sağlar, kafein ve teobromin beyni uyarır, yağları zorlu antrenmanlarla kaybedilen yağları yeniler, ayrıca birkaç yıllık raf ömrü vardır. Son olarak, çok tartışmalı olmakla birlikte, çikolatanın cinsel gerginliği azalttığı düşünülmektedir.

Şahsen saplantılı bir şekilde her öğleden sonra ve her gece çikolata yiyorum. Flake reklamlarını izlerken beynim yıkandığı için mi, fiziko-psikolojik bir bağımlılıktan mı, yoksa Kuzey Avrupa yetiştirme tarzı kaynaklı bastırılmış cinsellikten mi, bilmiyorum. Kendi açımdan, bağımlılığımı çikolatanın en büyük mühendislik harikalarından biri olduğuna canı gönülden

inanışıma bağlamayı tercih ediyorum. Çikolatanın teknik açıdan kesinlikle betondan veya çelikten aşağı kalır yanı yoktur; en az onlar kadar kayda değerdir. Büyük bir ustalıkla, hiçbir umut vaat etmeyen tropik bir yağmur ormanı yemişini soğuk, siyah, gevrek bir katı maddeye çevirmenin bir yolunu bulduk ve bunu tek bir amaç için yaptık: Ağzımızda erisin, duyularımızı sıcak, rayihalı, acı-tatlı lezzetlerle doldurarak, beynimizdeki haz merkezlerini harekete geçirsin diye. Bilimsel anlayışımıza karşın, sözler veya formüller bu duyguyu tarif etmekte yetersiz kalıyor. Güzellikte ve karmaşıklıkta bir soneyi aratmayan çikolata, bence nesnelerin şiire en yakınıdır. O yüzden bilimsel adı kakaoya çok iyi uymuştur: *Theobroma*, "Tanrıların yiyeceği" demektir.

5. Mucizevi



1998'de bir gün, tam laboratuvara girdiğimde teknisyenlerden biri mikroskoptaki bir malzemeyi kaldırıyordu. "Bunu görmene izin var mı, bilmiyorum," dedi. "O yüzden temkini elden bırakmayalım yoksa bir sürü belge doldurmak zorunda kalacağım."

Ardından hemen malzemeyi ortadan kaldırdı.

O sıralar Amerikan hükümeti için New Mexico'daki bir nükleer silah laboratuvarında çalışıyordum. İngiliz vatandaşı olduğum için erişim yetkim temel seviyedeydi; laboratuvar tesisinde giremediğim kısımlar vardı. Aslında çoğu kısma giremiyordum. Ama orası bizim laboratuvarımızdı, o yüzden teknisyenin tavrı kesinlikle tuhaftı. Olayı kurcalamanın hoş kaçmayacağını biliyordum. 1990'ların sonuydu, ulusal Amerikan laboratuvarlarındaki Çin casusluğu çok hassas bir meseleydi. Amerikalı bilim insanı Dr. Wen Ho Lee kısa bir süre önce yakalanmış, mahkemeye sevk edilmiş ve Çin için nükleer sırları çalma suçuyla hücre hapsine çarptırılmıştı.* Düzenli aralıklarla işimle ilgili güvenlik meseleleri hakkında sorguya alınıyordum, Amerikalı iş arkadaşlarımsa olağandışı her türlü konuşmayı bildirmeleri için giderek daha çok baskı görüyorlardı. Benim gibi öğrenmeye meraklı, şakalaşmaya düşkün bir İngiliz için gereksiz sorular sormak riskliydi. Ama malzeme olağandışıydı, üstelik yalnızca bir saniyeliğine küçücük bir parçasını görmeme karşın, unutmam mümkün değildi.

Araştırma ekibi olarak öğle yemeği için hep birlikte laboratuvar tesisinin çevresindeki çeşitli kafeteryalara giderdik. Güneşte kavrulmuş asfalt otoparktaki arabalarımızı almak için binamızın klimalı ortamından ayrılıp doğruca parlak çöle çıkmamız gerekirdi. Yolda yanından geçtiğimiz dikenli tellerin ötesinde, bir hava üssüne kadar uzanan kaktüslerle bezeli turuncu kumlar görünürdü. Yol boyunca arabalarımızı saran ısı bulutunu seyrederdik. Gölge yoktu. Orası pek çok bakımdan gerçekdışı bir yerdi ama bu gerçekdışılığa asıl damgasını vuran, dünyevi rutinlerimizle oluşturduğu tezattı. Cayır cayır yanan

* Dr. Wen Ho Lee sonunda yalnızca güvenli verileri usulsüz kullanmaktan suçlu bulundu ve suçunu kabul etti. Yargıç sonradan hücre hapsi nedeniyle kendisinden özür diledi.

güneşin kaynama noktasına getirdiği çölde bir araba kafilesi halinde yol alarak Teksas-Meksika mutfağı sunan kafeteryalara gitmek böyle bir rutindi. Her gün havadan sudan konuşur, sıcaktan sararmış sohbetler ederdik. Her gün o gizemli malzeme aklıma gelir, ne olduğunu merak ederdim. Konu hakkında kimseyle konuşamadığımdan, unutmak iyiden iyiye zor geliyordu.

Hatırladığım kadarıyla saydam bir malzemeydi ama acayip bir yanardönerliği vardı; bir mücevher hologramına, bir hayalet malzemeye benziyordu. Ömrümde kesinlikle böyle bir şey görmemiştim. Acaba düşen bir uzay gemisinde mi bulundu, diye kuruyordum. Bir süre sonra o malzemeyi gördüğümden bile kuşkuya düşmeye başladım. Derken gördüğüm şeyin hayal ürünü olduğunu düşüneyim diye beynimi yıkamaya çalıştıkları paranoyasına kapıldım. Her gün kafeteryaya gidip dönerken, kendi kendime sürekli, "O malzemeyi gerçekten gördüm," diyordum. Malzemeye karşı tuhaf bir sahiplenme duygusu geliştirmiştim. Sonunda ona hak ettiği muameleyi göstermediklerini düşünmeye başladım. İşte o gün işten ayrılmam gerektiğine karar verdim.

O malzemeyi birkaç yıl öncesine kadar bir daha görmedim. İngiltere'ye dönmüş, Londra King's College'da Malzeme Araştırmaları ekibi başkanı olarak işe başlamıştım. Bir gün öğleden sonra evde ağabeyim Dan'e doğum günü kartı hazırlarken, 2 Ocak 2004 televizyon haberlerinde yıldız tozu toplama görevini başarıyla yerine getiren NASA'nın, kuyrukluyıldız Wild 2'den numune topladığı bildirildi. Ardından haber programında BENİM MALZEMEMİN bir fotoğrafını gösterdiler. Evet, tamam, o malzeme *benim* değildi ama benim olsun diye yanıp tutuştuğum şeydi. Boş dairemde zafer kazanmışçasına, "Demek gerçekten de uzaydan geliyormuş!" diye haykırarak, daha fazlasını öğrenmek için bilgisayarıma koştum. "Bu malzemeyi uzaydan topluyorlar," diye düşünüyordum. Yanılmıştım.

Malzeme aslında aerojel adıyla bilinen bir maddeydi. Haberi yanlış anlamıştım: Televizyonda gördüğüm şey, yıldız tozu toplamak için kullanılan aerojeldi. Aklımdan bir türlü çıkaramadığım için konunun peşini bırakmadım ve aerojeller hakkında bilgi toplayıp tarihlerini araştırdım. Öğrendiğim üzere, aerojeller uzaydan gelmiyordu ama yine de çok tuhaf bir özgeçmişleri vardı: Aerojelleri 1930'larda icat eden Samuel Kistler adlı, çiftçilikten gelme Amerikalı kimyager, bu malzemeyi sırf jöle merakını tatmin etmek için yoktan var etmişti. Jöle mi?

Jöle nedir, diye sormuştu Kistler. Jölenin sıvı bir madde olmadığını biliyordu ama katı da denemezdi; dolayısıyla jölenin katı bir zindana hapsolmuş bir sıvı olduğuna hükmetmişti ama bu hücredeki parmaklıklar görünmez incecik bir ağ tabakası gibiydi. Yenebilir jölede söz konusu ağ tabakası uzun jelatin moleküllerinden oluşur, bu moleküllerse tendonlar, deri, kıkırdak gibi bağ dokuları oluşturan proteinden ve kolajenden elde edilir. Suya katılınca çözünen bu jelatin molekülleri, birbirleriyle birleşerek suyu içeri hapsedip akmasını önleyen bir ağ tabakası oluşturur. Yani jöle özünde su dolu bir balon gibidir ama suyu içeride tutan bir dış kabuk değildir, aksine suyun içinde bulunur.

Suyu ağ tabakasının içinde yüzey gerilimi denen bir kuvvet tutar: Suyun ıslak kalmasını, damlalar oluşturmasını ve nesnelerin üstüne yapışmasını da aynı kuvvet sağlar. Ağ tabakasının içindeki yüzey gerilimi kuvvetleri, suyun jöleden taşmasına izin vermeyecek kadar güçlüdür ama çalkalanmasını önleyemeyecek kadar da zayıftır; jöle bu yüzden titrektir. Jölenin ağızda böylesine olağanüstü bir tat bırakmasının nedeni de aynıdır: Neredeyse yüzde yüz sudan oluşur ve erime noktası 35°C'dir, böylece jelatin dokusu tam vaktinde eriyerek suyun ağza yayılmasını sağlar.

Bir sıvının katı bir iç ağ tabakasına hapsolmasına dayanan basit açıklama, Samuel Kistler'a yeterli gelmemişti. Bir jölenin

içindeki görünmez jelatin ağ tabakasının tek parça olup olmadığını öğrenmek istiyordu. Başka bir deyişle acaba bu ağ tabakası bağdaşık, bağımsız bir iç iskelet miydi? Mesela içindeki tüm sıvıyı gidermenin bir yolunu bulsaydınız o ağ tabakası kendi başına ayakta kalabilir miydi?

Samuel Kistler sorusuna yanıt bulmak için bir dizi deney yaptı ve sonuçlarını 1931 yılında bilim dergisi *Nature*'a (No: 3211 Cilt: 127 s. 741) gönderdiği bir mektupla yayımladı. "Bağdaşık Genleştirilmiş Aerojeller ve Jöleler" (*Coherent Expanded Aerogels and Jellies*) başlığını taşıyan mektupta Samuel Kistler raporunu şöyle sunar:

"Sıvı geçirgenliği bulunan jölelerin sürekliliği, yayınım (difüzyon), sıvı bırakımı (sinerez) ve ince süzme (ultrafiltrasyon) ile gösterilir. O sıvının yerine çok çeşitli karakterler gösteren başka sıvıların konabilmesi ise net bir şekilde jel yapının, içinde bulunduğu sıvıdan bağımsız olabileceğine işaret eder."

Kistler yukarıdaki giriş paragrafında şunu söylemektedir: Çeşitli deneyler, bir jölenin içindeki sıvının bir alt bölüm değil, bütüne bağlı bir parça olduğunu, dolayısıyla da başka sıvılarla değiştirilebileceğini göstermiştir. Kistler'a göre, bu durum katı iç iskeletin jölenin içindeki sıvıdan gerçekten de bağımsız olabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca jöle yerine daha genel "jel" sözcüğünü kullanarak, saç jölesinden katı tavuk suyuna ve (iç iskelet ağı kalsiyum silikat lifçikleriyle oluşan) çimentoya kadar, gerçek katılık ile gerçek sıvılık arasındaki tüm jölemsi malzemeler için aynı şeyin geçerli olduğunu söylemektedir.

Raporun devamında, bir jölenin sıvısını iç iskeletinden ayırmayı henüz kimsenin başaramadığını söyler: "Şimdiye kadar yapılan sıvıyı buharlaştırarak giderme girişimleri, yapının üstünde derin bir etki oluşturabilecek kadar büyük bir büzülmeyle sonuçlanmıştır." Başka bir deyişle, geçmişte sıvıyı buharlaştırarak

gidermeye çalışanlar, iç iskeletin çöktüğünü görmüştür. Ardından muzafferane bir edayla devam ederek, kendisinin ve iş arkadaşlarının sıvıyı gidermek için bir yol bulduğunu söyler: "Mr. Charles Learned ve ben, Prof. Dr. J. W. McBain'in nazik yardımı ve tavsiyesiyle çok az veya sıfır büzülmeyle bir jölenin içindeki sıvının yerine bir gaz konabileceği varsayımını deneyden geçirdik. Çabalarımız tam bir başarıyla sonuçlandı."

Bu kurnaz fikir, sıvı henüz jölenin içindeyken yerine gaz koyarak gazın basıncını kullanmak suretiyle iskeletin çökmesini önlemeye dayanıyordu. Ama ilk önce jölenin içindeki suyun yerine daha kolay idare edilebilecek sıvı bir çözücü (alkol kullanmışlardı) koymanın bir yolunu buldular. Sıvı çözücü kullanmanın tehlikesi, onların da buharlaşmasıydı ama buharlaşmayı durdurmanın bir yolunu bulmuşlardı:

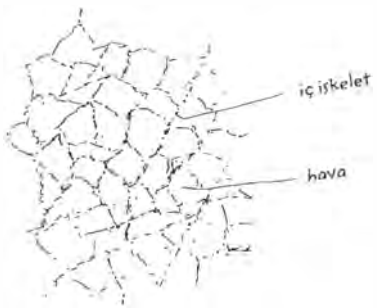
"Salt buharlaşmanın büzüşmeye yol açması kaçınılmazdır. Ancak jöle, içinde bol sıvı bulunan, kapalı bir otoklava konursa ve sıcaklık, sıvının kritik sıcaklığının üstüne çıkarılır ve bu süreçte basınç daima buhar basıncında veya buhar basıncının üstünde tutulursa sıvı buharlaşması görülmez ve dolayısıyla kılcal kuvvetler jelin yüzeyinde büzülmeye yol açamaz."

Otoklav, ısıtılabilen, sıradan bir basınçlı kaptır. Otoklavdaki basınç artırılırsa ısı, jölenin kaynama noktasını aşacak kadar yükselse bile jölenin içindeki sıvının buharlaşması önlenir. Bu arada Kistler'ın söz ettiği kılcal kuvvetlere sıvının yüzey gerilimi yol açar. Kistler, sıvı buharlaşmayla azar azar giderilirken jöleyi bir arada tutan kuvvetlerin, onun dağılmasına yol açacağı tahmininde bulunmuştu. Ama Kistler tüm jölenin sıcaklığını, gazla sıvının aynı yoğunluğa ve yapıya kavuştuğu, böylelikle de gaz-sıvı farkının ortadan kalktığı "kritik sıcaklık" derecesinin üstüne çıkarınca, tüm sıvı yıkıcı buharlaşma sürecinden geçmeden gaza dönüştü. Kistler'ın dediğine göre:

"Kritik sıcaklık aşılınca, sıvı süreksizlik göstermeden doğruca kalıcı bir gaza dönüştü. Jölenin ağ tabakasındaki sıvının bir gaza dönüştüğünü 'bilmesi' mümkün değildi."

Bu dâhiyane bir fikirdi: Yeni üretilen gaz otoklavın basıncı altındayken jölenin içinden çıkamayacağından, iç iskelet bütün halde kalıyordu.

"Geriye bir tek gazı kaçırmak kalır ve gaz kaçınca elde, hacmi değişmemiş, bağdaşık bir aerojel kalır."



Bir jölenin iç iskeleti.

Kistler gazı ancak şimdi azar azar kaçırarak, jölenin iç iskeletinin tam ve mekanik açıdan salim kalmasını sağladı, böylece varsayımı doğrulandı. Kuşkusuz son derece tatmin edici bir an yaşamıştır ama orada durmadı. Jölenin iç iskeletleri büyük ölçüde havadan oluştuklarından, inanılmaz hafif ve narindi. O iç iskeletler aslında köpüktü. Kistler, jelatin yerine daha sert bir maddeden jöle yaparsa belki iç iskeletleri güçlendirebileceğini düşündü. Böylece iç iskeleti camın ana maddesi olan silikon dioksit mineralinden yapılmış bir jöle tasarladı. Yukarıda anlatılan süreci bire bir kullanarak, bu kez o jöleden bir "silika aerojel" üretti: dünyanın en hafif katı cismi. Benim yıllar önce çöldeki bir laboratuvarda bir saliseliğine gördüğüm malzeme buydu.



Yüzde 99,8'i havadan oluşan silika aerojel dünyanın en hafif katı maddesidir.

Bu başarısıyla yetinmeyerek başka aerojeller yapmaya devam eden Kistler, makalesinde bunların bir listesini verir:

"Şimdiye dek silika, alümina, nikel tartarat, kalay oksit, volfram oksit, jelatin, agar, nitroselüloz, selüloz ve yumurta albümini aerojeller hazırladık, bu listeyi daha da uzatmamak için bir neden göremiyoruz."

Silika aerojel zaferine karşın, Kistler'ın kendini tutamayıp yumurta albümininden, yani yumurta beyazından aerojel yaptığını gözden kaçırmayalım. Bütün dünya yumurta beyazını kabarık omlet ve kek yapımında kullanırken, Kistler bir otoklav yardımıyla farklı bir tür pişirme yöntemi kullanarak yumurtadan aerojel yaptı: Dünyanın en hafif bezesiydi bu.

Silika aerojelin son derece tuhaf bir görünümü vardır. Yukarıdaki fotoğraftaki gibi siyah bir zemine konursa mavi görünür ama açık bir zemine koyarsanız neredeyse tamamen gözden kaybolur. Bu bakımdan görünmez sayılır, hatta saydamlığı daha az olmasına karşın normal camdan bile daha zor görülür. Işık camdan geçerken yolundan hafifçe sapar, yani ışık kırılması gerçekleşir ve söz konusu sapmanın derecesi, camın kırılma

indisi olarak bilinir. Aerojelde ise malzeme daha hafif olduğundan, ışık yolundan neredeyse hiç sapmaz. Aynı nedenden ötürü, yüzeyinde yansımadan eser yoktur; düşük yoğunluğu yüzünden belirgin kenarları yoktur, hiç katı madde görünümü sergilemez. Zaten elbette katı bir madde değildir. Jölenin iç iskeletinin yapısı, köpük banyosunun köpüğünden çok farklı değildir ama aralarında temel bir fark vardır: Jölenin tüm delikleri birleşir. Silika aerojel o kadar deliklidir ki genelde yüzde 99,8 havadan oluşur, yoğunluğu da havadan yalnızca üç kat fazladır, yani neredeyse hiç ağırlığı yoktur.

Aynı zamanda, silika aerojel siyah bir zemine konduğunda kuşkuya yer bırakmayacak şekilde mavidir. Ancak, şeffaf camdan yapıldığından aslında renksiz olması gerekir. Bilim insanları yıllarca bunun nedenini merak etti. Yanıt ise tatmin edici ama bir o kadar da tuhaftı.

Güneş ışınları Dünya'nın atmosferine girince, yeryüzüne ulaşana kadar tilt oyunu gibi her türden moleküle (çoğunlukla nitrojen ve oksijen moleküllerine) çarpıp geri seker. Buna saçılım denir: Yani, eğer açık bir havada gökyüzünün herhangi bir yerine bakarsanız gördüğünüz ışık, sizin gözünüze girene kadar atmosferde oradan oraya çarpmıştır. Eğer bütün ışık gökyüzüne eşit bir şekilde saçılsaydı gökyüzü beyaz görünürdü. Ama öyle görünmez. Çünkü kısa dalga boyuna sahip ışıklar uzunlardan daha çok saçılır, yani maviler kırmızılara ve sarılara kıyasla gökyüzüne daha çok yansır. O yüzden başımızı kaldırıp bakınca, beyaz değil, mavi bir gökyüzü görürüz.

Rayleigh saçılımı adıyla bilinen bu olgu aslında o kadar belli belirsizdir ki görmeniz için muazzam miktarda gaz molekülü gerekir: Gökyüzünde görürsünüz ama hava dolu bir odada göremezsiniz. Başka bir deyişle, gökyüzünün hiçbir parçası tek başına mavi görünmez ama tüm atmosfer mavi görünür. Ama içinde milyarlarca küçük iç yüzey bulunan saydam bir

malzemenin içine az miktarda hava girecek olsa o iç yüzeylerde malzemeden geçen her ışığın rengini değiştirmeye yetecek kadar Rayleigh saçılımı gerçekleşir. Silika aerojelin yapısı aynen böyledir, mavimsi rengi de buradan gelir. O yüzden elinize bir aerojel parçası aldığınızda, sözcüğün gerçek anlamıyla elinizde bir avuç gökyüzü tutuyormuş gibi hissedersiniz.



Bir çiçeği Bunsen ocağının yüksek sıcaklığından koruyan silika aerojel.

Aerojel köpüklerin diğer ilginç özellikleri arasında en kayda değeri ısı yalıtımıdır: Aerojel ısıya karşı bir bariyer görevi görebilir. Isı yalıtımında o kadar iyidir ki bir aerojel parçasının bir tarafını Bunsen yakıcısının ateşine verseniz ve diğer tarafına da bir çiçek koysanız birkaç dakika sonra hâlâ koklayacak bir çiçeğiniz olur.

Çift camın işlevi, iki cam levha arasında bir boşluk yaratmak suretiyle arada kalan ısının hareketini zorlaştırmaktır. Camdaki atomları bir rock konserinde balık istifi dans eden seyirciler gibi düşünün. Müziğin sesi yükselip seyircilerin dans enerjisi arttıkça insanlar birbirine daha çok çarpar. Camda da aynısı olur: Malzeme ısındıkça atomların titreşimi artar. Bir malzemenin sıcaklığı aslında o malzemenin içindeki atomların titreşme derecesidir. Çift camda ise iki cam levha arasında boşluk bulunduğundan, bir levhada titreşen atomların enerjilerini diğer levhadakilere geçirmesi zorlaşır. Elbette çift cam iki yönlü çalışır: Aynı çift cam ısıyı kutuplarda binanın içinde, Dubai'de ise dışında tutabilir.

Çift camlı pencereler yeterince iyi iş görür ama soğuk veya sıcak ülkelerde yaşayan herkesin enerji faturasına bakarak anlayabileceği üzere, bir hayli ısı kaçırır. Daha iyisini yapmamız mümkün mü? Aslında üç ve dört katlı camlar mevcuttur, bunlar yeni bir cam tabakası ekleyerek ısı transferine yeni bir bariyer sağlama prensibiyle çalışır. Ama cam yüksek yoğunlukludur, dolayısıyla yeni kat eklendikçe pencereler ağırlaşıp hantallaşır ve saydamlıkları azalır. Devreye aerojel girer. Aerojel köpük olduğu için malzemenin bir tarafı ile öteki arasında milyarlarca hava ve cam tabakasının eşdeğeri vardır. Aerojel o yüzden böylesine harika bir ısı yalıtımcısıdır. Bunu ve aerojelin diğer önemli özelliklerini keşfeden Kistler, keşiflerini makalesinin son cümlesinde bildirir:

"Bu gözlemlerin bilimsel önemi bir yana, söz konusu malzemelerde geliştirilen yeni fiziksel özellikler ender bir merak konusudur."

Gerçekten de enderdi. Kistler dünyanın en iyi yalıtkanını keşfetmişti.

Bilim camiası kısa bir süre Kistler'a alkış tuttu ama sonra bir anda aerojelleri tamamen unuttu. 1930'lardı, yapılacak başka işler vardı: Neyin geleceği şekillendireceğini, neyin tümüyle unutulacağını kestirmek zordu. Kistler'ın aerojel icadını sunduğu 1931 yılında, fizikçi Ernst Ruska ilk elektron mikroskobunu üretti. Kistler'ın bulgularını yayınladığı *Nature* dergisinin aynı sayısında Nobel Ödüllü malzeme bilimcisi William Bragg, kristallerin içindeki elektron kırınımları (difraksiyonları) üzerine bulgularını sunuyordu. Söz konusu bilim insanları malzemeleri görüp kafamızda canlandırabileceğimiz araçları geliştirerek malzemelerin içyapısına dair yeni bir anlayışa zemin hazırladı. Elektron mikroskobu, on altıncı yüzyıldaki optik mikroskoptan beri icat edilen ilk mikroskoptu ve yeni bir mikroskobik dünyanın kapıları açılıyordu. Çok geçmeden metalleri, plastikleri, seramikleri ve biyolojik hücreleri inceleyen malzeme bilimciler, söz konusu malzemelerin atomik ve moleküler açıdan nasıl işlediğini anlamaya başladılar. Heyecan verici bir dönemdi; malzemeler dünyasında büyük bir patlama yaşanıyordu ve malzeme bilimciler çok geçmeden naylonu, alüminyum alaşımlarını, silikon çiplerini, cam elyafını ve devrim niteliğindeki başka malzemeleri üretecekti. Aerojeller bir şekilde onca heyecan arasında kaybolup gitti.

Bir kişi dışında aerojelleri herkes unuttu: O kişi, Kistler'ın kendisiydi. Kistler'a göre, bu jöle iskeletlerinin güzelliği ve ısı yalıtım özellikleri o kadar olağanüstüydü ki aerojellerin bir geleceği olmalıydı, olmak zorundaydı. Gerçi silika aerojel, cam

kadar kırılgan ve narindi ama (cüzi miktardaki) ağırlığı sayesinde dayanıklılığı kesinlikle aerojeli endüstriyel seviyede kullanışlı kılacak kadar yüksekti. O yüzden Kistler aerojelin patentini aldı ve üretim lisansını Monsanto Corporation adlı bir kimya şirketine sattı. 1948'e gelindiğinde firma toz halindeki silika aerojelden yapılmış, Santogel adlı bir ürün yapıyordu.

Santogel'in dünyanın en iyi ısı yalıtkanı olarak parlak bir geleceği vardı ama ne yazık ki zamanlaması doğru değildi. Enerji pahalılaşacağı yerde gittikçe ucuzluyordu, küresel ısınma sorunundan da kimse haberdar değildi. Aerojel gibi pahalı bir ısı yalıtkanı ekonomik açıdan bir anlam taşımıyordu.

Isı yalıtımı pazarında yer bulamayan Monsanto, ürününe tuhaf bir şekilde çeşitli mürekkep ve boyalarda kullanım alanı buldu: Işığı saçmak suretiyle mürekkep ve boyaları optik açıdan düzleştirerek mat bir cila oluşturma rolünü üstlenecekti. Aerojel sonunda napalm bombaları yapmak için kullanılan jölelerde ve koyunlar için kurt sineği merhemlerinde kıvam verici madde olarak kullanılmaya kadar düştü. 1960'larda ve 1970'lerde daha ucuz alternatifler aerojelin bu oldukça kısıtlı kullanım alanlarını bile ele geçirince, Monsanto sonunda aerojel üretimini toptan bıraktı. Kistler, o fevkalade malzemesinin hak ettiği yere geldiğini göremeden, 1975 yılında öldü.

Aerojellerin yeniden doğuşu herhangi bir ticari uygulamanın değil, CERN'de Çerenkov ışıması (radyasyonu) üstünde çalışan parçacık fizikçilerinin aerojelin benzersiz özelliklerine ilgi göstermesinin bir sonucuydu. Çerenkov ışıması, bir atom altı parçacığının bir malzemeden ışığın geçebileceği hızdan daha hızlı geçerken yaydığı ışımadır. Bu ışımanın saptanıp çözümlenmesi parçacığın doğasına dair ipuçları verdiğinden, bilim insanlarının çok sayıdaki görünmez parçacığın hangisiyle uğraştığının belirlenmesi için alışılmadık bir yol sunar. Aerojel bu amaç için son derece kullanışlıdır; parçacığa içinden

geçebileceği bir malzeme sunar çünkü aerojel aslında bir gazın katı halidir. Bugün hâlâ aynı amaçla kullanılmakta ve atom altı dünyasının gizemlerini keşfetmede fizikçilere yardım etmektedir. Aerojel, fizikçilerin incelikli ekipmanlarla donatılmış, gizemli amaçlara ve büyük bütçelere sahip laboratuvarlarına girince, yeniden ün kazanmaya başladı.

1980'lerin başında, aerojeller o kadar pahalıydı ki yalnızca paranın dert edilmediği laboratuvarlarda bulunabiliyordu. CERN böyle bir laboratuvardı ama çok geçmeden NASA geldi. Uzay araştırmasında ilk silika aerojel kullanımlarının amacı, aşırı sıcaklıklara karşı donanıma yalıtım sağlamaktı. Aerojellerin bu iş için biçilmiş kaftan olmasının tek nedeni dünyanın en iyi yalıtkanı olmaları değildir: Aerojeller aynı zamanda son derece hafiftir ve Dünya'nın yerçekimli ortamından uzaya mekik fırlatırken ağırlığı azaltmak oldukça önemlidir. Aerojel ilk kez 1997'de Mars Pathfinder misyonunda kullanıldı ve o zamandan beri uzay araçlarında bir yalıtkan olarak kullanılıyor. Ama NASA'daki bilim insanları aerojelin uzay yolculuğuyla başa çıkabildiğini anlayınca, söz konusu malzemenin bir başka alanda daha kullanılabileceğini fark ettiler.

Bir gece vakti hava açıkken gökyüzüne bakarsanız bir yıldızın kaydığını ve arkasında parlak bir ışık yolu bıraktığını görebilirsiniz. Bu yıldızların aslında yüksek hızlarda Dünya'nın atmosferine giren ve ısındıkça yanarak parlayan göktaşları oldukları uzun süredir biliniyor. Kuyrukluyıldızlar ve diğer asteroidlerle birlikte, göktaşlarının da büyük ölçüde Güneş Sistemi'nin 4,5 milyar yıl önceki yaratılışından kalma yıldız tozu malzemesinden oluştuğu düşünülmektedir. Bu göksel cisimlerin tam olarak hangi maddelerden yapıldığını belirlemek yıllardır pek çok kişinin ilgi alanı olmuştur çünkü böyle bir bilgi, Güneş Sistemi'nin nasıl oluştuğunu anlamamıza yardım edebileceği gibi, Dünya'nın kimyasal bileşimini de açıklayabilir.

Meteoritlerin malzeme bileşimini çözümlemek birtakım ipuçları vererek bizi heveslendirmiştir ama bu numunelerin bir sorunu vardır: Atmosfere girerken ısındıkları için son derece yüksek sıcaklıklara ulaşırlar. Acaba, diye düşündü NASA'dakiler, uzayda bu nesnelerden birkaçını ele geçirip bozulmadan Dünya'ya getirsek, nasıl olurdu?

Bu fikrin ilk sorunu, uzayda nesnelerin epey hızlı hareket etmesiydi. Yıldız tozu genellikle saniyede 50 kilometre hızla ilerler ki bu da saatte 18.000 kilometreye denk düşer, yani kurşundan bir hayli hızlıdır. Böyle bir nesneyi yakalamak kolay değildir. Söz gelimi, bir kurşunu gövdenizle durdursanız ya kurşunun kuvveti derinizin patlama basıncını aşarak gövdenizi delip geçer ya da Kevlar gibi yüksek patlama dayanımına sahip bir malzemeden yapılmış kurşungeçirmez bir yelek kullanırsınız ve kurşun sıkışarak deformasyona uğrar. Her halükârda, riskli bir iştir. Ancak prensipte gayet mümkündür, bir kriket veya beysbol topunu karşılarken topu havada yakalamak yerine ele düşürmeye benzer: İşin sırrı, yüksek basınçlı tek bir darbeyi göğüslemek yerine topun enerjisini yayarak dağıtmaktadır. O halde NASA'ya gereken şey, toza veya uzay aracına zarar vermeden tozun hızını 18.000 km/saatten sıfıra indirmenin bir yolunu bulmaktı: Bu iş için en ideali, toz parçacıklarını zarar vermeden nazikçe durduracak kadar düşük yoğunluklu bir malzemeydi ve bu işi birkaç milimetrelik bir alanda yapabilmeliydi. Ayrıca bilim insanlarının içeri hapsolan toz zerrelerini bulabilmesi için ideal malzeme, aynı zamanda saydam olmalıydı.

Böyle bir malzemenin varlığı ufak çapta bir mucizeydi. NASA'nın o malzemeyi daha önce uzay uçuşlarında kullanmış olması ise olağandışıydı. Söz konusu malzeme, elbette ki silika aerojeldi. Areojelin bu büyük işi başarmasını sağlayan mekanizma, filmlerde yüksek binalardan düşen dublörleri koruyan mekanizmayla aynıdır: Karton kutulardan bir dağ yapılır, dağ

dublörün ağırlığı altında çökerken kutulardan her biri darbe enerjisinin bir kısmını emer. O yüzden ne kadar çok kutu olursa o kadar iyidir. Aynı şekilde, toz parçacığı çarptığında aerojelin içindeki her köpük duvarı az miktarlarda enerjiyi emer ama santimetreküp başına milyarlarcası düştüğünden, sayıları tozu nispeten zarar vermeden durdurmaya yeter.

NASA tüm bir uzay misyonunu aerojelin nazikçe yıldız tozu toplayabilme becerisi üstüne kurdu. 7 Şubat 1999'da Stardust uzay aracı uzaya yollandı. Güneş Sistemi'nde yolculuk etmek için gereken tüm donanıma sahip araç, aynı zamanda Wild 2 adlı kuyrukluyıldızı geçmek üzere programlanmıştı. Ana fikir, uzay aracının kuyrukluyıldızdan saçılan tozlara ek olarak derin uzayda yıldızlararası toz toplamasıydı. Böylece NASA iki tozun malzeme karışımını inceleyebilecekti. Bu işi başarmak için dev bir tenis raketini andıran ama ipler arasında delik yerine aerojel bulunan bir alet geliştirmişlerdi.

2002 yılının yaz ve sonbaharında, derin uzayda herhangi bir gezegenden milyonlarca kilometre uzakta bulunan Stardust uzay aracı bir kapağını açıp aerojel bezeli dev tenis raketini çıkardı. Bu yıldızlararası tenis maçında bir rakibi yoktu, aradığı toplar ise mikroskobik boyutlardaydı: Uzun zaman önce sönmüş yıldızların kalıntıları ve Güneş Sistemimizin uzayda uçmaya devam eden artık maddeleri. Stardust derin uzayda çok uzun süre kalamazdı çünkü o sırada, her 6,5 yılda bir yaptığı gibi, Güneş Sistemi'nin dış çeperinden kopup hızla merkezine yaklaşan Wild 2 kuyrukluyıldızıyla randevusu vardı. Raketini içeri alan uzay aracı, randevusuna yetişmek için gaza bastı. Doğru konuma gelmesi yalnızca bir yılı aşkın bir zaman aldı ama 2 Ocak 2004'te uzay aracı kendini Güneş'in çevresinde hızla dönen, beş kilometre çapındaki kuyrukluyıldızın çarpışma rotasında buldu. 237 km geriden kuyrukluyıldızın çekim alanına girmeyi başardıktan sonra kapağını açıp aerojelli tenis

raketini bir kez daha çıkaran uzay aracı, bu kez B yüzünü kullanıp insanlık tarihinde ilk defa saf kuyrukluyıldız tozu toplamaya başladı.

Stardust uzay aracı kuyrukluyıldız tozunu topladıktan sonra dönüşe geçerek iki yıl sonra Dünya'ya vardı. Dünya'ya yaklaşırken ani bir dönüş yaparak aşağı küçük bir kapsül bıraktı. Dünya'nın yerçekimine kapılan kapsül, 12,9 km/saniyelik bir hızla, yani kayıtlara geçen en hızlı atmosfere dönüş hızıyla atmosfere girince, bir süreliğine kendisi bir kuyrukluyıldız oldu. On beş saniyelik serbest düşüşten sonra çok yüksek sıcaklıklara ulaşan kapsül, alçalma hızını yavaşlatmak için marş paraşütünü devreye soktu. Birkaç dakika sonra, Utah Çölü'nün üstünde 10.000 fit yüksekliğe gelen kapsül marş paraşütünü atarak, ana paraşütünü açtı. O esnada yeryüzündeki kurtarma ekipleri nereye ineceğini bildiklerinden, toplam dört milyar kilometre ve yedi yıl süren yolculuğunun ardından, kapsülü karşılamak üzere çöle çıkmışlardı. Kapsül 15 Ocak 2006 Pazar günü saat 10.12'de Utah Çölü'nün kumlarına kondu.

NASA'nın Kaliforniya, Pasadena'da bulunan Jet İtki Laboratuvarı'nın (JPL) proje yöneticisi Tom Duxbury, "Çocuğunun dönüşünü bekleyen anne babalar gibiyiz. Evden ayrılırken gençti, masumdu, şimdiyse Güneş Sistemimiz hakkındaki en önemli soruların yanıtlarıyla geri dönüyor," dedi.

Ancak, kapsülü açıp aerojel örneklerini inceleyene kadar, bilim insanları herhangi bir şeyin yanıtına kavuşup kavuşmadıklarını bilmiyorlardı. Belki de uzay tozu aerojelin içinden geçip gitmişti. Ya da belki atmosfere girişin şiddeti ve yol açtığı ivme kaybı aerojeli parçalayarak anlamsız bir toza dönüştürmüştü. Belki de içerde hiç toz yoktu.

Endişeleri yersizdi. Kapsülü NASA laboratuvarına götürüp açtıklarında, aerojeli tek parça ve kusursuza yakın bir halde buldular. Yüzeyinde çok küçük ölçekli delik izleri vardı. Bunlar,



Aerojeldeki mikroskobik kuyrukluyıldız parçacıkları izleri (NASA).

sonradan uzay tozunun giriş noktaları olarak gösterilecek deliklerdi. Aerojel başka hiçbir malzemenin başaramadığı işi başarmıştı: Henüz Dünya bile yokken oluşan bir kuyrukluyıldızdan saf toz örnekleri getirmişti.

NASA'nın bilim insanları aerojel kapsülünün dönüşünden itibaren yıllarca aerojelin içindeki minik toz zerreciklerini bulmak için uğraştı, çalışmaları bugün hâlâ sürüyor. Aradıkları toz çıplak gözle görülmediğinden, tozu bulmak için örneklerin mikroskopla incelenmesi gerekiyor, bu da yıllar alıyor. Proje o kadar büyük ki NASA, halkı araştırmaya yardıma çağırdı. Stardust@Home sistemi gönüllülere evdeki bilgisayarlarında binlerce aerojel örneğinin mikroskobik görüntülerine bakarak, bir uzay tozunun varlığına dair işaretleri nasıl saptayabileceklerini öğretiyor.

Çalışmanın şimdiye dek doğurduğu birtakım ilginç sonuçlar içinde en şaşırtıcısı, Wild 2 kuyrukluyıldızından gelen çoğu tozda alüminyum yönünden zengin eriyik damlacıklarının görülmesidir. Ömrü boyunca yalnızca uzayın dondurucu soğuklarına maruz kalmış bir kuyrukluyıldızda bu bileşiklerin nasıl oluştuğunu anlamak çok zordur çünkü bunların oluşması için 1200°C'den yüksek sıcaklıklar gerekir. Kuyrukluyıldızların Güneş Sistemi'nin doğuşuna tarihlenen, donmuş taşlar olduğu düşünüldüğünden, bu durum en hafif tabiriyle biraz sürpriz olmuştur. Sonuçlar ya kuyrukluyıldız oluşumuna dair standart modelin yanıldığına işaret ediyor ya da Güneş Sistemi'nin oluşumuna dair henüz anlamadığımız çok şey var.

Bu arada, görevini tamamlayan Stardust uzay aracının yerleşik yakıtı artık bitti. 24 Mart 2011'de Dünya'dan 312 milyon kilometre uzaktayken NASA'dan gelen son bir talimata, iletişimi kesme talimatına yanıt verdi. Talimatı kabul eden Stardust son vedasını etti. Şu anda, insan yapımı bir kuyrukluyıldız gibi, uzayın derinliklerinde yolculuk ediyor.

Artık Stardust misyonu bittiğine göre, aerojel de aynı kaderi paylaşıp karanlıklara mı gömülecek? Gayet mümkün. Aerojel elimizdeki en iyi yalıtkan olmasına karşın çok pahalı, üstelik şimdi bile enerji tasarrufunu aerojellere ekonomik bir değer biçecek kadar umursuyor muyuz, belli değil. Böyle ısı yalıtımı uygulamaları için aerojel satan çeşitli şirketler var ama şimdilik en çok sondaj operasyonları gibi aşırı ortamlar için kullanılıyor.

Çevresel faktörler yüzünden enerji maliyetimizin giderek artması olasılık dâhilinde. Enerjinin yeterince yüksek maliyete ulaştığı bir gelecekte, hepimizin kullandığı yekpare çift camların yerini aerojel teknolojisine dayanan, çok daha incelikli bir cam malzemesine bırakması akla yatkın bir ihtimal. Yeni aerojel geliştirme çalışmaları gittikçe hız kazanıyor. Artık silika aerojeller gibi katı ve kırılgan değil, esnek ve bükülebilir bir malzeme elde

etmeyi başaran birkaç aerojel teknolojisi var. X-aerojel denen bu malzemeler esnekliklerini aerojelin katı köpük duvarlarını birbirinden ayırarak malzemenin içinde menteşe görevi gören polimer moleküllerinin arasına giren incelikli bir kimyasaldan alıyor. Bu x-aerojellerden tekstil ürünleri gibi esnek malzemeler yapılabilir. Hatta x-aerojeller dünyanın hem en sıcak, hem de en hafif battaniyelerini üretmek için kullanılsalar yorganların, uyku tulumlarının ve benzerlerinin yerini alma potansiyeline bile sahipler. X-aerojeller o kadar hafiftir ki aşırı ortamlar için tasarlanmış açık hava kıyafetleri ve çizmeler üretmek için de mükemmeldir. Hatta spor ayakkabılara elastikiyet kazandıran köpük tabanların yerini bile almaları mümkün. Yakın dönemde elektrik ileten bir karbon aerojel ailesi ve zehirli atıklarla gazları emebilen süper emici aerojeller üretildi.

Dolayısıyla aerojeller hâlâ gelecekte gündelik yaşamımızın bir parçası, belki de daha aşırı ve dengesiz bir ilkimde yaşamanın çözümü olabilir. Ama bir malzeme mühendisi olarak küresel ısınma önlenemediği takdirde dünyaya doğru malzemeleri sunabileceğimizi bilmek ne kadar hoşuma gitse de çocuklarım için öyle bir gelecek istemem. Onca malzemeyi, hatta altın ve mücevher gibi kutsal saydıklarımızı bile sanayileştirdiğimiz bir dünyada, değeri güzelliğinde ve anlamında yatan bir malzemenin bir gün yeniden hak ettiği yere gelebileceğini düşünmek isterim. Çoğu kişi hayatında eline hiç aerojel almayacak ama bir kez alanlar onu asla unutamayacak. Aerojel çok benzersiz bir deneyim yaşatır. Algılayabileceğiniz bir ağırlığı yoktur, kenarları ise öylesine sezdirmeden gözden kaybolur ki malzemenin nerede bittiğini, havanın nerede başladığını anlamak imkânsızdır. Soluk mavi rengini de hesaba katarsak avucunuzda gökyüzünden bir parça tutuyormuş gibi hissedersiniz. Aerojeller adeta sizi kafanızı çalıştırıp onlarla ilişki kuracak bir bahane bulmaya zorlar. Partideki gizemli bir konuk gibidir, konuşacak bir şey

bulamasanız bile yakınlarında durmak istersiniz. Bu malzeme gelecekte unutulmayı veya bir parçacık hızlandırıcının içine tıkılmayı değil, sırf kendisi olduğu için değer görmeyi hak ediyor.

Aerojeller sırf meraktan, yaratıcılıktan ve acaba sorusundan üretildi. Böyle yaratıcılıklara değer verdiğimizi söylediğimiz ve başarılarını ödüllendirmek için madalyalar verdiğimiz bir dünyada, bu iş için hâlâ altın, gümüş ve bronz kullanmamız gariptir. Çünkü gelmiş geçmiş malzemeler arasında insanoğlunun gökyüzüne bakıp kim olduğunu merak edebilmesini simgeleyen bir malzeme varsa; kayalık bir gezegeni bereketli ve harikulade bir yere çevirebilmemizi simgeleyen bir malzeme varsa; Güneş Sistemi'nin enginliğini keşfederken aynı zamanda insan varlığının narinliğinden söz edebilmemizi simgeleyen bir malzeme varsa; gelmiş geçmiş malzemeler arasında gök kadar mavi bir malzeme varsa o malzeme, aerojeldir.

6. Düş Gibi



Oxford Üniversitesi Malzeme Bilimleri Bölümü'nde doktoramı yaparken düzenli bir şekilde sinemada gündüz seanslarına giderdim. Özellikle yağmurlu, gri öğleden sonraları karanlık ve boş sinema salonlarında film izlemek, başka hiçbir dinlence

türünün sağlayamadığı kadar kafamı boşaltmamı sağlardı. Ama bir gün tuhaf bir şey oldu. Fuayede, tanımadığım biriyle ateşli bir tartışmaya girdim. O öğleden sonra gösterilen film, başrollerini Paul Newman ile Robert Redford'ın paylaştığı western klasiği *Sonsuz Ölüm*'dü (*Butch Cassidy and the Sundance Kid*). Film başlamadan önce bir paket şekerleme almak için sıra beklerken, arkamdaki adamın veryansın ettiğini duydum: Sinemaların büyüsünü kaybetmesinden ve fahiş fiyatlara şekerlemeler satan, cafcaflı dükkânlara dönüşmesinden esef duyduğunu söylüyordu. Adamın nefret kustuğu o abur cuburlardan almak için sırada beklediği gözümden kaçmamıştı ama tutarsızlık İngilizlere özgü kayıtsızlığımı elden bırakmam için yeterli bir neden değildi. Ancak bir sonraki lafı gerçekten asabımı bozdu. "Neden şekerlemeler hep plastik poşetlerde satılıyor?" dedi. "Benim zamanımda kâğıt kullanılırdı. Şekerlemeler kavanozlarda saklanır, kesekâğıtlarında tartılarak satılırdı." Revels marka bonbonumun parlak turuncu paketini kavrayarak hafifçe döndüm ve adamın gözlerine bakıp gülümsedim. "Ama sinema salonunda bulunmayı en çok hak eden malzeme tabii ki plastiktir. Hele de bu film söz konusuysa." Belki ses tonum biraz küçümseyiciydi; evet, büyük olasılıkla öyleydi. Doktora öğrencisiydim ve çok şey bildiğimi sanıyordum. Ama aynı zamanda plastiği savunmaya da hevesliydim çünkü bu malzeme çoğu zaman yanlış tanıtılıyordu.

Ama yanlış kişiye çatmıştım. Adam otoriter bir film meraklısı olmanın verdiği yetkiyle üstüme çullandı. Ne saçmalıyordum? Benim yaşımdaki biri sinemadan ne anlardı? O sinemayı altın çağında tanımış, havasını solumuştu. Sinema, gümüş ekranın yıldızları, yanıp sönen ışıklar, kadife koltuklar ve projektörün mırıltısı demekti. Tek bir lafımı bile dinlemedi, muhtemelen dinlememekte de haklıydı. Dayanağı ne kadar

sağlam olursa olsun savımı anlamlı bir şekilde ifade edecek dilden yoksundum. Sonuçta ikimiz de öfkeden kıpkırmızı bir halde filme girdik ve büyük ölçüde boş olan salonun karşıt taraflarına oturduk. Sonunda ışıklar sönünce derin bir oh çektim.

O utanç verici olay sık sık aklıma geldi, her seferinde de acaba plastiği nasıl daha etkin bir biçimde savunabilirdim, diye düşündüm. Sonunda vardığım kanıya göre, adama beni ancak onun en değerli gördüğü aracıyı kullanırsam dinlerdi: sinemanın görsel dilini. İşte burada *Sonsuz Ölüm* filminin plastik şekerleme ambalajlarıyla alakasına dayanan, kaybettiğim tartışmayı çözecek bir senaryo sunuyorum. Benim kabataslak senaryomun sinema fuayesindeki tartışmayla alakası yer yer biraz belirsiz gözükebilir diye, her sahnenin sonuna açıklayıcı birkaç not ekledim.

1. SAHNE

İÇ MEKÂN: ESKİ BATI USULÜ BİR BAR, SAN FRANSISCO, 1869.

Vakit öğle üzeridir. İçeriyi dolduran sandalye ve masaların yarısında iskambil oynayıp içki içen erkekler oturmaktadır. Bir köşede kimsenin çalmadığı bir piyano vardır. Rüzgâr her estiğinde takırdayan kırık jaluzilerden parlak Kaliforniya güneşi süzülür. Hava puro dumanıyla doludur.

Bar sakinleri çoğu işsiz güçsüz bir grup sert görünümlü adamdan ibarettir. Bazıları on yıl önce Kaliforniya'daki altına hücum

furyası sırasında Batı'ya gelen, sonra zengin olmayı başaramayınca kente yerleşen eski madencilerdir. Diğerleriyse sonunda kiralık silahşor olarak buraya düşen Amerikan İç Savaşı gazileridir. Adamlara eşlik eden birkaç kadın vardır.

Köşede on beş renkli topla oynanan yeni "Amerikan Bilardosu" çılgınlığına uygun bir bilardo masası vardır. **BILL** ve erkek kardeşi **ETHAN** bilardo oynamaktadır. **BILL** kovboydur, Ohio'da birini öldürdükten sonra kaçıp bu kente gelmiştir. Dişleri bir atın çiftesiyle döküldüğünden, dişsiz dişsiz gülümseyen, büyük ölçüde sessiz bir adamdır. Erkek kardeşini yeni tren yolunu kullanarak buraya yolculuk etmeye o ikna etmiştir.

ETHAN

(Bilardo masasının üstüne eğilmiş, topa vurmak üzeredir)
Mavi top, köşedeki delik.

BILL

(Elinde istekayla duvara yaslanmaktadır)
Ya?

ETHAN

(Topu köşedeki deliğe sokar)
Evet efe'm! Bu yeni topları sevdim; sevmek ne kelime, bayıldım.

BILL

Ya?

ETHAN

Öyle ya, (yalandan kibar bir aksan takınır) hani tam boş vakti bol olanlar için, anlarsın ya, bizi diyorum, Bill. Boş vaktimiz bol ya? Hah!

ETHAN yalandan kibar aksanıyla naklen yayına devam ederek, iki topu daha deliğe yollar, başarılı vuruşlarının arasında da sırıtarak **BILL**'e bakar. **BILL** oralı olmaz çünkü iskambil masalarından birindeki tartışma dikkatini dağıtmıştır.

Kente yeni gelen **KIRMIZI YÜZLÜ ADAM**, sonunda iskambil oyununda hile yapıldığını anlayınca hemen ayağa fırlar ama sandalyesi devrilip gürültüyle yere çarpınca, dengesini kaybeder. Masadakiler güler. **KIRMIZI YÜZLÜ ADAM** o kadar sarhoştur ki aklından geçenler yüzünden okunmaktadır. Adam iskambil masasını devirip dışarı çıkmayı düşünür ama ardından eli silahına gider ve silahını diğer oyunculara doğru sallamaya başlar. Kahkahalar kesilir, birkaç saniye sonra ise bardaki her şey durur. **ETHAN** hariç: Salona arkası dönük duran **ETHAN**, yine imkânsız görünen bir atış yapmaya hazırlanmaktadır.

ETHAN

(Yapmacık kibar sesiyle) Mavi top, son delik.

Sessizlikte atışını yapar ama beyaz top sekizinci topa vurunca tuhaf bir şey olur: Yüksek perdeden bir çat sesi eşliğinde parlak bir ışık çıkar. Deliği kaçıran sekizinci top küçük patlamanın etkisiyle yolundan sapar.

KIRMIZI YÜZLÜ ADAM sarhoş kafa ilgisini yeni yeni **ETHAN**'a yöneltmişken, duyduğu bu sesten öyle bir ürker ki içgüdüsel olarak bilardo masasına doğru bir kurşun yolladıktan sonra, koşarak bardan çıkar.

ETHAN kanlar içinde yerde yatarken, beyaz top döne döne durur, sekizinci topla çarpışmasından doğan patlamanın dumanı hâlâ üstünde tütmektedir.

1. Sahne için notlar

Amerikan bilardosu on beşinci yüzyılda Kuzey Avrupa saraylarında oynanmaya başlayan bilardo adlı bir oyundan doğmuştur. Bilardo aslında kroketin kapalı alanda oynanan bir versiyonuydu ve bilardo masalarının üstü bu yüzden çimeni andırsın diye yeşildi. Sanayi Devrimi'nin sonuçlarından biri, bilardo masalarının üretiminin bir hayli ucuzlamasıydı. Çok geçmeden, tıpkı günümüzdeki gibi, bilardonun barların ve meyhanelerin gelirini artırabileceği anlaşıldı ve yeni oluşan kentli yoksul kesim, bilardoyu benimsemeye başladı.

On dokuzuncu yüzyılda oyun teknik açıdan bir hayli ilerletildi. İlkin istekalara kösele uç takılıp tebeşir sürüldü, böylece falso tekniği ile top üstündeki hâkimiyet artırıldı. Bu tekniği Amerika'ya İngiliz denizciler getirdiğinden, bugün hâlâ "İngiliz

vuruşu"* olarak anılır. 1840'larda Charles Goodyear'ın vulkanize kauçuğu icadı, oyun masasının kenarlarına "minderler" takılmasına olanak verip ahşap zemine yumuşaklık ve elastikiyet kazandırarak topların ilk kez masada öngörülebilir bir biçimde sekmesini sağladı. O tarihten itibaren bilardo masaları bugün bildiklerimize benzemeye başladı. Bilardonun üç dört topluk bir oyunken, on beş topun kullanıldığı çok daha yaygın bir oyuna dönüşmesi 1870'lerde Amerika'da gerçekleşti. Ama o zamana kadar toplar fildişinden yapıldığı için çok pahalıydı.

Fildişinin malzeme özellikleri birleşimi eşsizdir: Kırılıp ezilmeden topların binlerce kez yüksek hızla çarpışmasına dayanacak kadar serttir; çatlamayacak kadar dayanıklıdır; makinelerle küre biçimli toplar haline getirilebilir ve çoğu organik malzeme gibi farklı renklere boyanabilir. O zamanlar bu özelliklerin bir kombinasyonu başka hiçbir malzemede yoktu, o yüzden bilardonun popülerliği Amerikan barlarını saran bir çılgınlığa dönüşmesi, fildişi fiyatının talebi karşılamak için artmasına ve oyunun bir anda pahalılaşmasına yol açtı. Nitekim kıtadaki çoğu barda fildişi yerine plastik gibi yeni malzemelerden yapılmış toplar denendi, bazıları çok tuhaf sonuçlar verdi. Plastik yeni bir malzeme türüydü; senaryo düzyazıdan ne kadar farklıysa plastik de diğer malzemelerden o kadar farklıydı.

2. SAHNE

İÇ MEKÂN: NEW YORK KENT MERKEZİNDE BİR KULÜBE.

Kulübe **JOHN WESLEY HYATT** için bir laboratuvar işlevi görmektedir. **JOHN WESLEY HYATT** gazete basımcısı olarak çalışan genç bir adamdır ama

* Putting "English" on the balls.

boş zamanlarında kimyasal deneyler yapar. Henüz yirmi sekiz yaşındayken kendi adına bir patent almıştır ve dünyanın ilk kullanılabilir plastiğinin üreticisi olarak tarih kitaplarına geçmek üzeredir.

Emekli bir asker ve yatırımcı olan **GENERAL LEFFERTS, HYATT**'ı ziyaret eder. Thomas Edison'a finansal destek sağlayan **GENERAL LEFFERTS,** şimdi **HYATT** ile ilgilenmektedir. **LEFFERTS** iri yapılı bir adamdır, kafasını kulübenin tavanına çarpmamak için eğilmek zorunda kalır. İçerisi cam eşyalarla, ahşap fıçılarla ve şaşırtıcı bir miktarda fildişiyle doludur. Çözücülerin aşırı yoğun kokusu açık camlara karşın varlığını hissettirmektedir.

HYATT

Sentetik bilardo topu yapmaya çalışırken aklıma yeni bir fikir geldi, size de göstermek istiyorum. (Odanın köşesinde duran, çeşitli bilardo toplarıyla dolu kutuyu işaret eder.)

LEFFERTS

Bilardo topu mu? Neden bilardo topu?

HYATT

Bilardo topları şu anda yalnızca fildişinden üretiliyor ama fildişi çok pahalı, oysa oyun bugünlerde o kadar popüler ki bilardo masası üreticileri malzemeleri bitecek diye panik halinde. *New York Times*'a ilan vermişler,

alternatif bir malzeme icat edene on bin dolar ödül verecekler.

LEFFERTS

On bin dolar ha? Vay canına, o oyunda o kadar para olamaz.

Kimyasal cihazlarıyla oynayan **HYATT**, aniden yaptığı işi bırakıp bir şey aranır, aradığı şeyi de hemen bulur, raptiyeyle duvara iliştirilmiştir. Ödül ilanını gösteren, sararmış bir *New York Times* kupürüdür bu. Kupürü **LEFFERTS**'a verir.

HYATT

Kendiniz bakın.

LEFFERTS

(Bir yandan purosunu tüttürerek, makaleyi okur.) "Amerika'nın en büyük bilardo tedarikçisi Phelan&Collender – adlarını hiç duymadım... (Okumaya içinden devam ederek, bazı yerlerde dudaklarını oynatır, ardından bir yeri aynen okur.) Fildişi yerine geçecek bir malzeme üretmeyi başaran mucide on bin dolar değerinde cömert bir ödül öneriyoruz." Vay canına, doğru mudur ki?

HYATT

Doğru ya, elbette doğru. Birkaç yıldır meselenin üstünde çalışıyorum, onlara da

bir sürü prototip gönderdim. Birkaç ay önce benimle iletişime geçtiler, son sürümlerimden birkaç seriyi denenmek üzere ülkedeki barlara göndermişler.

LEFFERTS

Başardın mı yani?

HYATT

Şey, evet... (Söze nasıl devam edeceğini bilmiyormuşçasına önüne bakar)... ama bir sorun var... ee... durun, size topları nasıl yaptığımı göstereyim, o zaman anlarsınız. Aslında sizi buraya bunun için çağırdım çünkü inanmanız için görmeniz gerek.

HYATT deney setinin çeşitli parçalarıyla oynamayı bırakır, ardından kilitli bir dolaptan büyük bir Dewar -bir tür termos- çıkarıp, bir beherglasa içindeki berrak sıvıdan döker.

LEFFERTS

Nedir o?

HYATT

Alkolle seyreltilmiş nitroselüloz.

LEFFERTS

Nitroselüloz... daha önce duymuştum... hım... evet, ama o patlayıcı bir madde değil miydi?

LEFFERTS bir anda kıpkırmızı kesilir, saf saf bu çılgın bilim adamını ziyaret edip kendi yaşamını tehlikeye attığı için kendine kızar. Sinirle purosunu eller, İç Savaş sırasında patlayıcıların yol açtığı bir sürü aptalca kaza görmüştür.

HYATT

(**LEFFERTS**'ın kaygısını fark etmeden) Ha, sanırım nitrogliserin demek istediniz, evet, sanırım kimyasal açıdan biraz benzerler ama bu nitroselülozdur, teknik açıdan patlayıcı değildir. Belki patlayıcı sayılabilir çünkü çok kolay tutuşur ama ben çok dikkat ediyorum.

O esnada gülümsemek için **LEFFERTS**'a döner ama **LEFFERTS**'ın keyfinin kaçtığını görünce, ortalığı yatıştırmak için biraz daha açıklama yapar.

HYATT

Nitrogliserin, gliserolün nitratlanması sonucu elde edilir. Gliserol sabun üretiminden doğan, yağ gibi, renksiz bir sıvıdır. Gliserolü nitrik asitle karıştırmanız yeterlidir. Ama dediğiniz gibi, çok karasız bir maddedir, dinamitin ana bileşenidir. Benim elimdekiyse nitroselülozdur, kâğıt hamurunun nitrik asitle karıştırılmasından elde edilir. Eğer nitroselülozu kurutursanız, pamuk barutu denen bir maddeye dönüşür ve evet, bu madde

son derece yanıcıdır ama (yeniden **LEFFERTS**'a dönerek) aslında patlamaz. Benim kullandığım, kolodyum adıyla bilinen sıvı formu daha ilginç bir işe yarar. İzleyin.

LEFFERTS, HYATT'ın beherglas içindeki nitroselüloz çözeltisine birkaç damla kırmızı mürekkep ekleyişini izler. Çözelti cart kırmızı bir renk alır. **HYATT** bir ipe asılmış ahşap bir topu sıvının içine daldırır. Topu çekip çıkardığında ise, üstü parlak kırmızı güzel bir plastik tabakasıyla kaplanmıştır. Topun üstündeki plastik hemencecik sertleşir. Bu dönüşüm **LEFFERTS**'ın üstünde gereken etkiyi yapmıştır.

LEFFERTS

İnanılmaz. Dokunabilir miyim?

HYATT

(Hoşnut bir ifadeyle) Evet... yani, ee, hayır, biraz daha kuruması gerek. Ama burada daha önce yaptıklarımdan var.

LEFFERTS

(Suni bilardo toplarını ellerine alarak, tokuşturur.) Başarmışsın işte. Sorun ne peki? Hâlâ yanıcı mı?

LEFFERTS ağzındaki puroyu çıkartıp ihtiyatla bilardo topuna değdirince, top için için yanmaya başlar, ardından da alev alır. **HYATT**

ustalıkla yanan topu **LEFFERTS**'ın elinden aldığı gibi, camdan dışarı fırlatır.

HYATT

Şey, evet, hâlâ yanıcı. İdeali bu değil elbette. Hatta yüksek hızla çarpışınca, topların kendiliğinden alev aldığına dair bazı duyumlar aldık. Ama asıl problem topların sesinde: Çarpıştıkları zaman çıkan ses kulağa doğal gelmiyor.

LEFFERTS

Peh, topların sesini kim umursar yahu?

HYATT

Yoo, umursarlar. Ben de umursarım. Ama sizinle konuşmak istediğim konu bu değil. İşte, şuna bir bakın. (Çekmecenin birinden bir cisim çıkarıp, **LEFFERTS**'a verir.)

LEFFERTS

(Cisme bir süre bakar.) Fildişi bir tarak. Ne olmuş yani?

HYATT

Fildişi değil! (Keyifle güler) Hah! Sizi kandırdım. Bu yeni bir malzeme o ahşap topu kaplayan selüloz nitrattan yapıldı. Ama benim yeni yöntemimde topa gerek yok. Yalnızca selüloz nitrat kullanarak nesneler yapabilirim. Ben yalnızca ham petrolden elde edilen nafta diye bir çözücü ekliyorum,

sonrası hokus pokus. Sürece plastikleştirme deniyor. (Heyecanla çekmecesinde bir şeyler aranmaya koyulur.) Alın, bir saç fırçası, bu da bir diş fırçası, buradaki de... bir kolye... (eşyaları **LEFFERTS**'a verir.)

LEFFERTS bir süre konuşmadan sahte fildişi cisimleri inceler.

LEFFERTS

(Alçak sesle) Fildişi pazarı ne kadar büyük?

HYATT

Büyük. Bir hayli büyük.

LEFFERTS

Şu şeyi üretmeye başlamak için ne kadara ihtiyacın var? Neydi adı?

HYATT

Selülozdan yapılıyor, o yüzden ben selüloit diyorum. Siz ne dersiniz?

LEFFERTS

Bana uyar, sen istediğini de. Endüstriyel ölçekte selüloit üretmek için neye ihtiyacın var?

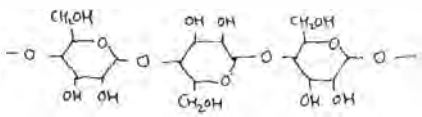
HYATT

Zamana ve paraya.

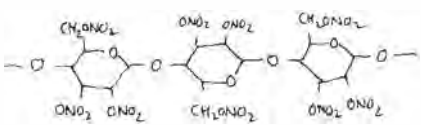
2. Sahne için notlar

Tüm bunlar (diyaloglar tahmini olsa da) gerçeklere dayanmaktadır. Bugün, insanın kulübesinde önemli kimyasal keşifler yapabildiğine inanmak zordur. Ama on dokuzuncu yüzyıl sonlarında, kimya mühendisliğinin altın çağının başlangıcında, giderek artan bir kimya bilgisi, yeni malzemelerin icadından para kazanmayı sağlayan girişimcilik fırsatlarıyla aynı zamana denk geldi. Üstelik satışı genelde düzenlemeye tabi bulunmayan kimyasalları edinmek hem kolay, hem de ucuzdu. Çoğu mucit evinde çalışıyordu, kimiyse Goodyear örneğinde olduğu gibi, borçları yüzünden girdiği hapishanede. Goodyear'ın kauçuğu başarısını bir kez kanıtlayınca, böyle malzemelerin sunduğu koruma, rahatlık ve esnekliğe duyulan talep arttı.

"Plastik" terimi envaiçeşit malzemeye işaret eder ve hepsi de organiktir (yani karbon bazlı bir grup bileşenden elde edilmiştir), katıdır ve kalıplanabilir niteliktedir. Goodyear'ın kauçuğu bir plastik formuydu ama terimi kökünden değiştiren şey,



selüloz



selüloz nitrat

Selüloit ile kâğıdın yapıldığı selüloz arasındaki kimyasal benzerlik. İki bileşik de karbon, hidrojen ve oksijen atomlarından oluşan ve tek bir oksijen atomuyla birbirine bağlanan altıgenlerden oluştur.

tamamen sentetik plastiklerin icadı oldu. John Wesley Hyatt ile kardeşi, kısmen *New York Times*'ın bilardo topları için yeni bir malzeme icat edene 10.000 dolar vaat eden bir ilanından esinlenerek, sırf bu amaçla kulübelerinde bir laboratuvar kurdular. Hyatt aynı zamanda Amerikan İç Savaşı'nda görev almış emekli General Marshal Lefferts'ın başını çektiği bir yatırımcılar konsorsiyumundan da finansal destek görüyordu. Bar sahiplerinden Hyatt'ın kolodyum kaplı toplarının patladığına dair şikâyetler geliyordu, hatta bir tanesi "toplar ne zaman birbirine vursa, içerideki erkeklerin silahına davrandığını" bildiriyordu. Bugün Amerikan bilardosu *(pool)* ve İngiliz bilardosu *(snooker)* topları fenolik reçine denen bir plastikten yapılıyor, selüloit ise yalnızca tek bir top türünün yapımında kullanılıyor: pinpon topunun.

3. SAHNE

İÇ MEKÂN: BİR CENAZE SALONU, SAN FRANSICO.

ETHAN'ın cesedi bir ameliyat masasında çırılçıplak yatmaktadır. Az önce kesilip çıkarılan giysileri yerdedir. Odada sedirlerde yatan başka yeni cesetler de vardır, bazılarından süzülen kanlar yerde gölcükler oluşturmuştur. İçeride güçlü bir kimyasal kokuya karışan daha tatlı, daha keskin bir çürüme kokusu vardır. **TAHNİTÇİ**, **ETHAN**'ın cesedindeki kanı temizlerken, **BILL** izlemektedir.

BILL

Peki, ne kadar vaktim var?

TAHNİTÇİ

Annesiyle babasını getirmek için mi?

BILL başını sallar.

TAHNİTÇİ

Normal şartlar altında, üç gün.

BILL

(Dişlerini sıkarak) Ya anormal şartlar altında?

TAHNİTÇİ

Elimde yeni formaldehitten biraz var. Ondan kullanırsak kardeşini iyi durumda muhafaza edebiliriz ama pahalıdır. Arsenikle yaparsam daha ucuza gelir ama görünüşü aynı olmaz.

BILL hiçbir şey söylemeden, ölü kardeşine dikkatlice bakar.

TAHNİTÇİ

Duyduğuma göre kardeşine bunu yapan yeni bilardo toplarıymış, öyle mi? Hani şu New Yorklu elemanın yaptıkları? Gazetede okudum, bilim adamı ve mucitmiş, öyle diyorlar, şu elektrik ışıklarını yapan Edison gibi. Ama onun kadar başarılı değilmiş.

BILL

New York mu? Zengin miymiş?

TAHNİTÇİ

Öyledir herhalde...

BILL dışarı çıkmak üzere döner.

TAHNİTÇİ

Hey, nereye gidiyorsun? Kardeşinin cesedini ne yapacağım?

3. Sahne için notlar

1896'da soğutmanın prensipleri bilinmesine biliniyordu ama soğutucuların kullanıma girmesi için bir elli yıl daha geçmesi gerekecekti. Sıcak ülkelerde biri öldüğünde iki seçenek vardı: Ölen ya gömülür veya yakılırdı. Ya da tahnit edilirdi. Tahnit yöntemleri 1867 yılına kadar arsenik gibi zehirli kimyasallar içeren özel çözeltilere veya alkole dayanıyordu, 1867'de ise Alman kimyager August Wilhelm von Hofmann formaldehiti keşfetti. Önceki yöntemlerin aksine, formaldehit dokuyu, cesede adeta canlı bir görünüm verecek denli iyi koruduğundan kısa sürede en çok tercih edilen yöntem oldu. Lenin, Mustafa Kemal Atatürk ve Galler Prensesi Diana formaldehitle tahnit edildi.

Günümüzde Gunther von Hagens'in geliştirdiği, adına plastinasyon denen yeni bir teknik vardır. Plastinasyon, vücuttaki suyun ve (lipitler gibi) yağların boşaltılarak, bir vakum tekniğiyle yerine silikon kauçuk ve epoksi reçine konmasına dayanır. Adı geçen malzeme her türlü boya, yapıştırıcı ve esnek üründe kullanılan çok yönlü bir malzemedir ve tıpkı formaldehit gibi canlıya yakın bir görünüm sunar. Ayrıca kullanılan plastiklerin katılığı sayesinde cesetlere canlı pozisyonları verilebilir. Bu

korunmuş ve belli pozisyonlara sokulmuş cesetlerden oluşan *Body Worlds* sergisi, 1995 yılından beri dünyayı dolaşarak, milyonlarca ziyaretçi kabul etmektedir.

4. SAHNE

İÇ MEKÂN: NEW YORK ŞEHRİNDE BİR MAHKEME SALONU. BİRKAÇ YIL SONRA.

HYATT yeni selüloit plastiğin patent haklarını aldığı için sorgulanmaktadır. **HYATT'**ın şirketi, taraklardan ve saç fırçalarından çatal bıçak saplarına, hatta diş protezlerine kadar her şeyi üreterek, selüloit plastikten çok para kazanmaktadır. **HYATT'**ı sorgulayan **AVUKAT'**ı tutan kişi, bir yıl önce *Xylonite* adlı benzer bir plastik ürettiğini iddia eden İngiliz mucit Daniel Spill'dir. **HYATT'**ın finansal destekçisi **GENERAL LEFFERTS** büyük ölçüde boş olan mahkeme salonunda en ön sırada oturmuş, iddiaları dinlemektedir.

AVUKAT

Demek, selüloidi şu... bilardo topları için alternatif bir malzeme üretmeye çalışırken keşfettiniz, öyle mi?

HYATT

Evet, öyle. Ahşap topları kaplamak için fildişi etkisi versin diye kolodyum kullanıyordum. Ama sonra kaplamayı katı bir

malzemeye dönüştürebilirsem ahşabı devreden çıkarabileceğimi fark ettim, hatta belki sesi fildişine daha çok benzeyen bir malzeme bile yapabilirdim.

AVUKAT

Sesi fildişine mi benzeyecekti? Sizce de öykünüz biraz zoraki görünmüyor mu?

HYATT

Daha kaç kere anlatmam gerek? Bilardo oynayan kime sorarsanız söyler, topların çarpışırken çıkardığı ses, oyunun keyfinin bir parçasıdır.

AVUKAT

O halde 1869'da Londra'dan Xylonite adlı bir malzeme hakkında bilgi aldığınızı inkâr mı ediyorsunuz? Xylonite birebir aynı süreçten geçerek, birebir aynı malzemeyi... (notlarına başvurur) selüloz nitratı, çözücü olarak (yeniden notlarına başvurur) kâfur kullanmak suretiyle, çok benzer katı bir plastik malzemeye dönüştürür. Sizin kolodyumu selüloit dediğiniz malzemeye dönüştürmenizin anahtarı bu değil miydi? Bunun tamamen tesadüf olduğuna mı inanalım?

HYATT

Hayır! Yani evet. İddiayı kabul etmiyorum. Kesinlikle. (Öfkesinden kızarır) Yöntemi tamamen kendi başıma buldum.

AVUKAT

Mesele sizin bunu kendi başınıza bulup bulmamanız değil, Mr. Hyatt. Siz de iyi biliyorsunuz. Mesele şu ki üretim işinizde kullandığınız anahtar süreci koruyan daha eski tarihli bir patent var, o patent de Londra'dan gelen müvekkilim Mr. Daniel Spill'e ait. Oysa siz müvekkilime para ödemediniz.

HYATT

Daniel Spill, ha! O mucit falan değildir, fırsatçının tekidir. İş adamıdır, hem de kötü bir iş adamıdır! Tüm fikirlerini Alexander Parkes'tan aldı. Parkes gerçek bir bilim adamıdır, Parkesine'i o icat etti. Spill ise Parkes'ı kopyaladı. Şimdi de benim dürüst çalışmalarımdan para koparmak istiyor. (Yargıca döner, yargıç ise pek oralı değildir.) Bu tam bir rezalet, sayın yargıç.

AVUKAT

Şimdi de, Alexander Parkes'ın icadından haberdarken, her nasılsa Mr. Daniel Spill'in icadından tamamen bihaber olduğunuza inanmamızı mı bekliyorsunuz?

HYATT

Spill'in hangi icadı? Onun malzemesi işe yaramıyor ki! Eğer birtakım teknik meseleler yüzünden ben selüloidin patent haklarını alamıyorsam o halde Spill hiç alamaz. İlk

plastiği yapan Alexander Parkes'tır. 1862'de. Bunu herkes biliyor. Parkes sadece icadından doğru sonucu alamadı. Ama ben aldım, üstelik bunu Daniel Spill gibi kopya çekmeden, sistematik deneylerle, kendi çalışmamla yaptım. (Yargıca döner, yargıç ise sıkılmış gibidir, cep saatiyle oynamaktadır.) Ben yalnızca finansal parazitlere yem olmadan işimi yürütmek istiyorum!

LEFFERTS baştan sona dikkatle dinlemiştir ama **HYATT** Parkesine malzemesini bildiğini itiraf edince, **LEFFERTS** bir süre önüne bakıp bir şey düşünür, ardından ayağa kalkıp salonu terk eder.

4. sahne için notlar.

Daha önce plastik benzeri maddeler bulunmasına karşın, kalıplanabilir ilk ticari plastik olarak geniş kitlelerce tanınan, selüloittir. 1862 Uluslararası Londra Sergisi'nde İngiliz metalurjist Alexander Parkes çok ilginç bir maddeyi dünyaya tanıttı. Bitkisel malzemeden yapılan bu madde aynı zamanda sert, saydam ve plastikti. Parkes malzemeye Parkesine diyordu. Parkes da kafasını plastik potansiyeli gördüğü kolodyuma takmıştı ama nitroselülozu kalıplanabilir bir malzemeye dönüştürecek uygun bir çözücü bulmayı başaramamıştı. İşin sırrını, ağaçtan elde edilen kötü kokulu bir sakızı, yani kâfuruyu kullanan Hyatt buldu. Hyatt kâfuru sayesinde selüloitten uygun fiyatlı plastik bir malzeme üretebildi.

O sıralarda İngiltere'de Daniel Spill, Parkes sürecini yeniden

canlandırmış, birkaç patente daha başvurmuş ve Xylonite denen benzer bir plastiği piyasaya sürmüştü. Xylonite ticari açıdan başarısızlığa uğrasa da Daniel Spill kâfuruyu söz konusu süreçte bir çözücü olarak kullanma patentini önceden aldığı iddiasıyla Hyatt'ı dava etmeye karar verdi. Daniel Spill ile aralarındaki patent tartışması Hyatt'ın işletmesini kapanmanın eşiğine getirdi. Yargıcın Spill'in de, Hyatt'ın da nitroselüloz plastiğinde patent hakkı iddia edemeyeceğine karar vermesi ise tüm plastik endüstrisinde dev bir rekabet ve yenilik çağını açtı.

5. SAHNE

İÇ MEKÂN: GENÇ MARY LOUISE'İN ODASI, BOULDER KENTİ, COLORADO.

Başarılı bir iş kadını olan **MARY LOUISE**, kentteki tek mağazanın sahibesidir. **BILL** ile konuşurken aynanın önünde oturmuş, saçını tarayıp mücevherlerini deneyerek akşama hazırlanmaktadır.

MARY LOUISE

Of, Bill, benimle yalnızca param için evlenmek istiyorsun. Böylece rahat rahat gezilerine devam edebileceksin. Neler karıştırdığını biliyorum.

BILL

New York'ta iş yaptığım bir adam var ama icabına bakar bakmaz geri döneceğim.

MARY LOUISE

(Güler) Demek doğruymuş! Ben evlenirsem aşk için evlenmek isterim, Bill. Caddede kol kola yürümek isterim. Atlı arabayı çıkartıp Orchard Creek'te pikniğe gitmek isterim, elinden üzüm yemek isterim... (bu düşünce üzerine kıkır kıkır güler.)

BILL

Piknik mi?

MARY LOUISE

Evet, Bill, piknik. Kendimi saygın ve özgür hissetmek istiyorum, evlilikten beklentim bu. Bir de dişçiye gitmeni istiyorum. Dişsiz biriyle hayatta evlenmem, orası kesin.

MARY LOUISE farklı farklı kolyeler dener. Öfkeyle ayağa kalkan **BILL**, kaba bir hareketle **MARY LOUISE**'in elinden kolyeleri kaptığı gibi odanın köşesine fırlatır.

BILL

Bu ıvır zıvırla ne diye uğraşıyorsun?

MARY LOUISE

Bill! Yeter. Ne zaman ciddi konuşsak böyle yapıyorsun.

BILL

Alt tarafı plastik, Mary Louise, plastik. Gerçek mücevher değil, zaten sen de gerçek bir

hanımefendi değilsin. Sahte bir insana sahte mücevherler!

MARY LOUISE

En azından benim arzularım var, Bill ve de standartlarım! Eğer teklifini ciddiye almamı istiyorsan senden ne beklediğimi biliyorsun...

5. sahne için notlar

Selüloit sektörü 1870'lerde patladı ve malzemeye envaiçeşit şekil, renk ve doku verildi. En önemlisi, bu malzemenin fildişi, abanoz, bağa ve sedef gibi çok daha pahalı malzemelere bir hayli benzetilebilmesiydi ve o yüzden plastiğin ilk formları en çok bu işlerde kullanıldı. Üretiminin nispeten ucuz olması, giderek büyüyen ve zenginlerin maddi servetini arzulayan ama buna parası yetmeyen orta sınıfa türlü türlü plastik tarak, kolye ve inci satarak, büyük kazançlar sağlanmasını mümkün kılıyordu.

6. SAHNE

İÇ MEKÂN: BİR DİŞÇİNİN MUAYENEHANESİ.

Tahta kaplı sade bir odanın ortasında büyük bir koltuk ve üzerinde sıra sıra metal aletler bulunan birkaç masa vardır. Duvarda **HAROLD CLAY BOLTON**'un 1865'te Cincinnati Diş Hekimliği Okulu'ndan mezun olduğunu belirten bir diploma asılıdır. Odada tek bir pencere vardır, o da fundalık bir araziye bakar. Yaz ortasıdır, hava nemli ve sıcaktır.

DİŞÇİ

Bayım, lütfen gömleğinizi çıkarın, sonra da şuraya oturup gevşeyin. (Dişçi koltuğunu işaret eder.)

BILL

(Gömleğini çıkarmadan oturur.) Bu iş ne kadara patlayacak?

DİŞÇİ

Henüz bilmiyorum. Tamamen sizin ihtiyaçlarınıza bağlı.

BILL

Benim dişe ihtiyacım var. Bu kadar basit.

DİŞÇİ

Evet, bayım ama ne tip bir protezin işe yarayacağını anlamak için önce ağzınıza bakmam gerek. Eğer çıkarmazsanız gömleğiniz kirlenebilir, yazık olur.

BILL

Hiçbir şey yapmayacaksınız, yalnızca bakacaksınız, öyle değil mi?

DİŞÇİ

Evet, ama...

BILL

Bakın o halde.

DİŞÇİ

Bu malzemeyle diş etlerinizin bir kalıbını almam gerek. (**BILL**'e toz halindeki Paris alçısını gösterir.) Sonra, fazladan kaç tane diş gerekeceğine bağlı olarak, kauçuk veya şu yeni malzemeyi kullanabilirim. Çok ilginç bir malzeme, ağzınıza cuk oturur.

BILL

Umurumda değil. İşe yarasın, yeter.

DİŞÇİ

Bu yeni selüloit kesin işe yarar. O kadar kolay şekil alıyor ki, mucize gibi, hatta...

BILL

Ne?

DİŞÇİ

Selüloit. Çok yeni, çok modern, son derece yumuşak ama aynı zamanda... sert, anlıyorsunuz ya. Bizim iş için ideal. Herkes kullanıyor (**BILL**'in kızmaya başladığını fark ederek, duraklar.) Bayım? Yanlış bir şey mi söyledim?

BILL

Hay Tanrı'nın belası! Şu kahrolasından kurtuluş yok!

DİŞÇİ

Ama bayım, plastik gerçekten çok iyi bir maddedir, ağza cuk oturur... (ayağa kalkıp

kapıya doğru yürüyen **BILL**'in peşinden gider)
Bayım, hiçbir şey anlamadım, sorun nedir?
(Elini **BILL**'in koluna koyar.)

Öfkeyle kolunu çeken **BILL**, silahını çıkartıp **DİŞÇİ**'ye doğrultur.

BILL

Sorunun ne olduğunu söyleyeyim, sorun sizsiniz! (Silahını araç gereçlere ve dişçi malzemelerine doğru sallayarak) Tüm sorun sizsiniz!

6. sahne için notlar

Tuhaftır, Hyatt plastik diş protezleri üreterek bir selüloit pazarı kurmaya çalışmıştı ama selüloit, takma diş için kullanılmaya uygun değildi çünkü takma dişler ısıya maruz kalınca çarpıklaşıyordu ve üretimde kullanılan kâfurunun tadını yoğun bir biçimde hissettiriyordu. Gerçi selüloidin rakibi de çok daha iyi değildi, kauçuktan yapılıyordu ve ağızda kükürt tadı bırakıyordu. Diş protezi kullananların çok daha tatmin edici, ağızda tat bırakmayan ve "doğallık" hissi veren akrilik plastiklerle tanışmak için yirminci yüzyıla kadar beklemesi gerekecekti.

7. SAHNE

İÇ MEKÂN: HYATT'IN OFİSİ, NEW YORK.

Fotoğraf makinesi üreticisi **GEORGE EASTMAN, HYATT**'ı görmek için ofisine gelmiştir. Ofis **HYATT**'ın selüloit fabrikasının ikinci katında camlı bir bölmedir.

HYATT

...Bence sizin ahşap kutularınızdan daha iyi bir fotoğraf makinesi gövdesi üretebiliriz, bizimki tek parça olacağı için ışığı çok daha az geçirir, üstelik metal eşdeğerlerinden çok daha hafif olur.

EASTMAN

Buraya makineler hakkında konuşmaya gelmedim.

HYATT

Öyle mi?

EASTMAN

Öyle. (**EASTMAN** bir süre konuşmaz. Arkası **HYATT**'a dönük, aşağıdaki fabrikada süregelen işlemleri izler.) Selüloidi ne kadar inceltebilirsiniz?

HYATT

İnceltmek mi? Ben bu işe nesneleri kaplamakla başladım, eğer kast ettiğiniz buysa.

EASTMAN

(**HYATT**'a doğru döner, bir konuda kararını verdiği halinden bellidir.) Fotoğraf plakaları hakkında ne biliyorsunuz?

HYATT

Fazla bir şey değil... Camdan yapılıyorlar, değil mi?

EASTMAN

Evet, doğru: Işığa duyarlı bir jelle kaplanmış camdan yapılırlar.

HYATT

Yani... o jelin yerine selüloit mi kullanmak istiyorsunuz?

EASTMAN

(Hınzır bir ifadeyle) Selüloidi camın yerine kullanmak istiyorum.

HYATT

(Nedenini kestirmeye çalışarak) Hım... fotoğraf plakalarının kırılması zorlaşsın diye mi?

EASTMAN

Bir fotoğrafçının gereken diğer araç gereçlerle birlikte kaç tane cam plaka taşıyabileceğini biliyor musunuz?

HYATT başını iki yana sallar.

EASTMAN

On, bilemediniz on beş. Hepsini birlikte taşımak o kadar zordur ki resmen bir yük hayvanı tutmanız gerekir. Ya da hiç değilse yanınıza bir iki uşak almanız gerekir; çok pahalı bir iştir, tam zengin işidir.

HYATT

Sizce plastik fotoğraf plakaları işi ucuzlaştırır mı?

EASTMAN

Ben fotoğrafçılığı herkesin yapabileceği bir şey haline getirmek istiyorum. Hem ucuz hem kolay olsun ki mesela bir doğum günü partisine giderken fotoğraf makinenizi yanınıza alabilin. Veya pikniğe giderken, tatile çıkarken ya da...

HYATT

Plaja giderken!

EASTMAN

Evet! Bunu başarmak için makineyi küçültüp hafifletmemiz gerek. Ama en önemlisi, ağır cam plakalardan kurtulmamız şart. (Ciddiyetle **HYATT**'a bakarak) Ben böyle bir fotoğraf makinesi geliştirdim. İşin sırrı fotoğraf emülsiyonunu uzun ve esnek bir şeride sürmekte. Böylece tomar haline getirilmiş yirmi otuz fotoğraf küçük, silindir bir

kutuya sığabiliyor. Ben buna Kodak fotoğraf makinesi diyorum, herkesin bütçesine de uyacak. Fotoğrafçılığı tüm dünyanın hizmetine sunacağım!

HYATT

Peki, şu esnek şerit... Bu teknolojiye sahip misiniz?

EASTMAN

Aslında hayır. Kâğıt kullandık ama pek işe yaramadı.

HYATT

Ne yani, kâğıt yerine selüloit mi kullanmak istiyorsunuz?

EASTMAN

Mümkün müdür?

7. sahne için notlar

Hem saydam hem de kimyasal açıdan atıl olan cam, fotoğraf plakaları için mükemmel bir malzemeydi. Ama ağırlığı, zahmetli olması ve pahalılığı yüzünden, fotoğrafçılığı meslek mensupları ve zenginlerle sınırlıyordu. George Eastman'ın cam plakalara alternatif olarak geliştirdiği selüloit filmler, fotoğraf devrimi için kompakt Kodak fotoğraf makinelerini icadı kadar önemliydi. Eastman cam plakalardan tomar haline getirilebilen esnek selüloit filmlere geçerek, fotoğraf makinelerini bir hayli küçülttü, hafifletti ve ucuzlattı. Fotoğrafçılığı kitlelerin

hizmetine soktu, ayrıca fotoğraf makinesini taşınabilir ve gayri resmi kullanılacak kadar ucuz hale getirerek, fotoğraf aracılığıyla aile anılarını paylaşmanın yeni bir yolunu yarattı. Artık teknoloji yerini büyük ölçüde dijital teknolojilere bıraktığından, bir film rulosu almanın bile çoğumuz için istisna haline geldiği bir çağda yaşıyoruz. Buna karşın, selüloit fotoğraf filminin icadı, görsel kültürde bir dönüm noktasıydı.

8. SAHNE

İÇ MEKÂN: HYATT'IN OFİSİ, NEW YORK. BİRKAÇ YIL SONRA.

Saat gece yarısını geçmiştir. Üst kattaki **HYATT**'ın ofisi dışında, fabrikanın tüm ışıkları kapalıdır. **HYATT** ofisinde tuhaf bir cihazla oynamaktadır. Bir ses duyunca, başını kaldırır.

HYATT

Kim o? (**HYATT** işine geri döner ama sonra bir ses daha duyar.) Hey? Orada biri mi var? Sen misin, Betty?

Ofis kapısının kolu yavaşça çevrilir, ardından kapı açılır. Bir an ortalıkta kimse görünmez ama ardından karanlıklar içinde **BILL**'in silueti belirir. Sarhoştur.

BILL

Vay, kimler varmış burada?

HYATT

Sen de kimsin? Gece bekçisi mi? Lütfen dışarı çık, beni de bir daha rahatsız etme.

BILL

Hayır, gece bekçisi değilim ama ben de bekledim, seni bekledim.

HYATT

O da ne demek? Çık dışarı. (Ayağa kalkar) Çık dışarı dedim, duymuyor musun?

BILL

Hayır, sen bana emir veremezsin. Aslına bakarsan, burada emirleri ben veririm. (Silahını çıkarıp, **HYATT**'a doğrultur.) Otur.

HYATT

İstediğin paraysa burada tek kuruş yok. Hepsi bankada. Her gün bankaya götürülüyor.

BILL

OTUR, dedim.

HYATT

Kimsin sen?

BILL

Sen benim erkek kardeşimi öldürdün. Ben de iyiliğine karşılık olarak, seni öldüreyim dedim. Adil görünüyor, değil mi? Bu durumda ben senin... infazcın oluyorum.

HYATT

Sen neden söz ediyorsun? Ben ömrümde kimseyi öldürmedim. Bir yanlışlık olmalı.

BILL

Yanlışlık falan yok. Kardeşimi öldüren bilardo toplarını sen yaptın. İzini sürmem biraz zaman aldı, kardeşim vurulalı on yıl falan oluyor... Ama şimdi buradayım işte.

HYATT

Evet, birinin barda benim yeni toplarımla bilardo oynarken vurulduğunu duymuştum ama olanlar bir kazaydı. Benim suçum değildi. Orada bile değildim!

BILL

Senin suçundu! Her şey senin suçun. KAPA ÇENENİ! Tüm bu saçmalığa bir son vereceğim. (Fabrikayı işaret eder) Bu, doğaya aykırı, kardeşim o yüzden öldü. Doğanın işine karıştın... aptal plastik malzemeni her yere soktun, insanları plastiğin fildişi gibi değerli olduğuna inandırdın, kadınların incik boncuk sevdasından para kazandın, herkesi aptal yerine koydun. Ben hariç. O aptal plastik dişlerinle beni enayi yerine koyamazsın. Biri buna bir son vermeli, o da ben olacağım.

HYATT

Lütfen! Lütfen, beni öldürme. N'olur, dinle.

Lütfen. O malzeme, o senin nefret ettiğin plastik yakında sana ve hemcinslerine başkalarına yaptığından çok daha fazlasını yapacak. Yaşam biçiminizi ölümsüzleştirecek. Hatta seni bir tanrıya bile dönüştürebilir... Ben bunu gördüm!

BILL

Ne diyorsun sen? Yine bir sürü zırva!

HYATT

Plastiği fotoğrafa duyarlı hale getirme sorunu çözüldü! Hareketli resimleri diyorum, görmedin mi? Gümüş ekranda anlatılan öyküler. Senin gibi kahramanlar, kovboylar savaşıyor, Batı'yı kurtarıyorlar! Kentlerdeki herkes onları izlemek için kuyruk oluyor. Her şey bu olağanüstü esnek saydam malzemenin sayesinde; bu iş başka şeyle başarılamazdı. Öykü anlatımı bir daha asla aynı olmayacak. Bak, burada bir film makinesi var, ben de filmi içine yerleştirmeye çalışıyordum. Gel, göstereyim.

BILL

Hayır, saçmalık, hepsi...

BILL'in arkasında bir ışık belirir, birinin ayak sesleri duyulur. **GECE BEKÇİSİ** görünür, elinde bir fener vardır.

GECE BEKÇİSİ

Her şey yolunda mı, Mr. Hyatt? Bağrışmalar duydum.

BILL koşarak kaçar, kaçarken de **GECE BEKÇİSİ**'ni yere devirir. Yere düşen fener kırılır, çıplak alev bir köşeye atılmış selüloit filme sıçrar, film alev alır. **HYATT** ile **GECE BEKÇİSİ** ateşi söndürmeye çalışırlar ama masaların üstünde ve yandaki kutularda o kadar çok yanıcı selüloit malzemesi vardır ki alevler bir anda kontrolden çıkar. **HYATT** ile **GECE BEKÇİSİ** kaçmayı başarırlar ve koca fabrika yanıp kül olurken çaresizce yol kenarında izlerler.

8. sahne için notlar

Selüloit plastik kullanılarak icat edilen film rulosu doğrudan sinema filmleri teknolojisinin kapısını açtı. Görüntüdeki ufak tefek değişiklikleri peş peşe göstererek bir resmin "hareketlendirilebileceği" yüzlerce yıldır biliniyordu ama esnek ve saydam bir malzeme olmaksızın bu işi başarmanın tek yolu, bir zoetrop silindirini döndürmekti. Selüloit her şeyi değiştirdi, bir fotoğraf sekansının bir film rulosuna alınmasını, ardından da hızla geri sarılarak fotoğrafın hareket ediyormuş gibi görünmesini sağladı. İcat, zoetroptan daha uzun bir hareket sekansı sunmakla kalmıyor, aynı zamanda hareketli görüntünün yansıtılmasına olanak vererek bir salon dolusu izleyicinin aynı deneyimi paylaşmasını sağlıyordu. Lumière kardeşlerin hikmetinin temelinde yatan ve sinemanın kuruluşuna ön ayak olan buydu.



Butch Cassidy'nin liderliğindeki tren soyguncularından oluşan meşhur Wild Bunch çetesinin bu fotoğrafı 1900'de Teksas, Fort Worth'te çekildi. Çetenin icraatları Amerikan Vahşi Batısı hakkındaki düşüncelerimizin tipik bir örneğidir; tren, araba, uçak ve elbette plastik gibi bin bir türlü modern teknolojinin geliştiği, bir yandan da kanun kaçaklarının ve şiddetin kol gezdiği bir dönemdir bu. Başrollerini Butch Cassidy rolüyle Paul Newman ve Sundance Kid rolüyle Robert Redford'un paylaştığı, 1969 yapımı sinema filmi olmasaydı, hiç kuşkusuz Wild Bunch çetesinin icraatları unutulup gidecekti. Ham selüloit filme çekilen film, çoğu western filmi gibi, kendisinden çok önceki bir yaşam biçimini ölümsüzleştirir (ve romantikleştirir).

Selüloitten sonra yapılan bakalit, naylon, vinil ve silikon gibi plastikler de selüloidin yaratıcı gücüne dayanıyordu ve kültürel ruhumuzda etkileri büyük oldu. Kalıba dökülerek biçimlendirilebilen bakalit telefonun, radyonun ve televizyonun icat edildiği ve bu yeni icatların modernliğini somutlaştıracak yeni bir malzemeye gerek duyulduğu bir dönemde, ahşabın yerini aldı. Parlaklığı ve kayganlığı sayesinde moda endüstrisini ele geçiren naylon, kadın çorapları yapımında ipeğin yerini aldı, sonra da

yeni bir kumaş ailesi kurdu; likra ve PVC gibi üyeleri bulunan bu aile ve "elastomerler" adıyla bilinen bir malzemeler grubu olmasa, kıyafetlerimiz üstümüzde çuval gibi durur, pantolonlarımız belimizden düşerdi. Vinil müziği, müziği kaydediş ve dinleyiş biçimimizi değiştirirken rock yıldızlarını da yarattı. Silikon ise... Plastik cerrahiyle hayalleri gerçek kıldı.

Plastikler olmasa ne *Sonsuz Ölüm* (ve diğer filmler) ne sinema seansları ne de sinemanın kendisi olurdu. Hatta görsel kültürümüz bile son derece farklı olurdu. O yüzden plastik ambalajların her yerde kullanılmasına bayılmasam da umarım bir şeyi gösterebilmişimdir: Plastik bir şekerleme paketinin kendini güvende hissedebileceği bir yer varsa orası kesinlikle sinema salonudur.

SON.

7. Görünmez



2001'de İspanya'nın kırsal Endülüs yollarında gezerken, büyüleyici bir görselliğin etkisi altında kaldım. Arabamla bölgenin çok sayıdaki zeytinliklerinden geçiyordum. Yol kenarındaki sıra sıra ağaçlar hızla geride kalırken, eski bir sessiz film gibi titreşip

hareketlenerek tekrar tekrar tam hizaya giren korular gözüme ilişti. Eski zamanlardan kalma zeytin ağaçları, yolculuğun yapış yapış sıcağından ve sıkıcılığından kurtulayım diye bir sihirbazlık gösterisi yapıyordu sanki. Sonsuza dek uzanıyormuş gibi görünen ağaç sıralarının bu anlık görüntüleri bağımlılık yapıcıydı. Bir yola bakıyordum, bir gösteriye, bir yola, bir gösteriye, derken bir traktöre çarptım.

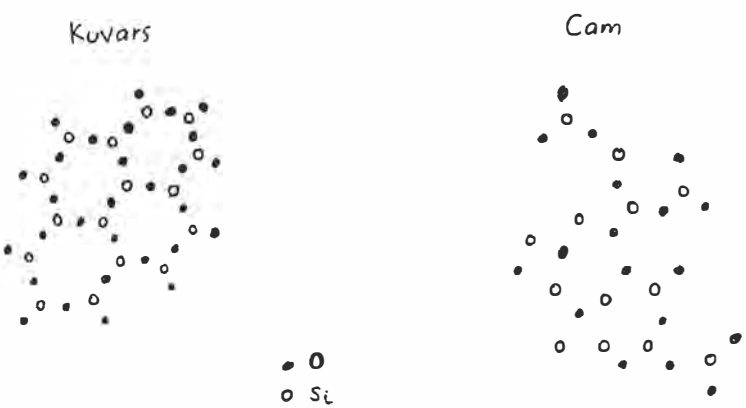
Bugün hâlâ o traktörün karşıma nasıl çıktığını bilmem. Frenlere asılınca, ön camdan dışarı fırladım. Koltuğumdan fırlayıp cama çarparken camla temas ettiğim anı hatırlıyorum. Cam çatlarken aramızdaki o beklenmedik, mahrem anın donmuş görüntüsü gözümün önünde: Saydam zencefilli kurabiyelerden bir duvara çarpmış gibiydim.

Kum rüzgâr, dalgalar ve taşların maruz kaldığı diğer aşındırıcı ve yıpratıcı etkiler sonucunda büyük kayalardan kopan küçük taş parçacıklarından oluşur. Bir avuç kuma yakından bakarsanız, birçok taş parçacığının silikon dioksitin kristal bir formu olan kuvarstan oluştuğunu görürsünüz. Yeryüzünde çok miktarda kuvars vardır çünkü yerkabuğunda en bol bulunan iki kimyasal element oksijen ile silikondur ve onlar da birbiriyle tepkimeye girerek silikon dioksit moleküllerini oluşturur (SiO_2). Bir kuvars kristali bu SiO_2 moleküllerinin düzgün diziliminden ibarettir, aynı şekilde bir buz kristali H_2O moleküllerinin veya demir, demir atomlarının düzgün dizilimidir.

Kuvarsın ısıtılması SiO_2 moleküllerine enerji vererek titreşmelerine yol açar ama sıcaklık belli bir dereceye ulaşana kadar, moleküllerin komşularıyla arasındaki bağları koparacak enerjisi olmaz. Katı bir madde olmanın özü budur. Ama molekülleri ısıtmaya devam ederseniz titreşimleri önünde sonunda kritik bir değere, yani erime noktasına varır. Bu noktada o bağları koparacak enerjiye kavuşan moleküller düzensiz bir biçimde

oradan oraya zıplayarak sıvı SiO_2'ye dönüşür. Buz kristalleri eridiğinde, H_2O molekülleri de aynı şekilde sıvı suya dönüşür. Ama ikisi arasında çok önemli bir fark vardır.

Sıvı su yeniden soğutulunca, hepimizin bildiği üzere, kristaller kolayca biçim değiştirerek yeniden buza dönüşür. Hatta bunun önüne geçmek neredeyse imkânsızdır: Buzluğunuzu tıkayan buzdan tutun, dağları kaplayan kara kadar hepsi yeniden donarak buz kristallerine dönüşen sıvı sudan oluşur. Kar tanelerinin zarif desenlerini oluşturan, H_2O moleküllerinin simetrik yapısıdır. Suyu tekrar tekrar eritip dondursanız dahi kristaller yeniden şekillenir. SiO_2'de durum farklıdır. Bu sıvı soğuyunca, SiO_2 molekülleri yeniden bir kristal oluşturmakta zorlanır. Sanki bu işin nasıl yapıldığını bir türlü hatırlayamazlarmış, hangi molekülün nereye gideceğini, sıranın kimde olduğunu çözmek zor geliyormuş gibidir. Sıvı soğudukça, SiO_2 moleküllerinin enerjisi gittikçe azalarak moleküllerin hareket etme imkânını kısıtlar ve bu da sorunu tetikler: Moleküllerin kristal yapıda doğru yeri alması iyice zorlaşır. Sonuçta düzensiz bir sıvının moleküler yapısına sahip, katı bir malzeme meydana gelir: cam.



Silikanın kristal formu olan bir kuvars kristali ile camın amorf yapısı arasındaki bir fark.

Cam elde etmenin yolu kristal oluşturmayı başaramamaktan geçtiğine göre, bu işin bir hayli kolay gerçekleştiğini düşünmüşsünüzdür. Ama kolay değildir. Bir çölün kumlarında ateş yakarsanız ve ateşi körükleyecek kadar rüzgâr varsa sıcaklığı belli bir noktaya getirerek kumu eritip yarı saydam, yapışkan bir sıvıya dönüştürmeyi başarabilirsiniz. Bu sıvı soğuyunca sertleşir ve gerçekten de cama dönüşür. Ama bu yöntemle yapılan camda muhakkak ki erimemiş bir sürü kum parçacığı bulunacaktır. Rengi kahverengi, dokusu pul pul olacaktır ve üstelik çok geçmeden dağılarak yeniden çöle karışacaktır.

Bu yöntemin iki sorunu vardır. Birincisi, kumda iyi cam yapmak için gereken doğru mineral birleşimi bulunmaz: Kahverengi kimyada meşum bir belirtidir, karışımınızın saf olmadığına işaret eder. Aynı şey boyalar için de geçerlidir: Gelişigüzel renk kombinasyonları saf sonuçlar vermez, bilakis kahverengimsi-gri renkler edersiniz. Adına "eritiş maddeleri" *(fluxes)* denen, sodyum karbonat gibi bazı katkı maddeleri cam oluşumunu desteklerken, bazıları desteklemez. Ne yazık ki büyük ölçüde kuvarstan oluşmasına karşın, kumun içeriğinde aynı zamanda rüzgârın getirdikleri de vardır. İkinci sorun ise şudur: Kumda doğru kimyasal bileşim bulunsa bile kumun erimesi için gereken sıcaklık 1200°C civarıdır ki bu da genelde 700-800°C aralığında seyreden normal ateşten çok daha sıcaktır.

Ama yıldırım düşmesi işe yarar. Bir yıldırım çöle düşünce 10.000°C'yi aşan sıcaklıklar meydana getirir, bu da kumu kolayca eriterek fulgurit (yıldırım taşı) denen cam sütunları oluşturacak kadar yüksek bir sıcaklıktır. Yanık maddeden oluşan bu cam direkler bir yıldırım tanrısının, örneğin İskandinav tanrısı Thor'un, öfkeyle fırlattığı söylenen yıldırımlara esrarengiz bir şekilde benzer. Zaten sözcük Latincede yıldırım anlamına gelen *fulgur*'dan gelir. Fulguritler şaşırtıcı derecede hafiftirler çünkü içleri boştur. Dış kısmı pürüzlüdür ancak yıldırımın karşısına



Libya çölünde bulunan fulguritler.

çıkan ilk kumu buharlaştırması sırasında oluşan iç kısmı pürüzsüz, kof bir borudur. Isı bu giriş deliğinden dışarı çıkarken, kumu eriterek boruya pürüzsüz bir kaplama sağlar. Dışarıdaki sıcaklıklar ise ancak kum parçacıklarını eritip oldukça pürüzlü bir hale getirecek yüksekliktedir. Fulguritlerin renkleri meydana geldikleri kum bileşimini yansıttığından, gri-siyahtan tutun, eğer bir kuvars çölünde oluşmuşlarsa yarı saydama kadar çeşitlilik gösterir. Uzunluğu on beş metreyi bulabilen fulguritler, gövdelerinin büyük bir kısmı hafif erimiş kumdan meydana geldiğinden, kırılgandır. Yakın bir zamana kadar fulguritler yalnızca merak uyandıran, acayip nesneler olarak görülüyordu. Ancak oluşurken içlerinde hava kabarcıkları kaldığı için eski çağlardan kalma fulguritler küresel ısınmayı araştıran bilim insanlarına geçmiş dönemlerdeki çöl iklimlerinin kullanışlı bir kaydını sunar.

Libya çölünün bir kısmında neredeyse tamamen kuvarstan ibaret olağanüstü beyazlıkta kumlardan oluşan bir bölge vardır. Çölün bu kısmını araştırırsanız pejmürde fulguritlere hiç benzemeyen, modern camların mücevherimsi berraklığına sahip

nadir bir cam formu bulabilirsiniz. Tutankhamon'un mumyasında bulunan dekoratif bokböceğinin en önemli kısmını bu çöl camından bir parça oluşturmaktadır. O camı Eski Mısırlıların yapmadığını biliyoruz çünkü kısa bir süre önce yaşının 26 milyon olduğu saptandı. Söz konusu cama benzediğini bildiğimiz tek cam, 1945'te New Mexico, White Sands'teki Trinity nükleer bomba test alanında oluşan Trinitite camıdır. Libya çölünde 26 milyon yıl önce nükleer bomba bulunmadığı düşünülürse mevcut teori, optik açıdan bu kadar saf bir camın oluşması için gereken aşırı yüksek sıcaklıkların yüksek enerjili bir göktaşı darbesinden kaynaklandığı yönündedir.



Tutankhamon'un mumyasında bulunan dekoratif bokböceği ve ortasındaki çöl taşı.

Peki, o halde göktaşı çarpmasının ve nükleer patlamaların yardımı olmaksızın pencerelerimizden, gözlüklerimizden ve bardaklarımızdan tanıdığımız camı nasıl yaparız?

Mısırlılar ve Yunanlar cam yapımında ilerleme kaydetmişti ama camı gerçek anlamda günlük yaşama sokan Romalılardı. "Eritiş maddesinin" (Romalılar sodyum karbonatın doğada bulunan bir biçimi olan natron adlı mineral gübreyi kullanıyordu)

yararlı etkilerini keşfeden Romalılardı. Natron kullanarak saf kuvarsı eritmek için gerekenden çok daha düşük sıcaklıklarda saydam cam yapabiliyorlardı. Yüksek sıcaklıktaki fırınlar için doğru hammaddenin ve yakıtın bulunduğu birkaç yerde dökme cam üretiyorlar, ardından geniş ticaret altyapıları sayesinde Roma İmparatorluğu'nun dört bir yanına naklettikleri dökme camları, cam eşyalar yapacak yöresel zanaatkârlara ulaştırıyorlardı. Burada devrim niteliğinde bir şey yoktu, her şey daha önce de yapılmıştı ama Romalılar, Plinius'a göre, camı ucuzlatarak sıradan vatandaşların kullanıma sundu.

Romalıların bir malzeme olarak camı ne kadar sevdiklerinin belki de en iyi göstergesi, cam için büyük bir yaratıcılıkla yeni kullanım alanları bulmalarıdır. Örneğin, pencere camını icat ettiler. Romalılardan önce pencereler rüzgâra açıktı (İngilizce pencere [*window*] sözcüğü 'rüzgâr gözü' [*wind eye*] anlamına gelir). Gerçi şiddetli rüzgâra ve yağmura karşı kumaş perdeler veya ahşap panjurlar kullanıldığı olurdu ama saydam bir malzemenin tam bir koruma sağlayabileceği düşüncesi bir devrim niteliğindeydi. Elbette ellerinde büyük cam levhalar yapacak teknoloji bulunmadığından, Romalıların cam pencereleri küçüktü ve kurşunla birbirine tutturuluyordu ama bugün hâlâ devam eden camı mimaride kullanma takıntımızı Romalılar başlatmıştır.

Saydam camın ortaya çıkışına kadar aynalar iyice parlatılmış, metal yüzeylerden ibaretti. Romalılar bir tabaka saydam cam eklemenin bu metal yüzeyleri hem çiziklerden ve pastan koruduğunu, hem de metal yüzeyin kalınlığını bir milimetreye indirme olanağı sunduğunu fark ettiler. Aynanın maliyetini ciddi ölçüde azaltmakla birlikte, verimliliğini ve ömrünü artıran bu uygulama, bugün hâlâ hemen hemen her ayna yapım tekniğinin temelidir.

Romalıların cam teknolojisine getirdiği yenilikler bununla bitmedi. MS 1. yüzyıla kadar cam hemen her zaman eritilip kalıplanarak cam eşya yapımında kullanılıyordu. Bu uygulama

kaba cam eşyalar için yeterliydi ama daha zarif eşyalar yapmak muazzam bir beceri istiyordu. Örneğin, ince çeperli bir şarap kadehi yapmak için ince çukurlu bir kalıp gerekiyordu ama yoğun, yapışkan kıvamlı erimiş camı o kalıba akıtmak zordu. Ancak Romalılar katı camın yeterince ısıtılınca plastik davranışı sergilediğini fark etti. Metal pense kullanarak, fazla soğumasına fırsat vermeden camı her şekle sokabiliyorlardı. Hatta kor halindeyken cama hava üfleyip soğumasını beklediklerinde, kaskatı bir baloncuk elde ediyorlardı. Romalılar cam üfleme tekniğini geliştirerek dünyanın o güne dek hiç görmediği bir zarafet ve incelikte, ince çeperli şarap kadehleri ürettiler.

O zamana kadar içki kapları metal, boynuz veya seramik gibi opak malzemelerden yapılıyordu. Şarap yalnızca tadına bakılarak değerlendiriliyordu. Kadehlerin icadı aynı zamanda şarabın renginin, saydamlığının ve berraklığının da önem kazanması demekti. Biz ne içtiğimizi görmeye alışığız ama saydam bardaklar Romalılar için yeni bir şeydi ve saydam bardakları çok sevdiler.

Roma şarap kadehleri o zamanki teknik ve kültürel zarafetin doruğu olmakla birlikte, modern kadehlere kıyasla kabaydı. Roma kadehlerinin temel sorunu kabarcıklarla dolu olmalarıydı ki bu da yalnızca estetik bir sorun değildi. Kabarcıklar camı ciddi zayıflatıyordu. Bir malzeme, başka bir kadehle tokuşturulmasından tutun kazara yere düşürülmesine kadar türlü şeyden kaynaklanabilen mekanik gerilime her maruz kalışında, kuvveti atomdan atoma yayarak dağıtır, böylece her atomun dağıtması gereken toplam kuvveti azaltır. Üstüne uygulanan kuvvete karşı koyamayan her atom, malzemedeki yerinden çıkarak çatlak oluşmasına yol açacaktır. Nerede bir kabarcık veya çatlak varsa orada atomları yerinde tutan ve kuvveti paylaşan daha az komşu vardır ve dolayısıyla böyle atomlar yerinden çıkmaya daha yatkındır. Bir bardak kırıldığında kırılmanın asıl nedeni, kuvvetin

malzeme içinde zincirleme bir tepkime oluşturacak kadar büyük olması, böylelikle de her atomun çöküşünün komşu atomun çöküşüne yol açmasıdır. Kuvvet ne kadar büyükse zincirleme tepkimeyi tetiklemek için o kadar az kabarcık veya çatlak gerekir. Veya başka türlü söylemek gerekirse, kadehinizdeki büyük kabarcıklar, darbeye fazla karşı koyamayacağını gösterir.

Kaydettikleri bunca gelişmeye karşın Romalılardan sonra cam üretiminin uzunca bir süre rağbet görmemesi, camın son derece kırılgan oluşuyla açıklanabilir. Çinliler cam yapmayı biliyordu, hatta Roma camı alıp satıyorlardı ama kendileri bir cam teknolojisi geliştirmediler. Çinlilerin malzeme teknolojileri konusunda Roma İmparatorluğu'nun çöküşünden sonraki bin yıl boyunca Batı'yı gölgede bırakan üstünlüğü düşünülürse cam işine girmemeleri son derece şaşırtıcıdır. Çinliler kâğıt, ahşap, seramik ve metal konusunda uzmandı ama camı büyük ölçüde ihmal ettiler.

Batı'da ise tam tersine, şarap kadehi modası sayesinde camın gördüğü saygı ve takdir sonunda derin bir kültürel etkiye yol açtı. Avrupa'da, özellikle de daha soğuk olan Kuzey Avrupa'da ışığı geçiren ama doğa olaylarını dışarıda tutan, su geçirmez saydam pencere camları göz ardı edilemeyecek kadar talep gören bir teknolojiydi. Gerçi ilk başta yalnızca kırılmayacak kadar saflığa ve tutarlılığa sahip küçük cam levhalar yapılabiliyordu ama bunlar kurşunla birbirine kenetlenince büyük camlar elde edilebiliyordu. Sırlama sayesinde camlara renk bile verilebiliyordu. Renkli camlar veya vitraylar varsıllığın ve zarafetin bir ifadesi haline gelerek Avrupa katedral mimarisini baştan aşağı değiştirdi. Zamanla katedraller için vitray yapan sanatkârlar, taş ustaları kadar yüksek bir konum kazandılar ve böylece sırlama Avrupa'da yeni bir sanat olarak gelişti.

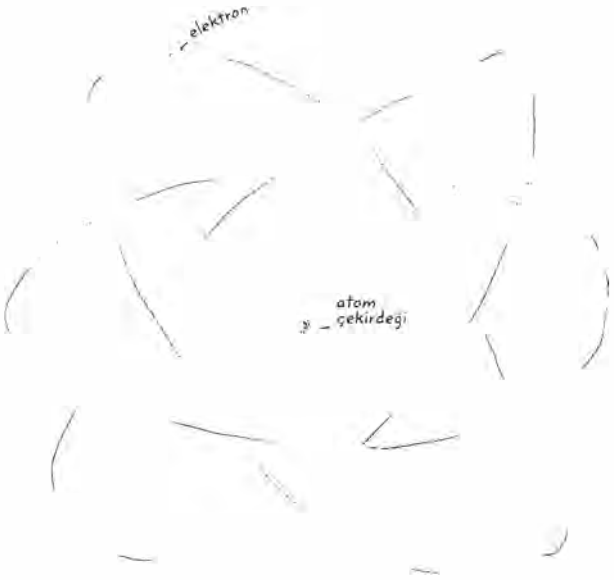
Doğu'nun camı hor görmesi on dokuzuncu yüzyıla kadar devam etti. Japonlar ve Çinliler on dokuzuncu yüzyıla kadar

binalarının pencerelerini yaparken kâğıda güvendiler. Son derece iyi iş gören kâğıt, farklı bir tür mimarinin doğmasına yol açtı. Ama Doğu'daki cam teknolojisi eksikliği yüzünden, teknik alanlardaki gelişmişliklerine karşın teleskobu veya mikroskobu icat edemediler ve Batılı misyonerler getirene kadar o aletleri kullanamadılar. Çinlilerin teknolojik üstünlüklerinden yararlanıp on yedinci yüzyılda Batı'da görüldüğü gibi, bilimsel bir devrim başlatmasını engelleyen, bu çok önemli iki optik cihazın eksikliği miydi, bilmek mümkün değildir. Ama şurası kesindir: Bir teleskobunuz yoksa Jüpiter'in uyduları olduğunu veya Plüton'un varlığını göremezsiniz ya da modern kâinat anlayışımıza zemin oluşturan astronomik ölçümleri yapamazsınız. Benzer şekilde, mikroskop olmadan bakteri gibi hücreleri görmek ve mikroskobik dünyayı sistematik bir biçimde incelemek olanaksızdır ki bunlar, tıbbın ve mühendisliğin gelişimi için elzemdir.

Peki, cam neden bize mucizevi görünen bu saydamlık özelliğine sahiptir? Işık, diğer çoğu malzemeden geçemezken, nasıl olur da bu katı malzemeden geçer? Sonuçta bir avuç kumu oluşturan atomların hepsi camda da bulunur. Bu atomlar neden kum halindeyken opaktır ama cam haline gelince saydamlaşarak ışığı bükebilecek bir yapıya kavuşur?

Cam, silikon ve oksijen atomlarından ve başka birkaç türden oluşur. Her atomun merkezinde, içinde protonlar ve nötronlar bulunan, çevresi çeşitli sayıda elektronlarla sarılı bir çekirdek vardır. Çekirdeğin ve elektronların boyutu atomun boyutuna oranla oldukça küçüktür. Bir atom bir atletizm stadı boyutunda olsaydı çekirdeği merkezdeki bir yerfıstığı, elektronlar ise stadın çevresindeki kum taneleri boyutunda olurdu. O halde tüm atomların hatta tüm maddelerin içinde büyük bir boşluk vardır. Dolayısıyla bir atomun içinde ışığın bir elektrona veya çekirdeğe çarpmadan rahatça ilerleyebileceği kadar yer olması gerektiği varsayılabilir. Gerçekten de öyledir. O halde asıl soru "Cam

neden saydamdır?" değil, "Neden tüm malzemeler saydam değildir?" olmalıdır.



Bir atomun büyük ölçüde boş alandan oluştuğunu gösteren bir çizim.

Benzetmeyi sürdürürsek atomik bir statta elektronların tribünün yalnızca belli kısımlarına oturma izni vardır. Sanki koltukların çoğu kaldırılmış, geriye sadece her bir elektrona özel olarak tahsis edilmiş birtakım koltuk sıraları kalmış gibidir. Eğer bir elektron daha iyi bir sıraya geçmek isterse daha fazla ödemek zorundadır ve para birimi, enerjidir. Işık bir atomdan geçerken bir enerji patlamasına yol açar ve sağlanan enerji miktarı yeterliyse bir elektron o enerjiyi daha iyi bir koltuğa geçmek için kullanır. Bu sırada da ışığı emerek malzemenin öteki tarafına geçmesini engeller.

Ama işin bir püf noktası vardır: Işığın enerjisi, elektronun kendi koltuğundan kalkıp müsait bir sıradaki koltuğa geçmesi

için gereken enerjiye tıpatıp uymak zorundadır. Eğer enerji çok azsa ya da başka bir deyişle eğer bir üst sırada atomun geçebileceği bir koltuk yoksa (yani o koltuklara geçmek için gereken enerji çok fazlaysa) elektron daha iyi bir yere geçemez, böylece ışık da emilmez. Enerji tıpatıp uymadığı sürece, elektronların sıralar (yani enerji düzeyleri) arasında hareket edemediği fikri, atom dünyasına hükmeden kuantum mekaniği adlı teoriye dayanır. Sıralar arasındaki boşluklar belirli enerji miktarlarına, yani kuantumlara denk düşer. Bu kuantumlar camda öyle bir dizilmiştir ki boş bir sıraya geçmek, görünür ışıkta bulunan enerjiden çok daha fazlasını gerektirir. Sonuç itibariyle görünür ışığın, elektronların daha iyi bir koltuğa geçmesini sağlayacak enerjiye sahip olmadığından, doğruca atomların içinden geçmekten başka bir seçeneği kalmaz. Cam bu yüzden saydamdır. Öte yandan, UV ışığı gibi yüksek enerjili ışıklar camdaki elektronları daha iyi koltuklara geçirebilir, o yüzden cam UV ışığında opaklaşır. Camın gerisinde bronzlaşmamanızın nedeni budur, UV ışığı size asla ulaşamaz. Tahta ve taş gibi opak malzemelerde elektronların geçebileceği bir sürü ucuz koltuk bulunduğundan, görünür ışık ve UV kolayca emilir.

Işık cam tarafından emilmese bile bir atomun içinde hareket etmenin etkisini görür; camın öteki tarafından çıkıp yeniden hızlanana kadar hızı kesilir. Eğer ışık cama bir açıyla vurursa ışığın farklı parçaları cama girer ve farklı esnalarda camdan çıkar çünkü anlık olarak farklı hızlarda yolculuk etmek zorunda kalırlar. Işığın bükülmesine, yani "ışık kırılmasına" yol açan bu anlık farklılıktır; bombeli camı sayesinde yüzeyindeki farklı noktalarda farklı kırılma açıları oluşturan optik merceği mümkün kılan da budur. Camın bombesini ayarlamak demek, görüntüleri büyütebilmemiz demektir ve bu da teleskoplar ve mikroskoplar yapmamızı, gözlük takanlarımızın görmesini sağlar.

Hatta belki de daha önemlisi, ışığın kendisini bir deney konusuna dönüştürür. Yüzyıllar boyunca gelmiş geçmiş tüm cam yapımcıları güneş ışığı belirli açılardan vurduğunda, camın duvarda küçük gökkuşakları oluşturduğunu fark etmiştir kuşkusuz. Ama renklerin bir şekilde camın içinde oluştuğunu söyleyerek malumu ilan etmek dışında, 1666'ya kadar olayın nedenini açıklayabilen çıkmadı: 1666'da Isaac Newton o malumun son derece yanlış olduğunu fark ederek gerçek açıklamayı yaptı.

Newton'ın dâhiyane keşfi, bir cam prizmanın "beyaz" ışığı bir renkler karışımına çevirmekle kalmadığını, aynı zamanda tam tersini de yapabildiğini fark etmesiydi. Buradan yola çıkarak bir cam parçasının oluşturduğu tüm renklerin zaten ışığın içinde bulunduğu sonucuna vardı. Güneşten karışık bir ışık demeti halinde yola çıkan renkler, cama vurunca bileşen renklerine ayrılır. Renkler bir su damlasına vurunca da aynı şey yaşanır çünkü su da saydamdır. Newton bir hamlede gökkuşağının temel özelliklerini tarihte ilk kez açıklamayı başarmıştı.

Bir laboratuvar deneyi sayesinde atmosferik bir olguya doyurucu bir açıklama getirmek, bilimsel düşüncenin gücünü gösterdi. Aynı zamanda dünyanın gizemlerini çözme işinde camın laboratuvardaki işbirlikçi rolünü gözler önüne serdi. Camın bu rolü optikle sınırlı değildi. Cam, diğer tüm disiplinlere kıyasla belki de en çok kimyayı değiştirmiştir. Saydamlığının ve atıllığının camı kimyasal maddeleri karıştırıp tepkilerini gözlemlemede birebir kıldığını görmek için herhangi bir kimya laboratuvarına gitmeniz yeter. Cam deney tüpü doğmadan önce kimyasal tepkimeler opak beherglaslarda gerçekleştiğinden, neler olup bittiğini görmek zordu. Cam, özellikle de termal şoka dayanıklı PYREX denen yeni bir cam sayesinde kimya gerçekten sistemli bir disiplin olmaya başladı.

PYREX, karışımına bor oksit eklenmiş bir camdır. Bor oksit de silikon dioksit gibi, kristal oluşturmakta zorlanan bir

moleküldür. Daha da önemlisi, bir katkı maddesi olarak camın ısıtılınca genleşme veya soğuyunca büzülme eğilimini etkisiz kılar. Bir cam parçasının farklı kısımları farklı ısılara maruz kalarak, farklı oranlarda genleşip büzülünce camın farklı kısımları birbirini sıkıştırdığından, malzemenin içinde gerilimler oluşur. Bu gerilimler çatlaklar oluşmasına ve nihayetinde camın parçalanmasına yol açar. Eğer bu durum kaynar sülfürik asit içeren bir kapta gerçekleşirse böyle bir fiyasko sakatlanmaya veya ölüme yol açabilir. Borosilikat camın (PYREX markanın adıdır) keşfedilmesi, ısıl genleşmeye ve ısıl genleşme bağlantılı gerilimlere bir son verdi. Kimyagerlerin deneylerini diledikleri gibi ısıtıp soğutmasına izin vererek, olası termal şok tehlikelerini düşünmeden kimyaya odaklanmalarını sağladı.

Cam aynı zamanda kimyagerlerin laboratuvardan çıkmadan, yalnızca bir hamlaç yardımıyla cam tüpleri bükmesini ve damıtma kapları veya gaz sızdırmaz kaplar gibi karmaşık kimya ekipmanlarını çok daha kolayca yapmasını sağladı. Böylece gazlar toplanabildi, sıvılar denetlendi ve kimyagerler istedikleri kimyasal tepkimeyi gerçekleştirdi. Cam araç gereçler kimyagerlerin dünyasının yük beygirleridir, hatta o kadar ki profesyonel her kimya laboratuvarında daimi bir cam üfleyici bulunur. Bu malzeme kaç Nobel Ödülü'nü mümkün kıldı? Kaç modern icat deney tüpünde doğdu?

Cam teknolojisi ile on yedinci yüzyıl bilim devrimi arasındaki ilişkinin aslında basit bir neden-sonuç ilişkisi olup olmadığı tartışmaya açıktır. Görünüşe göre cam, büyük olasılıkla nedenden çok, gerekli bir koşuldu. Ancak camın Doğu'da bin yıl boyunca büyük ölçüde ihmal edildiğine kuşku yoktur. Bu süre zarfında da cam, Avrupa'nın en kıymetli âdetlerinden birini kökten değiştirdi.

Zenginler yüzlerce yıldır şarabı camdan içerken, on dokuzuncu yüzyıla kadar bira çoğunlukla seramik, kalay veya ahşap

kupalar gibi opak kaplardan içiliyordu. Çoğu kişi içtikleri sıvının rengini göremediğinden, muhtemelen biranın neye benzediği pek önemli değildi, yalnızca tadına bakılıyordu. Biralar çoğunlukla koyu kahverengi ve bulanık kıvamdaydı. Derken 1840'ta, şimdiki Çek Cumhuriyeti'nin Bohemya bölgesinde bir seri cam üretimi yöntemi geliştirilince malzeme o kadar ucuzladı ki bira herkese cam bardakta servis edilebilir oldu. Böylece insanlar ilk kez biralarının neye benzediğini görebildiler ve genelde gördüklerinden hoşlanmadılar: Üst mayalanma denen biraların biradan biraya yalnızca tadı değil, rengi ve berraklığı da değişiyordu. Ancak on yıl geçmeden Pilsen'de alt mayalanma mayası kullanılarak yeni bir bira geliştirildi. Rengi açıktı, berraktı ve altın sarısıydı, şampanya gibi köpüklüydü: Bu bira *lager*dı. Lager ağız kadar gözlerle de içilen bir biraydı, cam bir bardakta sunulmak üzere tasarlanan bu açık altın sarısı biralar, o zamandan beri aynı geleneği sürdürmektedir. Kaderin cilvesi, bugün opak metal kutulardan o kadar çok bira içilmektedir ki eşsiz görünümüyle tanınan yegâne bira, eski cam öncesi gelenekten gelen, opaklığın simgesi olmuş Guinness'tir.

Biranın camda sunulmaya başlamasının beklenmedik bir yan etkisi daha oldu. Birleşik Krallık hükümetine göre, her yıl 5000'den fazla kişi camlı şişeli saldırılara uğruyor, yaralıların cerrahi tedavisi ise sağlık hizmetlerine 2 milyar sterlinden fazlaya mal oluyor. Barlarda ve *pub*larda bira servis etmek için cam yerine hem saydam hem de sert olan pek çok plastik malzeme denendi ama hiçbiri kabul görmedi. Birayı plastik bir bardaktan içmek, camdan içmekten çok farklı bir deneyimdir. Plastiğin yalnızca tadı farklı değildir, ısı iletkenliği de düşüktür ve bu özelliği yüzünden plastik bardaktaki bira cama kıyasla daha sıcak gelir, buz gibi soğuk bira içmenin verdiği keyif azalır. Ayrıca plastik camdan çok daha yumuşaktır, o yüzden plastik bira bardakları çok geçmeden parlaklığını yitirir, çizilir ve matlaşır. Bu

da biranın berraklığını maskelediği gibi, bizim kabın temizliğine dair algımızı da etkiler. Camın en çekici yönlerinden biri, temiz olmasa bile temiz görünmesini sağlayan ışıltılı parlak görünümüdür; kullandığımız bardaktan belki daha bir saat önce bir yabancının içtiğini düşünüp durmamak için hepimizin kabul ettiği, kolektif bir aldatmacadır bu. Çizilmeye direnecek sertlikte plastikler üretmek, malzeme biliminin başlıca amaçlarından biridir. Böyle bir keşif uçaklar, trenler ve arabalar için daha hafif pencerelerin, cep telefonları içinse daha hafif ekranların yapımında kullanılabilir ama şimdilik imkânsız görünüyor. Biz bu sırada soruna başka bir çözüm bulduk: Camın yerine yeni bir şey koymaktansa camı daha güvenli hale getirdik.

Sertleştirilmiş cam denen bu camlar, araba kazalarında cam kırılmasından kaynaklanan kayıpları azaltmak için otomobil endüstrisi tarafından icat edildi. Sertleştirilmiş camın bilimsel kökenleri, 1640'larda Prens Rupert'ın damlası adıyla ünlenen ilginç nesnede bulunur. Prens Rupert'ın damlaları yuvarlak ucu yoğun basınca dayanabilen ama kuyruk kısmına en ufak bir hasar gelirse parçalanan, gözyaşı biçimli cam parçalarıdır. Söz konusu damlaları üretmek çok kolaydır: Tek yapmanız suya bir parça erimiş cam damlatmaktır. Damlacığın dış kısmının anında ve hızla soğuması, camın yüzey katmanlarını mekanik bir baskıya maruz bırakır. Buradaki tüm cam kendi üstüne abanır, sonuç itibariyle çatlakların oluşması çok zorlaşır çünkü basma gerilmesi daima çatlağın iki yanını bir araya gelmeye zorlar. Bunun etkisiyle cam damlanın dış yüzeyi o kadar sertleşir ki inanılmaz gelse de bir çekiç darbesine bir dayanabilir.

Ancak fizik kuralları, camın yüzeyindeki bu basma gerilmesini sürdürmek için camın içinde eşit ve karşıt bir "çekme" gerilmesini gerektirir. Sonuç itibariyle damlanın ortasındaki atomlar yüksek gerilime maruz kalır: Hepsi ayrı yöne çekilir. Söz konusu atomlar esasen gerçekleşmeyi bekleyen küçük bir patlama

gibidirler. Yüzey baskısında en ufak bir dengesizlik görülürse ki damlanın kuyruğunda küçük bir çentik açarak o dengesizlik sağlanabilir, malzemenin içinde zincirleme bir tepkime başlarken, gerilime maruz kalan tüm atomlar bir anda yeniden yerine oturur ve malzeme patlayıp parçalara ayrılır. Cam parçaları hâlâ kesecek kadar keskindir ama ciddi bir zarar veremeyecek kadar da küçüktür. Araba ön camlarının benzer bir davranış sergilemesini sağlamak, camın dış yüzeyini Prens Rupert'ın damlalarının maruz kaldığı baskı haline sokacak kadar hızlı soğutmanın bir yolunu bulmaya bakıyordu. Ortaya çıkan malzeme araba kazalarında sayısız can kurtarmıştır çünkü karakteristik özelliği, kaza anında milyonlarca küçük parçaya ayrılmasıdır.

Yıllar içinde cam daha da güvenli bir hale getirildi. İspanya'da çarptığım ön cam, adına lamine cam denen son kuşak güvenli camdan yapılmıştı. Bunu biliyordum çünkü cam Prens Rupert'ın damlaları gibi parçalara ayrılmakla birlikte, arabanın kaputundan asfalta uzanan yolculuğumuz sırasında ön camın parçaları yekpare halde bir arada duruyordu.

Bu yeni kuşak sertleştirilmiş camın ortasında yapıştırıcı davranışı sergileyerek tüm cam kırıklarını bir arada tutan bir plastik katmanı vardır. Lamine olarak bilinen bu katman aynı zamanda kurşungeçirmez camın arkasındaki sırdır; kurşungeçirmez cam da temelde aynı teknolojiden ibarettir ama camın içine belli aralıklarla birkaç kat plastik yerleştirilir. Bu malzemeye bir kurşun isabet ettiğinde, en dıştaki cam katmanı parçalanarak, kurşunun enerjisinin bir kısmını emer ve ucunu köreltir. Kurşun ise cam kırıklarını iterek alttaki plastik katmanına doğru ilerlemek zorunda kalır, o katman da pekmez kıvamında bir akış sergileyerek kurşunun kuvvetini vuruş noktasından daha geniş bir alana yayar. Körelmiş kurşun bu katmandan geçer geçmez yine bir cam katmanıyla karşılaşır, böylece süreç baştan başlar.

Ne kadar çok cam ve plastik katmanı varsa kurşungeçirmez camın emebileceği enerji miktarı o kadar artar. Bir kat lamine cam 9mm kalibrelik bir tabancanın kurşununu, üç kat .44 Magnum kurşununu, sekiz kat ise Kalaşnikoflu birinin sizi öldürmesini engeller. Ama elbette camın öbür tarafını göremeyecekseniz kurşungeçirmez cam taktırmanın pek anlamı yoktur, o yüzden asıl zorluk kat kat malzeme döşemekte değil, ışığın bir katmandan diğerine geçerken gereğinden fazla bükülmesini önlemek için plastiğin kırılma indisini camınkiyle eşleştirmektedir.

İleri teknolojinin bir ürünü olan güvenli lamine camların üretimi pahalıdır ama avantajlarından yararlanmak için gittikçe daha çok gözden çıkardığımız bir bedeldir bu. Giderek camdan saraylara dönüşen güvenli camlar, artık yalnızca arabalarda değil, modern kentlerin dört bir yanında karşımıza çıkmaktadır. 2011'de İngiltere'deki pek çok kent merkezinde ayaklanmalar çıktı. Televizyon kayıtlarını izlerken bu ayaklanmalar ile geçmişte gördüklerim arasındaki bir farka takılmadan edemedim: İsyancılar bazen tuğla fırlatarak dükkân camlarını kırmayı başaramıyordu çünkü çoğu işletme sertleştirilmiş güvenli cama geçmişti. Güvenli cama geçme modası giderek artacak gibi çünkü dükkânlar camı, mallarını yalnızca sergilemek için değil, korumak için de kullanırlar. Yeni güvenli bira bardağı malzemesi olarak önerilen bu güvenli lamine cam, umarım camın barlarda ve *pub*larda bir silah gibi kullanılmasına bir son verecektir.

Bugün modern bir kenti camsız düşünmek mümkün değildir. Bir yandan binalarımızın bizi hava şartlarından korumasını bekleriz ki sonuçta binalar bu iş içindir. Ancak yine de müstakbel yeni eviyle veya işyeriyle karşılaşan insanların sorduğu ilk sorulardan biri şudur: Burası ne kadar günışığı alıyor? Modern

bir kentte her gün yükselen cam binalar bu çelişkili taleplere verilen mühendislik yanıtıdır: Hem rüzgârdan, soğuktan ve yağmurdan, hem de davetsiz misafirlerden ve hırsızlardan korunurken, karanlıkta yaşamak zorunda kalmamak. Binaların içinde sürdüğümüz ve pek çoğumuz için zamanının çoğu anlamına gelen yaşamı kolay ve keyifli kılan, camdır. Cam pencereler hizmete hazır bulunduğumuzun, işletmemizin dürüst ve hizmete hazır kalacağının bir ifadesi haline gelmiştir; cam vitrinsiz bir dükkân, fiilen bir dükkân değildir.

Cam malzemesi kendimize bakmamızı da sağlar. Parlak metal bir yüzeyde veya bir gölde kendi yansımanızı görebilirsiniz ama çoğumuz için kendi görüntümüzün nihai, en yakın yargıcı cam aynalardır. Fotoğraflar ve video sunumları bile cam mercekler aracılığıyla oluşturulur.

Çoğu kez Dünya'da keşfedilmemiş çok az yer kaldığı söylenir. Ama bunu söyleyenler genelde insan ölçeğinde var olan yerlerden söz ederler. Evinizin herhangi bir yerine bir büyüteç tutarsanız keşfedecek yepyeni bir dünya bulursunuz. Güçlü bir mikroskop kullanırsanız başka bir dünya içinde, en olağanüstü canlı organizmalardan oluşan bir hayvanat bahçesi bulursunuz. Seçiminizi teleskoptan yana kullanırsanız önünüzde kocaman bir olasılıklar evreni açılır. Karıncalar, bakteriler kendi ölçeklerinde kentler kurar. Bizim ölçeğimizin, bizim kentlerimizin, bizim uygarlığımızın özel bir tarafı yoktur ama bizde kendi ölçeğimizi aşmamıza olanak veren bir malzeme vardır: cam.

Yine de bunca şeyi mümkün kılan bu malzemeye karşı büyük bir sevgi beslemeyiz. İnsanlar genelde camı, söz gelimi ahşap bir zemin veya dökme demirden bir tren istasyonuna yaptıkları gibi, öve öve göklere çıkarmazlar. Elimizi son çıkan çift camlı levhanın üstünde gezdirip malzemenin verdiği duyusal hazzı takdir etmeyiz. Bunun nedeni belki de camın en saf

halindeyken özelliksiz, pürüzsüz, saydam ve soğuk bir malzeme olmasıdır. Bunlar insana özgü nitelikler değildir. İnsanlar daha ziyade renkli, karışık, zarif veya deformasyona uğramış camlara sempati duyma eğilimdedir, oysa bunlar pek işlevsel değildir. En etkili cam, modern kentlerimizin inşasında kullandığımız düz, kalın ve tamamen saydam maddedir ama en az o beğenilir, en az o tanınır, en görünmez odur.

Tarihimizde ve yaşamlarımızda hatırı sayılır bir önem taşımasına karşın, cam nedense sevgimizi kazanmayı başaramadı. Cam kırınca sarsılırız, rahatsız oluruz, hatta İspanya'da geçirdiğim araba kazasında olduğu gibi, acı çekeriz ama doğası gereği, değerli bir şeyi kırmışız gibi hissetmeyiz. Böyle durumlarda kendimiz için endişeleniriz, oysa cama gelince, yerine yenisi takılabilir. Camın yaşamlarımızın kıymetli dokusuna karışamamasının nedeni belki de bizim camın kendisine değil, öbür tarafına bakmamızdır. Bizim için değerli kılan özelliği camı aynı zamanda sevgimizden de mahrum eder: Cam yalnızca görsel açıdan değil, kültürel açıdan da atıl ve görünmezdir.

8. Kırılmaz



İlk kez resim dersine girdiğimde öğretmen Barrington adında bir adamdı ve bize görüp görebileceğimiz her şeyin atomlardan oluştuğunu söyledi: Her şeyin. Ardından ekledi: Bunu anlarsak sanatçı olabilirmişiz. Sınıf sessizleşti. Sorusu olan var mı, diye

sordu ama hepimiz hayretten donakalmıştık; doğru derste miyiz diye düşünüyorduk. Sanata giriş dersini kurşunkalemini havaya kaldırarak sürdüren Barrington, önceden bir bantla duvara yapıştırdığı kâğıda tam bir daire çizdi. Öğrenci topluluğunda genel bir heyecan ve rahatlama görüldü. Galiba gerçekten resim dersindeydik.

"Az önce atomları kalemden kâğıda geçirdim," dedi. Ardından bir sanatsal ifade malzemesi olarak grafitin mucizeleri hakkında bir nutuk çekti. "Unutmamalıdır ki," dedi, "elmas her ne kadar kültürel açıdan karbonun üstün bir formu olarak yüceltilse de aslında derin ifade becerisinden yoksundur ve grafitin aksine, elmastan sanat çıkmaz." Barrington sonradan Damien Hirst'ün 50 milyon sterlin paha biçilen elmas kakma kafatası *For the Love of God*'ı hakkında ne düşünmüştür, bilemiyorum.

Ama Barrington karbonun iki formu olan elmas ve grafit arasındaki rekabet ilişkisini anlatırken kesinlikle haklıydı. İfade gücü bulunan, kullanışlı kara grafit ile asil, soğuk, sert ve parlak elmas arasındaki savaş antik çağlardan beri tam gaz devam etmektedir. Kültürel değer açısından elmas uzunca bir süredir savaşın galibidir ama bu durum değişebilir. Grafitin içyapısının yeni yeni anlaşılması, bu malzemeyi bir merak konusu yapmıştır.

Resim öğretmenim sayesinde grafitle tanışmamdan otuz yıl sonra, dünyanın önde gelen karbon uzmanlarından Profesör Andre Geim'la tanıştım. Manchester Üniversitesi Fizik Bölümü'nün üçüncü katında, profesörün floresanla aydınlatılmış odasındaydık. Keşke Andre Geim'ın da Barrington gibi kendini ifade etmek için yalnızca grafiti kullandığını söyleyebilseydim ama Andre masasının çekmecesini açınca, çekmecenin tükenmezkalem ve tahta kalemiyle dolu olduğunu gördüm. Andre koyu Rus aksanıyla "Tam daire diye bir şey yoktur, Mark," deyince, öykümün ana fikrini anlayıp anlamadığından emin

olamadım. Ardından çekmecesinden deriden küçük kırmızı bir sunum kutusu çıkarıp, "Ben kahve yaparken, sen de şuna bak," dedi.

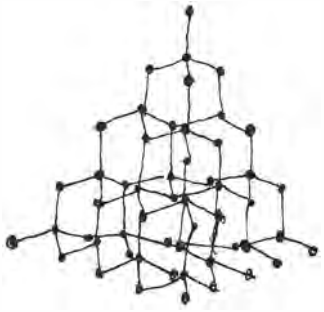
Kutunun içinde bir erkek portresi rölyefiyle süslenmiş, bisküvi boyutunda saf altın bir disk vardı. Ağır diski elimde tartarken, neredeyse fahiş denecek ölçüde metalik olduğunu hissettim: Altın, metal dünyasının kaymak tabakasıydı. Malzemenin sefahati karşısında nutkum tutuldu. Rölyefteki adam Alfred Nobel'di, madalyanın üstündeki yazı ise Andre Geim'ın takımının grafen üstündeki çığır açıcı çalışmaları vesilesiyle 2010 Nobel Fizik Ödülü'nü aldığını dünyaya duyuruyordu. Grafitin iki boyutlu bir versiyonu olan grafen, malzemeler dünyasının bir harikasıdır. Kahve getirmesini beklerken, Andre'nin esrarlı yanıtını düşünüp durdum. Belki de son on yılını verdiği karbon araştırmalarının dairesel bir seyir izlediğini ama yine de başladığı yere varmadığını ima ediyordu.

Çekirdeğinde altı proton ve genelde altı nötron bulunan karbon, hafif bir atomdur. Bazen sekiz nötron içerir ama karbon 14 adıyla bilinen bu karbon formunun atom çekirdeği kararsızdır, o yüzden element radyoaktif bozunmaya maruz kalarak parçalanır. Bu bozunmanın oranı uzun zaman dilimleri boyunca istikrar gösterdiğinden ve karbonun bu formu pek çok malzemede bulunduğundan, bir malzemenin yaşını, içindeki karbon 14 varlığını ölçerek bulabiliriz. Karbon tarihlendirme adıyla bilinen bu bilimsel yöntem geçmişimize diğer tüm yöntemlerden daha çok ışık tutmuştur. Stonehenge'in, Torino Kefeni'nin ve Ölü Deniz Yazmaları'nın gerçek yaşları, karbonun bu formu sayesinde anlaşılmıştır.

Radyoaktivite bir yana, çekirdek karbonda ikincil bir rol oynar. Tüm diğer özellikleri ve davranışı bakımından, çekirdeği sarmalayıp koruyan altı elektron önemlidir. Bu elektronlardan

ikisi çekirdeğe yakın bir iç nüveye gömülüdür ve atomun kimyasal yaşamında, yani diğer elementlerle etkileşiminde hiçbir rol oynamaz. Geriye atomun en üst tabakasını oluşturan, aktif haldeki dört elektron kalır. Bir kurşunkalemin grafiti ile bir tektaş yüzüğün elması arasında farkı işte bu dört elektron yaratır.

Bir karbon atomunun yapabileceği en basit şey, bu dört elektronunun her birini başka bir karbon atomuyla paylaşarak dört kimyasal bağ oluşturmaktır. Böylece karbon atomunun aktif dört elektron sorunu çözülür: Her elektron başka bir karbon atomuna ait uygun bir elektronla eşleşir. Böylece son derece sert ve katı bir kristal yapı oluşur. Bu yapı elmastır.



Elmasın kristal yapısı.

Şimdiye dek keşfedilen en büyük elmas, Samanyolu'ndaki Yılan (Serpens Cauda) takımyıldızında yer alan ve PSR J1719-1438 adlı bir atarcanın (pulsar) yörüngesinde dönen, Dünya'nın beş katı büyüklüğünde bir gezegendir. Dünya'daki elmaslar onun yanında çok küçük kalır. Dünya'da bulunan en büyük elmas, bir futbol topu büyüklüğündedir. Güney Afrika'daki Cullinan madeninden çıkarılan bu elmas, 1907'deki doğum gününde Kral VII. Edward'a hediye edilmiştir ve bugün Britanya monarşisinin Kraliyet Mücevherleri'nin bir parçasıdır. Söz konusu elmas yerkabuğunun epey altında, yaklaşık 300 kilometre

derinliğinde oluşmuştur: Buradaki yüksek ısılar ve basınçlar, milyarlarca yıl içerisinde iri bir karbon taşını kocaman bir elmasa çevirmiştir. Ardından büyük olasılıkla volkanik bir patlama sırasında gezegenimizin yüzeyine taşınmış ve milyonlarca yıl rahatsız edilmeden atıl kaldıktan sonra, yerin 1,2 kilometre altında keşfedilmiştir.

Çocukken sürekli müzelere götürülürdüm. Ulusal müzeye, falanca müzesine, filanca müzesine giderdik ve istisnasız hepsinden sıkılırdım. Yetişkinlerin yaptığını yaparak, konuşmadan ağır adımlarla etrafta dolaşmayı veya bir resmin ya da heykelin önünde durup uzun uzun düşünmeyi denerdim ama işe yaramazdı. Ne kadar akıl erdirmeye çalışırsam çalışayım, hiçbir şey anlayamazdım. Oysa Kraliyet Mücevherleri'ni ziyaret edişim çok farklıydı. İçeri adımımı atar atmaz büyülenmiştim. Burası Alâeddin'in mağarasıydı. Altınlar ve mücevherler benimle adeta temel bir dille konuşuyordu: Sanattan daha temel, daha ilkel bir dildi bu. Dine adanmaya benzer bir duyguya kapılmıştım. Şimdi dönüp bakınca, galiba yaşadığım o deneyim zenginliğe hayranlık değil, ilk kez maddeselliğin saf haline maruz kalmaya gösterdiğim tepkiydi. Büyük Afrika Yıldızı elmasının (Cullinan elmasından kesilen en büyük taş bu adı almıştı) önünde itiş kakış bir insan kalabalığı vardı. Gerçi göre göre ıslak oduncu gömlekli bir adamın koltukaltından ve dilini şaklatıp duran Hintli bir kadının arkasından görmüştüm ama yine de o elmasa tek bir bakış atmam, bir daha asla unutmamama yetmişti. Hintli hanımın orada bulunması gayet uygundu; sonradan babamın ansiklopedisinden öğrendiğime göre, Hindistan on sekizinci yüzyıl ortalarına kadar tek mücevher kaynağıydı. On sekizinci yüzyıl ortalarında ise dünyanın başka yerlerinde başka mücevher yatakları keşfedilmişti ve en kayda değerleri, Güney Afrika'daydı.

Aslında her elmas tek bir kristaldir. Tipik bir elmasta kusursuz bir biçimde dizilerek elmasın piramit yapısını oluşturan bir

milyon milyar kere milyar atom (1.000.000.000.000.000.000.000.000) vardır. Elmasın göze çarpan özelliklerinden o piramit yapısı sorumludur. Bu oluşumda elektronlar son derece kararlı bir duruma sabitlenir, elmasa efsanevi sağlamlığını veren budur. Aynı zamanda saydamdır ama alışılmadık yükseklikte bir ışık dağılımı vardır, yani içine giren ışığı bileşen renklerine ayırarak ışığa parlak gökkuşağı parıltısını verir.

Aşırı sertliği ve optik parlaklığı, elması neredeyse kusursuz bir mücevher kılar. Sertliği yüzünden neredeyse hiçbir şey elması çizemediğinden, elmaslar kusursuz yüzeyli şeklini ve orijinal ışıltısını yalnızca kullanıcının ömrü boyunca değil, bir uygarlığın ömrü boyunca korurlar: İster yağmurda, ister güneşte, ister kum fırtınasında, ister ormanda odun keserken, ister çamaşır yıkarken takın, fark etmez. Elmasın yeryüzünün en sert malzemesi olduğu eskiçağda bile biliniyordu. İngilizce elmas (diamond) sözcüğü Eski Yunancada "değişmez" veya "kırılmaz" anlamındaki *adamas* sözcüğünden gelir.

Cullinan elmasını İngiltere'ye götürmek sahipleri için muazzam bir güvenlik tehdidi oluşturmuştu çünkü yeryüzünün en büyük ham elmasının keşfi gazetelerde geniş yankı bulmuştu. Sherlock Holmes'ün baş düşmanı Moriarty'ye esin kaynağı olan, koca bir mücevher sevkiyatını çalmayı başarmış Adam Worth gibi meşhur suçlular gerçek bir tehdit gözüyle görülüyordu. Sonunda Sherlock Holmes'a yaraşır bir plan yapıldı ve uygulandı. Sahte bir taş yüksek güvenlik altındaki bir istimbota sevk edilirken, gerçek taş alelade bir paket kâğıdına sarılmış bir kutu içinde postayla gönderildi. Aldatmaca, elmasın kayda değer bir başka özelliği sayesinde tıkır tıkır işledi: Tamamen karbondan oluştuğundan, elmas son derece hafiftir. Koca Cullinan elması yarım kilodan biraz fazla gelmişti.

Adam Worth yalnız değildi. Zenginler giderek artan bir hızla iri iri elmaslar aldıkça, yeni bir meslek doğdu: ev hırsızlığı.

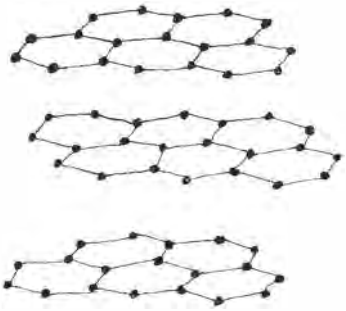
Elmas yükte hafif pahada ağırdı, yani misket büyüklüğünde bir elmas çalsanız bile ömrünüzün sonuna kadar çalışmadan yaşayabilirdiniz. Üstelik bir kere çalındıktan sonra elmasın izi bulunamıyordu. (Bunu Andre'nin altın madalyasını çalmakla kıyaslayın; altını eritmek bana en fazla birkaç bin sterlin kazandırırdı.) Bu yeni mücevher hırsızlığı bizzat elmasın erdemlerine bürünmüştü: Zarif, incelikli ve hilesizdi. *Kelepçeli Âşık* ve *Pembe Panter* gibi filmlerde, elmaslar zalimce hapsedilmiş prenses rolündeydi. Gündüzleri toplumun saygın bir üyesi, geceleriyse hırsız olan elmas kurtarıcılarını Cary Grant ve David Niven gibi film yıldızlarını canlandırırdı. Bu filmlerde elmas hırsızlığı asil bir eylem olarak resmedilirdi. Elmas hırsızı adam ya da kadın çeviktir; ihtiyaç duyduğu tek şey, üstüne yapışan tek parça siyah bir kıyafet, karmaşık malikâneler hakkında bilgi ve tablo arkası kasalarının şifresidir. Bir banka veya trenden para ya da altın çalmak ise tam tersine, çoğu kez gaddar, açgözlü erkeklerin giriştiği, rezil bir suç olarak betimlenirdi.

Elmas, altının aksine finansal değerine karşın, hiçbir zaman dünya para sisteminin bir parçası olmamıştır. Elmaslar likit değer değildir; hem de sözcüğün gerçek anlamıyla: Eritilemezler ve o anlamda metalaştırılamazlar. Büyük elmas taşlar merak ve hayranlık uyandırmaktan, en önemlisi de kişinin statüsünü sağlamlaştırmaktan başka bir işe yaramaz. Yirminci yüzyıldan önce yalnızca gerçek zenginler elmas alabiliyordu. Ancak Avrupa orta sınıfının giderek artan serveti, elmas madencilerine yeni bir pazar sağladı. 1902'de dünya elmas üretiminin yüzde doksanını elinde tutan DeBeers şirketi, taşların değerini düşürmeden iyice büyüyen bu pazarda nasıl satış yapacağını düşünüyordu. Bu işi kurnaz bir pazarlama kampanyasıyla başardılar: "Elmaslar ölümsüzdür" sloganını uydurarak, tektaş nişan yüzüklerinin ebedi aşkın yegâne gerçek ifadesi olduğu fikrini icat ettiler. Sevgilisini hislerinin gerçekliğine inandırmak isteyen herkesin

tektaş bir yüzük alması gerekiyordu; üstelik taş ne kadar pahalı olursa dile getirilen hisler de o kadar gerçek demekti. Muazzam bir başlangıç yapan pazarlama kampanyası milyonlarca eve elmas soktu, bir James Bond filminde ise doruğuna ulaştı: Elmasın yeni üstlendiği romantik aşkın simgesi rolünü yücelten bir Shirley Bassey/John Barry şarkısı filme eşlik ediyordu.

Ama elmaslar ölümsüz değildir, en azından bu gezegende. Oysa elmasın daha kararlı formu grafittir; grafit, elmasın kardeş yapısıdır ve Londra Kulesi'ndeki Büyük Afrika Yıldızı dâhil tüm elmaslar aslında yavaş yavaş grafite dönüşmektedir. Bu haber elmas sahiplerini tedirgin edebilir ama içleri rahat olsun, değerli taşlarında fark edilir bir bozulma görmeleri milyarlarca yılı bulacaktır.

Grafitin yapısı elmasınkinden tamamen farklıdır. Altıgen bir desen oluşturan karbon atomu düzlemlerinden oluşur. Her düzlem son derece dayanıklı ve kararlı bir yapıdır ve karbon atomlarının arasındaki bağlar, elmastakinden güçlüdür. Grafitin bir yağlayıcı ve kurşunkalem kurşunu olarak kullanılacak kadar zayıf olduğu düşünülürse bu durum şaşırtıcıdır.



Grafitin kristal yapısı.

Grafit katmanlarının *içinde* her karbon atomunun dört elektronunu paylaştığı üç komşusu bulunduğunu akılda tutar-

sak söz konusu muamma açıklanabilir. Elmas yapıda, her karbon atomu dört elektronunu dört atomla paylaşır. Böylece her grafit katmanı farklı bir elektron yapısına ve elmasınkinden güçlü bir kimyasal bağa kavuşur. Ama madalyonun bir de öbür yüzü vardır: Grafitteki atomlarda katmanlar *arasında* güçlü bağlar kuracak elektron kalmaz. Bu katmanları bir arada tutan, malzeme dünyasının evrensel yapıştırıcısıdır: Moleküllerin elektrik alanındaki dalgalanmalarla oluşan bu bir dizi zayıf kuvvete Van der Waals kuvvetleri denir. Hamur yapıştırıcılara yapışkanlığını veren bu kuvvettir. Grafit gerilime maruz kaldığında, ilk önce zayıf Van der Waals kuvvetleri kırılır ve bu suretle grafiti yumuşatır. Kurşunkalemler böyle çalışır: Kalemi kâğıda bastırdığınızda, Van der Waals bağlarını kırarsınız ve böylece grafit katmanları birbirlerine doğru kayarak, kendilerini kâğıda bırakırlar. O zayıf Van der Waals bağları olmasa grafit elmastan dayanıklı olurdu. İşte bu Andre Geim'ın ekibinin çıkış noktalarından biriydi.

Grafitten yapılmış bir kurşunkaleme bakarsanız koyu gri ve metal gibi parlak olduğunu görürsünüz. Binlerce yıl boyunca grafit kurşun sanılmış, "plumbago" (toz grafit) veya "kara kurşun" adlarıyla anılmıştır. Kurşunkalemde kullanılan grafite "kurşun" denmesi bundan kaynaklanır. Bu yanlış anlaşılma doğaldır çünkü kurşun da, grafit de yumuşak metallerdendir (gerçi bugünlerde grafite yarı metal diyoruz). Grafitin top ve misket tüfeği mermisi dökmek için ideal malzeme olduğunun keşfedilmesi gibi yeni kullanım alanları bulundukça toz grafit madenleri giderek değer kazandı. On yedinci ve on sekizinci yüzyıl İngiltere'sinde grafit o kadar pahalı bir malzemeydi ki hırsızlar madenlere açılan gizli tüneller kazıyor veya madenlerde çalışıp oralarına buralarına grafit saklıyorlardı. Fiyat yükseldikçe artan kaçakçılık suç eylemlerinin önüne, bir madenden grafit çalmanın yedi yıllık Avustralya sürgünü veya bir yıllık ağır işçilikle cezalandırılan bir suç sayılacağını duyuran 1752 tarihli bir

parlamento kararıyla bir nebze geçilebildi. 1800'de grafit o kadar büyük bir sektör haline geldi ki madenlerin girişinde silahlı muhafızlar bekliyordu.

Elmas metalik değilken grafitin metalik olması yine atomlarının altıgen yapısı yüzündendir. Gördüğümüz üzere elmas yapısında, karbon atomlarındaki dört elektron uygun bir elektronla eşleşir. Böylece kafesteki tüm atomlar birbirine sımsıkı bağlanır, "boşta" elektron kalmaz. Elmaslar bu yüzden elektriği iletmez: Yapının içinde dolaşıp elektrik akımını taşıyacak boş elektron yoktur. Grafit yapısında ise dıştaki elektronlar komşu atomdaki eş bir elektronla bağ kurmakla kalmaz, malzemenin içinde bir elektron denizi oluşturur. Bu durumun çeşitli etkilerinden biri, grafitin elektriği iletmesidir çünkü elektronlar, sıvı gibi oradan oraya gidip gelebilir. Edison ilk ampul filamanları olarak grafiti kullandı çünkü grafitin yüksek erime noktası, içinden yüksek bir akım geçerken akkor haline gelmesine olanak verir. Bu arada elektronlar denizi de ışık için bir elektromanyetik tramplen görevi görür. Grafitin diğer metaller gibi parlak görünmesini sağlayan işte bu ışık yansımasıdır. Andre Geim'ın ekibine Nobel Ödülü'nü kazandıran, grafitin metalik özelliklerini böyle usturupluca açıklamaları değildi elbette. Bu, yalnızca ekibin çıkış noktasıydı.

Yeryüzündeki tüm yaşam formları karbona dayanır ve bu karbon türleri grafit karbonlarından çok farklı görünse de yakılmak suretiyle grafitin altıgen yapısına kolayca çevrilebilirler: Odun ısınınca odun kömürüne dönüşür; ekmek, yanık ekmek olur; biz de ateşe maruz kalınca kararak kömürleşiriz. Bu süreçlerin hiçbiri saf parlak grafit üretmez çünkü altıgen karbon katmanları sımsıkı istiflenmiş durumda değil, karmakarışık haldedir. Ama çok miktarda isli siyah malzeme vardır ve hepsinin ortak özelliği, karbonun en kararlı formunu içermesidir: altıgen tabakalar halindeki formunu.

On dokuzuncu yüzyılda isli siyah karbonun başka bir formu üstünlüğü ele geçirdi: kömür. Kömürdeki altıgen karbon atomu düzlemleri yanık ekmekte olduğu gibi ısıyla değil, milyonlarca yıl zarfında ölü bitkilerin üstünde gerçekleşen jeolojik süreçlerle oluşur. Kömür yaşamına turba olarak başlar ama ısıya ve basınca maruz kaldıkça, tam koşullara bağlı olarak önce linyite, ardından bitümlü kömüre, sonra antrasit kömürüne ve en sonunda grafite dönüşür. Bu dönüşüm gerçekleşirken nitrojen, sülfür ve oksijen dâhil, orijinal bitkide bulunan uçucu bileşiklerini yitiren malzeme, süreç içinde adım adım saf bir karbon formuna dönüşür. Saf altıgen tabakalar biçimlendikçe, malzemeye daha metalik bir parlaklık gelir; bu parlaklık özellikle antrasit gibi bazı kömürlerin aynalı siyah yüzlerinde açıkça görülebilir. Ancak kömür çok nadiren saf karbon formunda bulunur, yanınca o kadar koku çıkarmasının nedeni budur.

Estetik görünüşü yüzünden en çok sevilen kömür türü, Şili Arokaryası ağacının fosilinden elde edilir. Bu kömür serttir, oyulabilir, cilalanınca ayna gibi parlar ve koyu siyah, güzel bir ışıltısı vardır. Bazen bu kömüre siyah kehribar denir çünkü sürtünme elektriklenmesi özellikleri kehribara benzer: Statik elektrik üreterek kılların havaya dikilmesi sağlar. Biz bu malzemeyi daha çok karakehribar (Oltu taşı) olarak tanırız. Karakehribar on dokuzuncu yüzyılda İngiltere'de Kraliçe Victoria sayesinde moda oldu; hayat arkadaşı Prens Albert'ın yasını tutan kraliçe ömrünün sonuna kadar siyah giysiler giydi ve karakehribar takılar taktı. Ardından tüm Britanya İmparatorluğu'ndan öyle bir karakehribar talebi geldi ki sonradan Bram Stoker'ın gotik başyapıtı *Dracula*'yı yazdığı Yorkshire'ın Withby kasabasının halkı, bir gecede yörelerinde bol bulunan karakehribar çökeltilerini yakıt için kullanmayı bırakıp yas ve matem için mücevher üretimiyle ün kazandı.

Eski kimyagerler elması ısıtınca neler olduğunu araştırmaya başlayana kadar, elmasın kömür veya grafitle ortak bir özellik taşıyabileceği fikri, tamamen hayal ürünüydü. Derken Antoine Lavoisier 1772'de bu araştırmaya giriştiğinde, elmasın kor haline gelince yandığını ve geriye hiçbir şey kalmadığını gördü. Hem de hiçbir şey kalmıyordu. Elmas sanki bir anda havaya karışıyordu. Deney son derece şaşırtıcıydı. Yakut veya safir gibi diğer değerli taşlar kor haline, hatta akkor haline geldiklerinde bile ısıya dayanıklıydılar; yanmıyorlardı. Ama değerli taşların kralı elmasın, Aşil'in topuğu gibi bir zayıf noktası vardı. Lavoisier bir sonraki adımda, beni çok heyecanlandıran, zarif bir deney yaptı. Tepkimeye girecek hava bulamazsa belki daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir diye, elması vakumlu bir kapta ısıttı. Lavoisier'nin deneyi, özellikle de vakumlu kapları bile üretmenin pek kolay olmadığı on dokuzuncu yüzyıl için tasarlaması kolay ama yapması zor deneylerdendi. Çok geçmeden gördükleri Lavoisier'yi hayretler içinde bıraktı: Elmas kor sıcaklığa karşı hâlâ dayanıklı değildi ama bu kez saf granite dönüşmüştü; bu da iki malzemenin aslında aynı maddeden, yani karbondan yapıldığının kanıtıydı.

Bu bilgiye dayanan Lavoisier ve Avrupa'da başka pek çok kişi, süreci tersine çevirip grafiti elmasa dönüştürmenin bir yolunu aradı. Başaranın ödülü sınırsız bir servet olacaktı ve böylece yarış başladı. Ama bu zorlu bir işti. Tüm malzemeler kararsız yapıdan kararlı yapıya geçmeyi tercih eder; elmasın yapısı grafitinkinden daha kararsız olduğundan, elması ters yönde bir değişime ikna etmek için yüksek sıcaklıklar ve basınçlar gerekir. Bu koşullar yerkabuğunun içinde mevcuttur ama yine de büyük bir elmas kristalinin oluşması milyarlarca yıl alır. Aynı koşulları laboratuvarda taklit etmek son derece zordur. İddialar üstüne iddialarda bulunuldu, ardından iddialar geri çekildi.

Deneye girişen bilim insanlarının hiçbiri bir gecede muazzam bir zenginliğe kavuşmadı ki bu da kimine göre başarısızlıklarının bir başka deliliydi. Diğerleri ise dönüşümü başarıyla gerçekleştirenlerin sessiz kalarak, yavaş yavaş zenginleştiğinden şüpheleniyordu.

Doğrusu ne olursa olsun 1953'e kadar birinin elmas yapmayı başardığına dair güvenilir bir belge yoktur. Sentetik elmas endüstrisi artık gerçekten büyük bir sektördür ama doğal elmas mücevherat endüstrisiyle başa baş rekabet edemez. Bunun birkaç nedeni vardır. Öncelikle endüstriyel süreç madenden gerçek elmas çıkarmaya kıyasla çok daha ucuza küçük sentetik elmaslar üretebilecek yetkinliğe erişmişse bile sentetik elmaslar çoğunlukla renkli ve defoludur çünkü hızlandırılmış üretim süreci elmaslara renk veren hatalar doğurur. Aslında söz konusu elmasların çoğunluğu maden endüstrisinde kullanılarak delgileri ve kesme aletlerini süsler: Buradaki amaç estetik bir görünüm katmak değil, aletlerin granit ve diğer sert kayaları kesmesini sağlamaktır. İkincisi, elmasın değerinin büyük bir kısmı hakikiliğinden gelir. Evlenme teklif ederken, her ne kadar fiziksel açıdan sentetik muadiliyle birebir aynı olsa da sunduğunuz yüzüğün yeryüzünün derinliklerinde bir milyar yıl önce yaratılmış olması önemlidir. Üçüncüsü, değerli bir taşın doğal tarihini umursamayacak kadar mantık insanıysanız bu sefer de sentetik elmas, sevgilinizi güzelleştirmek için çok pahalı bir yoldur. Kübik zirkon kristalleri veya cam gibi, çok daha ucuz elmas muadilleri vardır; üstelik elmas uzmanları dışında aradaki farkı kimse anlamaz.

Ancak doğal elmasın artık bilinen en sert malzeme olmadığı anlaşılınca, grafitle giriştiği egemenlik savaşındaki üstünlüğü bir darbe daha alacaktı. 1967'de karbon atomlarının elmastan da sert bir madde oluşturan, üçüncü bir dizilişi olduğu keşfedildi. Söz konusu yapı grafitin altıgen düzlemlerine dayanıyordu

ama onun üç boyutlusuydu. Lonsdaleite denen bu yapının elmastan yüzde 58 daha sert olduğu düşünülmektedir, ancak çok küçük miktarlarda bulunduğundan test etmek zordur. İlk numune Diablo Kanyonu meteoritinde bulundu. Darbenin basıncı ve yoğun sıcaklığı, grafiti lonsdaleite malzemesine dönüştürmüştü. Hiç lonsdaleite tektaş yüzük yapılmadı çünkü bu malzemeyi oluşturacak türdeki meteorit çarpmaları hem oldukça nadir görülür hem de yalnızca çok küçük kristaller oluşturur. Ama karbonun bu üçüncü yapısının keşfedilmesi, belki de kaçınılmaz olarak elmasın kübik, kömürün, karakehribarın, odun kömürünün ve grafitin altıgen, lonsdaleite'ın ise üç boyutlu altıgen yapısından başka karbon yapılarının bulunup bulunmadığı sorusuna yol açtı. Çok geçmeden, havacılık endüstrisi sayesinde listeye başka bir sentetik eklendi.

İlk uçaklar hafifliği ve katılığı nedeniyle ahşaptan yapılırdı. Hatta İkinci Dünya Savaşı'nın en hızlı uçaklarından biri Mosquito adında ahşap bir uçaktı. Ancak ahşaptan uçak gövdesi yapmak sorunlu bir iştir çünkü hatasız bir yapıya ek yapmak zordur. O yüzden hırslarının boyutu arttıkça, uçak mühendisleri ahşap yerine alüminyum denen hafif bir metala döndüler. Ama alüminyum bile aşırı hafif değildi ve o yüzden alüminyumdan daha hafif ve dayanıklı bir malzemenin bulunabileceği umudu, çoğu mühendisin içini kemirip duruyordu. Oysa görünüşe göre böyle bir malzeme yoktu. Böylece 1963'te Farnborough'daki Royal Aircraft Establishment'ın mühendisleri böyle bir malzeme icat etmeye karar verdiler.

Karbon elyaf adını verdikleri bu malzeme, grafiti eğirip lif haline getirerek yapılıyordu. Tabakalar halindeki malzemeyi lifleri uzunlamasına gelecek şekilde rulo yaptıkları zaman, tabakaların içindeki yüksek dayanıklılık ve sertlikten yararlanabiliyorlardı. Saf granitte olduğu gibi, malzemenin yapısının Van der Waals kuvvetlerine bağımlılığı yüzünden zayıflık hâlâ

bâkiydi ama lifleri bir epoksi yapıştırıcıyla kaplamak, bu sorunun üstesinden geliyordu. Yeni bir malzeme doğmuştu: karbon elyaf kompozit.

Bu malzeme sonunda alüminyumun uçak yapımındaki yerini alsa da (son Boeing Dreamliner yüzde yetmiş karbon elyaf kompozittir), malzemenin uçak endüstrine layık olduğunu kanıtlaması için uzunca bir zaman gerekti. Ancak spor ekipmanları üreticileri malzemeye anında ısındılar. Karbon elyaf, raket sporlarının performansını o kadar hızlı değiştirdi ki ahşap ve alüminyum gibi geleneksel malzemelere sadık kalanlar hızla küme düştüler. Hayatımdaki bir anı capcanlı hatırlıyorum: Bir gün arkadaşım James elinde karbon elyafın karakteristik siyah üstüne siyah damalı desenini taşıyan kompozit bir raketle tenis kortuna geldi. Maça başlamadan önce, birkaç deneme vuruşu yaparak raketinin inanılmaz hafifliğini ve gücünü denememe izin verdi, sonra da raketini geri alıp beni bir güzel yendi. Sizinkinin yarısı ağırlığında ve iki katı gücünde bir raket kullanan bir rakiple tenis oynamak oldukça sinir bozucu olabilir. "Karbon, ciddi olamazsın!" diye haykırdım ama bir işe yaramadı.

Çok geçmeden söz konusu malzeme düşük ağırlıklı ve yüksek dayanımlı malzemelere gerek duyan her sporu değiştirmeye başladı. Başka bir deyişle, aşağı yukarı hepsini. 1990'larda mühendisler karbon elyaf yapılarını kullanarak çok daha aerodinamik bisikletler üretmeye başlayınca, bisiklet yarışları dönüşüme uğradı. Bisikletlerdeki bu gelişme büyük olasılıkla Chris Boardman'ın "Saat Rekoru"nu (*The Hour Record*) kırmak için Graeme Obree ile giriştiği klasik spor müsabakasında doruğuna ulaşmıştır: Yarışmanın amacı, bir insanın bir saate kendi gücüyle gidebileceği en uzak mesafeyi belirlemektir. 1990'larda iki bisikletçi de çok daha gelişmiş karbon elyaf bisikletlerin yardımıyla durmadan birbirlerinin rekorunu ve dünya rekorunu kırabiliyordu. 1996'da Chris Boardman bisikletle bir saatte

56,375 km yol yapınca, Uluslararası Bisiklet Birliği'nin tepkisini çekti. Birlik bisiklet sporunun doğasının kökten değişeceğinden o kadar endişelenmişti ki karbon elyaftan esinlenmiş bu yeni tasarımların kullanımını derhal yasakladı.

Formula 1'in karbon elyafın sunduğu yeniliklere yaklaşımı ise tam tersiydi. Kurallardaki sürekli değişiklikler malzeme tasarımlarına yenilikler getirilmesini zorunlu kılıyordu. Gerçekten de teknolojiye hâkimiyet bu sporun bir parçasıdır ve başarı, sürücünün yeteneği kadar, mühendislikteki ilerlemeye de bağlıdır. Bu arada karbon elyaf koşu sporunda bile bir rol oynar. Giderek daha çok engelli atlet, karbon elyaftan yapılmış protezler kullanmaktadır. Uluslararası Atletizm Federasyonları Birliği 2008'de karbon elyaf bacakların engellilere haksız yere dezavantaj sağladığı gerekçesiyle, bu atletlerin engelsiz atletlerle yarışmasını engellemeye çalıştı. Ancak Spor Tahkim Mahkemesi bu kararı bozunca, 2011'de atlet Oscar Pistorius engelsiz sporcuların yarıştığı Güney Afrika Dünya Şampiyonası'nda 4x400 metrelik bayrak yarışına katıldı ve takımı gümüş madalya kazandı. Atletizm federasyonları bisiklet federasyonlarının yaklaşımını benimsemezse karbon elyafın atletizmin büyük bir parçası olması yakındır.

Karbon elyaf kompozitin büyük başarısından ilham alan mühendisler, bu malzemeyi en büyük ölçekte nasıl kullanabileceklerini düşünmeye başladılar: Acaba karbon elyaf eskiden beri süregelen bir Uzay Asansörü yapma düşünü gerçekleştirebilecek kadar dayanıklı bir malzeme miydi? Gökyüzü Çengeli, Semavi Merdiven veya Kozmik Füniküler adlarıyla da bilinen Uzay Asansörü, ekvatordaki bir noktayı tam tepesindeki sabit yörüngede duran bir uyduyla birleştiren bir yapı olacaktı. Bir uzay asansörü yapılabilseydi uzay yolculuğuna tek darbede demokrasi gelecek, insanların ve eşyaların hem kolayca hem de neredeyse önemsiz denecek bir miktarda enerji harcayarak

uzaya taşınması mümkün olacaktı. 1960'ta Yuri Artsutanov adlı Rus bir mühendisin geliştirdiği kavram, bir uyduyu ekvatorda okyanusta yüzen bir gemiye bağlayacak 36.000 kilometre uzunluğunda bir kablonun yapılmasını öngörür. Bütün araştırmalar fikrin mekanik açıdan makul olduğuna ama kablonun son derece yüksek bir dayanıklılık/ağırlık oranına sahip bir malzemeden yapılması gerektiğine işaret etmektedir. Ağırlık önemlidir çünkü her kablo yapısında olduğu gibi, kablonun önce kopmadan kendi ağırlığını taşıyabilmesi gerekir. 36.000 kilometre uzunluğundaki bir kablo içinse tek bir teliyle bir fil taşıyabilecek kadar dayanıklı bir malzeme gerekir. Uygulamada en iyi karbon elyaf teli bile ancak bir kediyi taşıyabilir. Ama bunun nedeni, malzemenin kusurlarla dolu olmasıdır. Teorik hesaplamalar tamamen saf bir karbon elyafının, tasarlanabilirse dayanıklılığının çok daha yüksek olacağını, elmasın dayanıklılığını aşacağını açıkça göstermektedir. Böyle bir malzeme üretmek için çalışmalar başlamıştır.

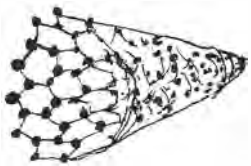
Bu işin nasıl başarılacağına dair ipucu veren bir gelişme, dördüncü bir karbon yapısının, hem de hiç beklenmedik bir yerde keşfedilmesi oldu: mum alevinde. 1985'te Profesör Harry Kroto ve ekibi, mum alevinin içindeki karbon atomlarının mucizevi bir şekilde kendiliğinden altmışar atomluk gruplar halinde toplanarak süper karbon molekülleri oluşturduğunu keşfetti. Dev futbol toplarına benzeyen moleküllere, aynı altıgen yapıya sahip jeodezik kubbeler tasarlayan mimar Buckminster



"Bucky topları"nın moleküler yapısı.

Fuller'ın anısına "Bucky topları" adı verildi. Kroto'nun ekibi bu keşif sayesinde 1996'da Nobel Kimya Ödülü'nü aldı, ayrıca mikroskobik dünyada daha önce hiç görülmemiş başka karbon yapılarından oluşan bir hayvanat bahçesi bulunabileceğini herkesin fark etmesini sağladı.

Karbon neredeyse bir gecede malzeme biliminin en seksi konularından biri haline geldi. Çok geçmeden yalnızca birkaç nanometre genişliğinde tüpler oluşturabilen yeni bir karbon tipi ortaya çıktı. Moleküler mimarisinin karmaşıklığına karşın bu karbon nanotüplerin tuhaf bir özelliği vardı: Kendiliklerinden bir araya gelebiliyorlardı. O karmaşık şekilleri oluşturmak için ne dışardan bir yardıma gerek duyuyorlardı ne de yüksek teknoloji ürünü araç gereçlere. Bu işi mumun dumanında yapabiliyorlardı. Keşif, mikroskobik bakterilerin keşfi kadar önemliydi: Dünya bir anda hayal ettiğimizden çok daha karmaşık ve olağanüstü görünmeye başladı. Kendiliğinden bir araya gelerek karmaşık yapılar oluşturanlar yalnızca canlı organizmalar değildi, cansız dünya da aynı şeyi yapabiliyordu. Bir anda dünyayı takıntı halinde nano ölçekli moleküller üretme ve inceleme merakı sardı ve nanoteknoloji moda oldu.



Karbon nanotüplerin moleküler yapısı.

Karbon nanotüpler minyatür karbon elyafa benzerler ama zayıf Van der Waals bağları yoktur. Nanotüplerin yeryüzündeki tüm malzemeler arasında en yüksek dayanıklılık/ağırlık oranına sahip olduğu anlaşıldı: Bir uzay asansörü yapacak kadar dayanıklı olma potansiyelleri vardı. Peki, sorun çözüldü mü? Hayır,

pek sayılmaz. Karbon nanotüplerin uzunluğu en fazla birkaç yüz nanometredir ama bu iş için metrelerce uzunlukta nanotüp gerekir. Halen dünyanın dört bir yanında bu sorunu çözmeye uğraşan yüzlerce nanoteknoloji araştırma ekibi vardır. Ancak Andre Geim'ın ekibi bunlardan biri değildir.

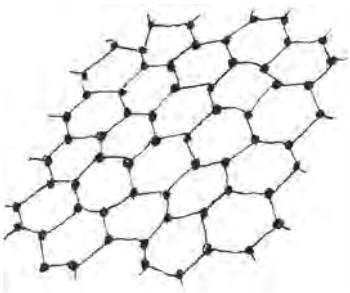
Andre'nin ekibi daha basit bir soru sordu: Tüm bu yeni karbon formları grafitin altıgen yapısını temel alıyorsa ve grafit altıgen karbon yapılarından oluşan katmanlarla doluysa neden grafit de mucize bir malzeme olmuyordu? Yanıt şöyleydi: Çünkü tabakalar kolayca kayıp birbirinin üstüne çıkar, yani malzeme çok zayıftır. Peki, o halde ya yalnızca tek bir altıgen karbon tabakası olsaydı? O zaman bu malzeme nasıl işlerdi?

Andre Geim kahvemi getirdiğinde, altın Nobel Ödülü madalyası hâlâ elimdeydi. Hafif bir suçluluk hissettim, oysa ödülü bakayım diye bana veren kendisiydi. Kahveyi masaya bıraktıktan sonra madalyayı elimden alıp yerine Cumbria'daki grafit madenlerinden çıkarılmış saf bir grafit parçası verdi. Dediğine göre, grafiti doğruca madenden almıştı ve maden coğrafi açıdan Manchester Üniversitesi'ndeki odasıyla aynı cadde üstündeydi. Ardından bana araştırma grubunun tek bir altıgen karbon tabakasını nasıl yaptığını gösterdi.

Bir parça seloteyp alıp grafit parçasının üstüne yapıştırdı. Seloteybi kaldırdığında, üstüne incecik bir parlak metalik grafit pulu yapışmıştı. Ardından başka bir seloteyp parçası alıp o pulun üstüne yapıştırdı ve çekti. Artık grafit pulu iki parçaya ayrılmıştı. Aynı işlemi dört beş kez tekrarlayınca, çok daha ince grafit pulları oluştu. Andre sonunda tek bir atom kalınlığında bir grafit yaptığını söyledi. Elinde tuttuğu seloteyp parçasına baktım. Üstünde birkaç siyah leke vardı, parçanın önemini hafife almak istemediğimden, dikkatlice baktım. Andre gülümseyerek, "Elbette göremezsin," dedi. "Bu ölçekte saydamdır."

Ben abartılı bir şekilde başımı sallarken, Andre beni yan odadaki mikroskoba götürdü, böylece grafitin atomik katmanlarını görebilecektik.

Andre'nin takımı Nobel Ödülü'nü tek bir grafit katmanı yaptığı için almadı; grafitteki bu tek katmanların nanoteknolojik standartlarda bile olağanüstü özellikleri olduğunu gösterdiği için aldı. Özellikleri o kadar olağanüstüydü ki yeni bir malzeme olarak kendilerine ait bir ada layık görüldüler: grafen.



Grafenin moleküler yapısı.

Öncelikle grafen, dünyanın en ince, en dayanıklı ve en katı malzemesidir. Isıyı bilinen tüm malzemelerden daha hızlı iletir; diğer tüm malzemelerden daha hızlı ve daha çok elektrik taşıyabilir, üstelik diğer malzemeler kadar direnç göstermez. Malzeme içindeki elektronların bariyerleri sanki hiç yokmuş gibi aşabildiği, ilginç bir kuantum etkisi olan Klein tünellemesine izin verir. Tüm bunlar malzemenin potansiyel bir elektronik santralı olduğuna ve büyük olasılıkla silikon çiplerinin hesaplama ve iletişimdeki merkezi yerini alacağına işaret ediyor. Aşırı inceliği, saydamlığı, dayanıklılığı ve elektronik özellikleri aynı zamanda bu malzemenin geleceğin dokunmatik arayüzleri için tercih edilen bir malzeme olabileceğini, yalnızca alıştığımız dokunmatik ekranlara değil, belki de tüm objelere, hatta binalara bile dokunmatik özellik getirebileceğini düşündürüyor. Ama bu

haklı ününün belki de en ilgi çekici yanı, grafenin iki boyutlu bir malzeme olması. İki boyutlu demek kalınlığı yok demek değildir ama kalınlaştırılırsa veya inceltilirse aynı malzeme olmaz. Andre'nin ekibinin gösterdiği şey işte budur: Grafene fazladan bir karbon katmanı eklerseniz yeniden grafit olur; bir katmanını çıkarırsanız geriye malzemeden eser kalmaz.

Resim öğretmenim grafiti karbonun elmastan üstün bir formu kabul ederken bunu bilmiyordu ama teknik anlamda hemen hemen her açıdan haklıydı. Grafitin atomik doğasının önemi hakkında da haklıydı. Grafen, grafitin ince atomlu yapı taşıdır. Bazen kurşunkalem kullanırken kâğıdınıza bıraktığınız iz odur. Yalnızca sanatsal bir ifade aracı olarak kullanılabilir ama onda daha fazlası vardır: Bu malzeme ve nanotüpler formundaki rulo versiyonu, gelecekte dünyamızın önemli bir parçası haline gelecek, en küçük ölçekten en büyüğüne, elektronikten arabalara, uçaklara, roketlere kadar pek çok şeye hatta kim bilir, belki de uzay asansörlerine malzeme olacaktır.

O halde grafit, grafeni doğurarak, sonunda elması gölgede bıraktı mı? Sonunda asırlardır süren bu rekabetin sürpriz galibi oldu mu? Kesin bir şey söylemek için henüz erken ama bana kalırsa orası biraz şüpheli. Her ne kadar grafen mühendislikte yeni bir çağ açacak gibi görünse ve bilim insanlarıyla mühendislere kendini şimdiden sevdirse de dünya çapında yüksek bir statüye kavuşamayabilir. Elmas artık en sert, en dayanıklı malzeme olmayabilir ve ebedi olmadığı da biliniyor ama hâlâ çoğu kişi için bu özellikleri simgeliyor. Elmas hâlâ her yerde âşıkları birleştiren o sağlam kayadır. Evet, belki elmasın geçek aşkla bağlantısının asıl kaynağı bir halka ilişkiler kampanyasıdır ama bu gerçek, elmasın bugün gözümüzdeki gerçekliğini azaltmamıştır.

Öte yandan, grafen işlevsel açıdan elmastan iyi olabilir ama parlamaz. Neredeyse görünmezdir, aşırı incedir, ayrıca iki

boyutludur: Bunlar kimsenin aşkıyla bağdaştırmak isteyeceği özellikler değildir. Benim tahminim, halkla ilişkiler firmaları grafeni keşfedene kadar kübik kristal yapılı karbon, kızların en iyi arkadaşı olmayı sürdürecektir.

9. Zarif



1962 yılının Ocak ayında Miodownik ailesi, babam Peter Miodownik'in nişanlısı Kathleen ile evliliğine hazırlanıyordu. Düğün planları yapılmıştı, arkadaşlar çağırılmıştı, bu Yahudi adamla Katolik kadın arasındaki tören için dini bilgiler veriliyordu,

sinirler gergindi, özgür aşk belki yaşanmış, belki yaşanmamıştı ama genç çifte verilecek düğün hediyeleri bile sipariş edilmişti ve bu hediyelerden biri, kemik porselen bir çay takımıydı.

Çay takımı Harrods mağazasından annemle babamın evine ahşap bir kasa içinde gelmişti. Fincanlarla tabaklar talaş yataklarından alındıktan sonra, yıkanıp bulaşık damlalığına konmuştu. Evimizi ilk kez oradan görüyorlardı: Londra'nın banliyösündeki sade ama geniş bir mutfak. Tezgâhın üstündeki fincanlardan biri yere düşmüş ama linolyum zemine çarpınca kırılacağına, yerden sekmekle yetinerek hayranlıkla birbirlerine gülümseyen mutlu çifti sevindirmişti. İyiye işaret, diye düşünmüşlerdi ve gerçekten de öyle çıktı: Fincanlar evlilikleri boyunca çifte hizmet etti. Elli yıl sonra geriye bir tek benim bu fotoğrafta kullandığım fincan kaldı.

İlk zamanlarda porselen fincanlar mutfakta, annemin İrlanda'dan getirdiği birkaç ahşap bardakla aynı dolabı paylaşmak zorundaydı. Bu yüzden korkuya kapılmışlardır kuşkusuz. Ahşabın rustik bir çekiciliği vardır elbette. Güzel ve doğal bir malzemedir, organik sadeliği kırsal bir yaşamın özlemini çekenlere çekici gelir. Ama bir şey içmek için kullanıldığında, savunulacak tarafı yoktur. Son derece keskin bir tadı vardır, gözenekleri başka tatları kolayca emdiğinden, bir sonraki içeceğin tadını bozar.

O zamanlar metal bardaklar da bizim mutfakta fink atıyordu. Bir kamp takımından kaldıkları bariz olan bardaklar, yeni evlilerin başka fazla eşyası olmadığı için mutfağa alınmıştı. Ama metal, çay içmek için ahşaptan daha iyi değildir. Metal çatal kaşıkları her zaman ağzımıza sokar ve katılığı ve dayanıklılığı sayesinde çatal kaşıkların kırılıp bükülmeden ince ve kaygan kalmasını sağladığı için metali diğer malzemelere tercih ederiz. Çatal-bıçak takımlarının parlaklığı ve pürüzsüzlüğü hayati bir önem taşır; tamamen temizlenip temizlenmediklerini saptamayı kolaylaştırır çünkü bizden önce başkasının ağzına

girmişlerdir. Ama söz konusu malzeme ısıyı, sıcak içeceklerde kullanılmayacak kadar iyi iletir. Ayrıca tangırtılı olmaları, çayın zarif hazlarına hiç uymayan akustik bir özellikleridir.

Ağabeylerim ve ben doğduğumuzda, bazı plastik bardaklar da haneye katıldı. Çocuklar için tasarlanan çoğu eşya gibi, plastik bardaklar hem renkli hem sağlamdır. Böylece içlerinde taşıdıkları ve genelde çaya kıyasla daha tatlı, daha meyvemsi olan içeceklere uygun düşerler. Ayrıca yumuşak plastik, ağızda sıcak, rahatlatıcı ve güvenli bir his bırakır. Çocukluğu yansıtan, neşeli ve tatlı bir görünümü vardır. Plastik meyve suyu bardakları büyüyünce seramik çay fincanlarına dönüşse, yaşlandıkça güçlenip katılaşsa ve seçkinlik kazansa gayet yerinde olurdu. Ama ne yazık ki plastik bardakların payına düşen genç ölmek, güneşin UV ışınları altında bozunarak yapısını yitirmektir. Plastik bir bardak her piknikte ömründen yıllar yitirir, sonunda da sararıp kırılganlaşarak parçalanır.

Öte yandan seramikler UV bozunmalarından veya kimyasal etkilerden etkilenmez. Ayrıca çizilmeye karşı diğer tüm malzemelerden daha dirençlidirler. Sıvı yağlar, katı yağlar ve çoğu leke seramiklerin üstüne yapışmaz. Gerçi tanenler (mazı tozları) ve diğer birkaç molekül seramiğe yapışır ama onlar da asit veya ağartıcıyla kolayca çıkarılır. Sonuçta seramikler görünümlerini oldukça uzun süre korurlar. Hatta ağzından kulpuna ilerleyen, tanenlerle lekelenmiş çatlağı olmasaydı bu fincan büyük ölçüde elli yıl önceki gibi görünürdü. Aynı şeyi başka çok az şey için söyleyebilirsiniz. Kâğıt geri dönüştürülebildiği için karton bardaklar sürdürülebilir özellikte gözükebilir ama karton bardakları su geçirmez yapan balmumu kaplama bunu neredeyse imkânsız kılar. Gerçek sürdürülebilirlik için seramiklere bakmamız gerekir.

Kullanışlılığı bir yana, kâğıtta, plastikte, metalde veya neredeyse seramikten başka herhangi bir malzemede çay sunmak

toplumsal bir ayıp kabul edilir. Çay içmek, sıvı almaktan fazlasıdır; belirli idealleri yücelten, toplumsal bir ayindir. Seramik fincanlar bu ayinin ayrılmaz bir parçasıdır. O nedenle uygarlaşmış bir yuvanın da ayrılmaz bir parçasıdır.

Seramiklerin yüksek statüye kavuşmasının öyküsü çok uzun bir zaman öncesine, kâğıttan, plastikten, camdan ve metalden önceye dayanır. Her şey, insanların nehir yataklarından aldığı kili başka bir şeye dönüştürebileceğini fark ederek, ateşe vermesiyle başladı. Kil kurumakla kalmadı. Hayır, başka bir şey oldu: Çamur kıvamındaki yumuşak kil, taşın hemen hemen tüm özelliklerine sahip, kaskatı yeni bir malzemeye dönüştü. Yeni malzeme hem sert, hem dayanıklıydı; üstelik biçimlendirilerek tahıl ve su toplama ve saklama kaplarına dönüştürülebiliyordu. Bu kaplar olmasa tarım da, yerleşik hayat da gerçekleşemez, bildiğimiz biçimiyle uygarlık asla filizlenemezdi. Kabaca on bin yıl sonra söz konusu kaplar "çömlek", seramiğin bu basit türü ise çömlekçilik adıyla tanınmaya başladı.

Ama bu erken dönem seramikler aslında taş gibi değildi. Narin yapılarından dolayı kolayca kırılıyorlardı; dokuları toz gibi ve gözenekliydi (çünkü mikro ölçekte bakıldığında yüzeyleri deliklerle doluydu). Terakota ve toprak kap kacaklar bu erken dönem seramiklerin modern akrabalarıdır. Yapımları son derece basittir ama hâlâ korkunç derecede dayanıksızdırlar. Genelde tatil günlerinde satın alınan bu toprak güveçlerden birini içinde yemekle birlikte fırına koyduktan bir saat sonra, kabın çatladığına ve yemeğin aktığına sayısız kez şahit olmuşumdur. Üstelik seramiklerin en rahat etmesi gereken yer fırındır çünkü zaten orada şekillenmişlerdir ama toprak kaplar insanı hep yüzüstü bırakır. Çünkü gözenekler sıvıyı emer, sıvı ise ısınınca genleşip buharlaşarak gözeneği patlamaya hazır bir mikroçatlağa çevirir ve o mikroçatlak önünde sonunda bir nehrin kolları gibi başka mikroçatlaklarla birleşince, terakota kabın yüzeyinde

patlamalara yol açar ve yalnızca kabın değil, çoğu kez içindeki yemeğin de sonunu getirir.

Metallerin, plastiklerin ve camın aksine seramikler eritilip dökülemez. Daha doğrusu, böyle sıvıları taşımak için gereken sıcaklıklara dayanabilecek malzememiz yoktur. Seramikler, sıvı halleri Dünya'nın magması ve lav olan dağların, kayaların ve taşların yapıldığı malzemeden yapılır. Ama lav bir kalıba dökülebilseydi bile dayanıklı bir seramik olmazdı; hele de sizin tanıyacağınız veya bir fincana dönüştürebileceğiniz türde bir seramik kesinlikle olmazdı. Ortaya çıkan şey, elbette deliklerle ve kusurlarla dolu volkanik bir taş olurdu. Bu maddenin dağları oluşturan magmatik kayaçlara ve taşlara dönüşmesi için yeryüzünün derinliklerinde milyonlarca yıllık ısıya ve basınca maruz kalması gerekir. Bu nedenlerden ötürü, kayaç yerini tutacak yapay bir madde üretme girişimlerinde ya çimento ve betonda olduğu gibi kimyasal tepkimeler kullanılır ya da çanak çömlekte olduğu gibi, kili bir fırında ısıtma işlemine başvurulur ama bu işlemin amacı kili eritmek değil, kristallerin çok olağandışı bir özelliğinden yararlanmaktır.

Kil, ince bir toz haline gelmiş minerallerle suyun bir karışımıdır. Tıpkı kum gibi, rüzgârla suyun kayaçların üstündeki aşındırıcı etkilerinin sonucunda oluşan bu toz mineraller aslında çok küçük kristallerdir. Killer genelde bu aşınan minerallerin dağlardan akıp geldiği ve çamur kıvamında, yumuşak hamurlar oluşturduğu nehir yataklarında oluşur. Farklı minerallerin karışımı farklı kil türleri meydana getirir. Terakota örneğinde kristaller genelde kuvars, alümina ve pasın bir karışımıdır; terakotaya kırmızı rengini veren, budur.

Söz konusu madde ısıtıldığında ilkin su buharlaşır. Geride kalan mineraller ise bir araya toplaşarak, buharlaşan sudan kalma çok sayıda delikle dolu bir nevi kumdan kale oluşturur. Ama yüksek sıcaklıklarda özel bir şey görülür: Bir kristalin atomları

yanındaki bir diğer kristale sıçrar, ardından geri döner. Ancak bazı kristallerdeki atomlar nedense ilk konumlarına geri dönmezler ve böylece kristaller arasında yavaş yavaş atom köprüleri kurulur. Sonunda böyle milyarlarca köprü kurulunca, kristaller kümesi daha çok zincirleme tek bir yığını andıran bir şeye dönüşür.

Atomların bu davranışının nedeni ile herhangi iki kimyasalın birbiriyle tepkimeye girmesinin nedeni aynıdır: Her kristalin içinde, atomun bütün elektronları komşularıyla kararlı bir kimyasal bağın parçalarıdır (adeta "dolu"durlar) ama kristalin kenarlarında ve yüzeyinde bağlanacak başka atomları olmayan, adeta avare gezen "boş" elektronlar vardır. Bu nedenle bir kristaldeki tüm atomlar kristalin yüzeyinden ziyade gövdesinin içinde yer bulmaya çalışır ya da başka bir deyişle, kristalin yüzeyindeki atomlar kararsızdır, karşısına uygun bir fırsat çıktığında yer değiştirmeye müsaittir ve mecburdur.



Küçük kristaller topluluğunun seramikler pişirilince fiziksel açıdan bağdaşık tek bir malzemeye dönüşmesi.

Genelde kristaller soğukken, bu atomların harekete geçip kötü durumlarını düzeltecek enerjisi olmaz. Ama yeterli sıcaklığa ulaşıldığında hareket edebilirler: Olabildiğince az sayıda atom kristalin yüzeyindeki bir yere geçmek zorunda kalsın diye, daha doğrusu kristalde daha az yüzey kalsın diye, yeniden yerleşmeye koyulurlar. Böylece aralarındaki boşlukları kapatıp olabildiğince idareli bir şekilde her yeri doldurarak kristalleri yeniden biçimlendirirler. Küçücük kristallerden oluşan topluluk yavaş ama emin adımlarla tek bir malzemeye dönüşür. Bu, sihir değildir ama sihirli bir şeydir.

Teori böyledir elbette ama bazı killerin kimyası, diğerlerininkine kıyasla bu işi yapmayı çok daha kolaylaştırır. Terakota killerinin avantajı kolay bulunmalarıdır; üstelik bu yeniden şekillendirme süreci nispeten düşük sıcaklıklarda gerçekleşir: Bir ateşin veya basit bir odun fırınının sıcaklığı yeter. Bu terakota yapmak için çok az teknik bilginin yetmesi demektir. Sonuç itibariyle koca kasabalar ve kentler bu maddeden yapılır: Ev yapımında kullanılan adi tuğla aslında bir tür terakotadır. Ancak terakota seramiklerin büyük bir sorunu vardır: Deliklerinden hiçbir zaman tamamen kurtulamaz, o yüzden hiçbir zaman tam anlamıyla yoğun kıvama gelemezler. Bu durum yalnızca makul bir dayanıklılık göstermesi gereken ev tuğlaları için bir sorun oluşturmaz: Tuğlalar çimentoyla yerlerine yerleştirildikten sonra darbeye veya tekrar tekrar ısıtılıp soğutulmaya maruz kalmazlar. Ama ince gövdesine karşın mutfağın çetin koşullarına dayanması beklenen fincanlar veya kâseler için tam bir felakettir. Ömürleri uzun sürmez; en ufak bir darbede gözeneklerinde çatlaklar oluşmaya başlar ve çatlakların arkası kesilmez.

Kırılganlık ve gözeneklilik sorununu çözen, Doğu'nun çömlekçileri oldu. Doğulu çömlekçiler önce bir şeyi fark ettiler: Pişmiş toprak özel bir tür külle kaplanırsa o kül, pişirme sırasında çömleğin dış tarafına yapışan camdan bir kaplamaya

dönüşüyordu. Bu cam katman, pişmiş toprağın dış yüzeyindeki tüm gözenekleri kapatıyordu. Üstelik sırın dağılımını ve bileşimini değiştirmek suretiyle çömlekler renklendirilip süslenebiliyordu. Sır tekniği, içeri su kaçmasını önlemekle kalmadı, bir anda seramikler için yepyeni bir dünya olan estetiğin kapılarını da açtı.

Bugünlerde bu sırlı pişmiş toprak ürünlerle sık sık karşılaşırsınız. Benim mutfağımda bir sürü var; lavabonun ve ocağın çevresindeki duvarlar sırlı pişmiş toprak fayansla kaplı. Hem temizlemesi kolay hem de güzel görünüyorlar. Banyolar ve tuvaletler de boydan boya aynı malzemeyle kaplı. Yer döşemelerinde, duvarların, hatta binaların kaplamasında desenli fayansların kullanılması özellikle Ortadoğu ve Arap mimarisiyle bağlantılıdır.

Sırlama, pişmiş kile su girmesini önlemekle birlikte, seramiğin gövdesindeki gözeneklilik sorununu çözmez. Oysa çatlakları başlatan, gözeneklilik sorunudur. O yüzden fayanslar, tıpkı sırlanmış terakota fincanlar ve kâseler gibi, hâlâ nispeten zayıftır. Çinliler bu sorunu da çözdü ama bunun için tamamen yeni bir seramik türünün icat edilmesi gerekti.

İki bin yıl önce Doğu Han Hanedanlığı'nın çömlekçileri seramiklerini geliştirmenin bir yolunu ararken, yalnızca farklı türlerde killerle değil, aynı zamanda nehirlerde hiç bitmeyen minerallerle karıştırdıkları kendi kil karışımlarıyla da deneyler yapmaya başladılar. Karışımlarına ekledikleri maddelerden biri beyaz kaolin mineraliydi. Neden? Bilen yok. Belki sırf araştırmacılık ruhuyla hareket ettiler, belki de rengini beğendiler.

Her türlü farklı karışımı denemişlerdir kuşkusuz ama sonunda kaolin ve diğer birkaç bileşenin bir kombinasyonunu keşfettiler: Bu bileşenlerin arasında beyaz bir kil oluşturan, pişirilince güzel görünümlü beyaz bir seramik meydana getiren feldspar ve kuvars mineralleri vardı. Karışım pişmiş topraktan daha dayanıklı değildi ama fırının sıcaklığı 1300°C gibi aşırı

yüksek bir sıcaklığa çıkartılırsa bu kilde, bildikleri diğer hiçbir kilde görülmeyen, tuhaf bir şey gerçekleşiyordu. Kil sulu görünümlü bir katıya dönüşüyordu; ortaya çıkan beyaz seramiğin mükemmel denecek kadar pürüzsüz bir yüzeyi vardı. O güne dek kimsenin görmediği güzellikte bir seramikti bu. Üstelik hiçbir seramikte bulunmayan dayanıklılığa ve sağlamlığa sahipti. O kadar dayanıklıydı ki çatlamaya karşı direncinden ödün verilmeden son derece ince, hatta neredeyse kâğıt inceliğinde fincanlar ve kâseler üretilebiliyordu. Üretilen fincanlar yarı saydam denecek kadar inceydi. Porselendi bu.

Dayanıklılık, hafiflik, narinlik ve aşırı pürüzsüzlük özelliklerinin birleşimi o kadar güçlü bir izlenim bıraktı ki çok geçmeden kraliyetle ilişkilendirilen malzeme, krallığın servetini ve incelikli estetik zevkini yansıtan bir imge haline geldi. Ama başka bir anlamı daha vardı: Malzemeyi üretmek için doğru mineral karışımını hazırlamak, pişirmek içinse yüksek sıcaklıklar oluşturabilecek fırınlar yapmak engin bir bilgi ve beceri gerektirdiğinden, porselen teknik beceri ile sanatsal ifadenin mükemmel uyumunu simgeler hale geldi. Başlangıçta Han Hanedanlığı için bir gurur kaynağı olan şey, çok geçmeden hanedanın olağanüstü becerisini dile getiren bir kimlik meselesine dönüştü. Çin tarihinde o andan itibaren farklı hanedanlar farklı türde kraliyet porselenleriyle ilişkilendirilmeye başladı.

Hanedanlar saraylarını ürettikleri muazzam güzellikteki vazo ve tören kâseleriyle donatarak, seramiklerini gururla sergilediler. Ama saygıdeğer konuklarının bu yeni malzemenin yarı saydamlığına ve hafifliğine hayran kalabilmesi için onlara bakmakla kalmayıp dokunmaları gerektiğini de fark ettiler. Çay içmek bu iş için mükemmel bir yoldu. Konuklara porselen fincanlarda çay sunmak yalnızca teknik açıdan gelişmişliğin değil, aynı zamanda kültürel zarafetin de bir ifadesi haline gelirken, sonunda törensel bir ritüele dönüştü.

Çin porseleni diğer tüm seramiklerden o kadar üstündü ki Ortadoğu ve Batı'dan gelen tüccarlar bu malzemeyle karşılaşınca, Çin porseleninin bir meta olarak ne kadar değerli olacağını anında fark ettiler. Yalnızca porseleni değil, çay içme ritüelini de ihraç ettiler; birlikte Çin kültürünün elçileri haline gelen porselen ve ritüel, gittiği her yerde sansasyon yarattı. O sıralarda Avrupalılar içeceklerini hâlâ ahşap, kurşun kalay alaşımı, gümüş veya pişmiş toprak malzemelerden içiyorlardı. Porselen, Çinlilerin teknik açıdan dünyadaki diğer herkesten daha ileride olduğunun fiziksel bir kanıtıydı. Porselen bir çay fincanı takımınız varsa ve misafirlerinize en iyi Çin çayını sunuyorsanız, derhal özel bir gruba dâhil oluyordunuz. Böylece "beyaz altın" veya "çini" denen bu fevkalade beyaz porselenin büyük çapta ticareti yapılmaya başladı.

Porselen ticareti o kadar büyüdü ki Avrupa'daki pek çok kişi porselen yapmayı öğrenirse çok zengin olabileceğini fark etti. Ama kimse yaklaşamadı bile: Avrupalıların yolladığı onca casusa karşın, porselen yapım yöntemi yalnızca Çinlilerin bildiği, kıskançlıkla saklanan bir sır olarak kaldı. Ancak 500 yıl sonra, Saksonya Kralı'nın Johann Friedrich Böttger adında bir adamı zindana atıp yaşamının bu sırrı öğrenmeye bağlı olduğunu söylemesi üzerine ilk Avrupa porseleni üretilebildi.

Böttger bir simyacıydı ama 1704'te zindandayken von Tschirnhaus adında bir adamın emri altında çalışarak porselen üretmek amacıyla çeşitli beyaz minerallerle sistematik deneyler yapmaya zorlandı. Yerel bir kaolin tortusunun keşfedilmesi dönüm noktası oldu. Gereken yüksek sıcaklıkları da elde etmeyi başarınca, Çinlilerin bin yılı aşkındır bildiği şeyi öğrendiler.

Böttger, porselen yaptığını ispatlamak için yeni fincanlarla çay sunmayı değil, fincanlardan birini az önce 1350°C'de pişmiş olduğu akkor halindeki fırından çıkarıp su dolu bir kovanın içine atmayı tercih etti. Çoğu seramik termal şok nedeniyle bu

aşırı koşullarda paramparça olurdu; pişmiş toprak ve çömlekler patlardı. Ama porselenin sağlamlığı ve dayanıklılığı o kadar büyüktü ki hiçbir zarar görmedi.* Kral, Böttger'i layığıyla, von Tschirnhaus'u da cömertçe ödüllendirdi çünkü Avrupa porseleninin icadı kralı inanılmaz ölçüde zenginleştirmek üzereydi.

Bu olaydan sonra, Avrupa'nın dört bir yanındaki bilim insanları ve çömlekçiler porselenin sırrını bizzat keşfetmek için deneylere giriştiler. Endüstriyel casusluk doruğundaydı ama yine de İngilizlerin yerel katkı maddelerini kullanarak, adına "kemik porselen" (*bone china porcelain*) dedikleri kendi porselenlerini yapmaları için bir elli yıl daha gerekti. İşte annemle babama düğün hediyesi olarak verilen çay takımı bu malzemeden yapılmıştı.

Demek ki Miodownik düğününün duyurulduğu 1962 yılında, Cornwall'daki madenciler, 200 yıldır her sabah yaptıkları gibi yola koyulup Cornwall tepelerinin yabani otlarını yara yara Treviscoe maden çukuruna gitmiş ve madenden ender bulunan, alışılmadık bir beyaz kil, kaolin çıkarmışlardı. O sırada yolun ilerisindeki bir granit madeninde, başka madencilerin çıkardığı taşların arasında mika, feldspar ve kuvars vardı. Staffordshire'daki ve Cheshire, Derbyshire, Leicestershire, Warwickshire, Worcestershire ve Shropshire'ın civar ilçelerindeki çiftçilerin yetiştirdiği hayvanların kemikleri önünde sonunda yakılıp ezilerek toz haline gelecekti. Tüm bu maddelerin yolu, bir kış günü bendeki fincanın ve takımın diğer parçalarının doğduğu Stoke-on-Trent'e düşecekti.

Kent yılın bu zamanında, burayı İngiliz çömlekçiliğinin memleketi yapan şişe biçimli kırmızı tuğladan yüzlerce fırının ürettiği yoğun bir duman bulutuyla kaplı olurdu. O günlerde

* Bu öykü genelde inandırıcı bulunmasa da, biz 2011 yılında BBC 4'ün *Ceramics: How They Work* adlı program dizisi için aynı deneyi yaptık ve porselenin gerçekten de akkor halindeyken suya daldırıldığında termal şoka girmediğini doğruladık.

duman bulutundan çok belirgin bir kükürt ve hafif asidik bir koku yayılırdı. Belki de ben 1987'de orada yaşarken sıklıkla görüldüğü gibi, bulutlar o kadar alçağa inerdi ki tüten bacaları gözlerden gizleyerek, kente bir rüyanın parçasıymış gibi, gerçekdışı bir görünüm katardı. Fabrikaların içinde fırınların ısıttığı hava sıcak, kuru ve huzurlu olurdu. Tezgâhlar ve mekanik araç gereçlerle dolu, yan yana dizilmiş odalarda işleri başından aşkın kadın ve adamlar işlerine gömülmüş, envaiçeşit seramik ama en çok da tabaklar, altlıklar ve elbette çay fincanları yaparlardı. Hareketlilik muazzam boyutlara varır, her yanı bir gayretkeşlik havası kaplardı. Üstelik her şey tek bir maddeden yapılırdı. O madde fabrikaya hükmeder, her yere damgasını vururdu. Fabrikanın her yanında mineral-kemik karışımı o incecik beyaz tozun izi bulunurdu.

Tozun kendisi bir hayli özelliksiz görünür, içine su eklenip yapışkan hamur kıvamında, işlenebilir bir kil haline geldiğinde bile fazla bir şey vaat edeceğe benzemezdi. Wedgwood fabrikasında, ömrü boyunca bu işi yapmış bir kadın, fincanları elle şekillendirirdi. Hamur parçaları çömlekçi tekerleğinin ve böyle usta bir zanaatkârın hünerli ellerinin yardımıyla çok kısa bir sürede fincana dönüşürdü. Ardından adeta erken doğmuş bebekler gibi dayanıksız, ıslak ve kırılgan fincanlar bir tepsiye konurdu. Bu aşamada kendi hallerine bırakılsalar tıpkı çamurdan yapılmış bir fincan gibi kuruyup bel verir, sonra da çatlayıp parçalanırlardı. Ama bırakılmaz, çarçabuk fabrikanın başka bir kısmına götürülürlerdi.

Orada, kocaman parmakları nasır tutmuş, son derece hünerli bir adam ateş kilinden (özellikle yüksek sıcaklıklara dayanabilen, bu yüzden de pişirme esnasında diğer killere ev sahipliği yapan kil türü) hızlıca adına sagar denen bir kutu yapar, fincanları içine koyardı. Fincanlar birbirine değmesin diye dikkatle dizilir, mekanik desteklerle desteklenirdi. Ardından, her şey

hazır olduğunda, son bir kil parçasıyla sagarın ağzı mühürlenir, fincanlar içeri kapatılırdı. Onca ıslak ve zayıf fincanla sagarın içi hem karanlık hem de soğuk ve nemli olurdu.

Ertesi gün sagar, diğer beş yüz kadarıyla birlikte, şişe biçimli fırınlardan birine yerleştirilirdi. Fırın tamamen dolduktan sonra mühürlenir, altındaki odun ateşi yakılırdı. Sıcaklık gün içinde artıp fincanları bir bütün halinde tutan tüm suyu buharlaştırırken, fincanlar dumana ve buhara maruz kalan sagarın koruması altında el değmemiş beyazlıklarını koruyarak, ağır ağır kururdu. Sıra, fincanların doğumunun en hassas aşamasına gelirdi. Bu noktada, aralarında yapıştırıcı işlevi görecek hiçbir şey bulunmadığından, birbirine tutunmuş bir mineraller yığınından ibaret fincanlar acizlik derecesinde zayıf olurken sagar, dumanın ve aşırı ısınmış havanın güçlü akımlarının fincanları parçalamasını önlerdi.

Sıcaklık daha da arttıkça, minerallerin bileşenleri olan kristaller dönüşüme uğrayıp biçim değiştirirdi. Dans eden atomlar bir kristalden diğerine atlayıp aralarında köprüler kurmak suretiyle fincanın iç mimarisini yeniden düzenler, tek bir katı kütle haline getirirdi.

Ardından, yükselmeye devam eden sıcaklık 1300°C'ye varıp fırın akkor haline gelince, sihir kendini göstermeye başlardı: Kristallerinin arasında gidip gelen kimi atomlar bir cam nehrine dönüşürdü. Artık büyük ölçüde katı ama kısmen de sıvı olurlardı. Sanki fincanların damarlarında sıvı camdan bir kan akıyormuş gibi olurdu. Bu sıvı, kristallerin arasındaki küçük deliklere girerek tüm yüzeyi kaplardı. Seramiğin hemen hemen tüm diğer türlerinin aksine, fincanlar kusursuzluğun nasıl bir his olduğunu anlardı.

Fırının açılacak kadar soğuması iki gün sürerdi ama fincanlar hâlâ kaldırılamayacak kadar sıcak olurdu. Yine de üç kat yün kazak ve ceket giyen, yüzü gözü is içinde kalmış, iriyarı,

güçlü kuvvetli bir grup adam fincanları çıkarmaya gelirdi. Birkaç sagar pişirme esnasında çatlayıp açıldığından, içlerindeki fincanlar fırının ateşine ve dumanına maruz kalarak, üzücü bir son yaşardı. Ama Miodownik fincanları, sagar dikkatlice kırılıp açılarak tam biçimini almış en olağanüstü kemik porselen örneklerini dünyaya getirene kadar, rahimlerinde güvenle yatardı. Kusurları olup olmadığı kontrol edildikten sonra, son bir denemeye tabi tutulurlardı: Bebeğin poposuna tokat atılması gibi, fincanlar teker teker bir uzmanın fiskesini yerdi.

Bir fincanın içinin tamamen şekillendiğini anlamanın en kesin ve temiz yolu, fincandan çıkan çınlama sesidir. Eğer içinde herhangi bir kusur, akkor halindeyken akışkan hale gelen cam nehrinin dolduramadığı herhangi bir delik varsa fincanlar sesin bir kısmını emerek yankılanmayı önler. Böyle fincandan boğuk bir ses çıkar. Ama tam yoğunluktaki bir fincan çınladıkça çınlar. Miodownik fincanlarının resmen dünyaya kabul edildiğini bildirecek olan şey, bu çınlamadır. Terakota bir fincana vurursanız neredeyse hiçbir şey duymazsınız ya da en fazla boğuk bir tak sesi çıkar. Ama benim fincanımın porseleni kusursuz ve tam yoğunlukta olduğundan, kâğıt gibi inceliğine ve yarı saydamlığına karşın, elli küsur yıl sonra hâlâ o çınlama sesini duyabilir, dayanıklılığını ve canlılığını anlayabilirsiniz.

Bu fincanlar hep Miodownik ailesinin özel günlerinde kullanıldı. Annemin annesi İrlanda'dan kalkıp kızının yeni evini ziyarete geldiğinde kullanılan çay takımının parçasıydılar. Miodownik'lerin ilk oğlu Sean'ın doğumunu kutlamak için tüm aile bir araya geldiğinde oradaydılar. 1977'te komşular annemle babamın Gümüş Yıldönümünü kutlamaya çağrıldığında ve Alan Dayı içlerinden biriyle çaktırmadan votka içip çiçek tarhlarının üstüne düştüğünde oradaydılar. Dede Moidownik'in bir hapşırıkla tıka basa dolu yemek masasını sümük içinde bıraktığı ve çıkan velvelede fincanlardan birinin masadan düşüp kırıldığı

Noel gününde oradaydılar. Tüm Miodownik oğulları evlenirken oradaydılar, Sean hariç: O bir uçağa atlayıp Hawaii'ye giderek sahilde evlendi.

Porselen fincanlar kıymetli bir düğün hediyesi sıfatıyla Miodownik ailesinin yalnızca merasimli yanını gördüler. Yalnızca özel durumlarda etki yaratmak için ortaya çıkarıldılar. Gündelik yaşamda hiç yer almadılar: Ne yatağa ne sebzeliğin oradaki bahçe duvarına ne de top oynayan oğlanlara çay getirmek için kullanıldılar. Böylesi ev halleri kupaların, daha düşük kaliteli sırlanmış dayanıklı seramik (*stoneware*) veya pişmiş toprak fincanların alanıydı. Böyle fincanlar kalın cidarlıdır çünkü aksi halde sağlam kalamayacak kadar zayıf bir malzemeden yapılırlar. Hem ucuz hem de keyifli olan bu dayanıklı kupaları böylesine samimi kılan, resmiyetten uzak biçim ve boyutlarıdır. Bu kupalardan çay içmek de oldukça ucuz ve keyiflidir. Çay, kökenleri Çin'e dayansa da İngilizlerin ulusal içeceğidir. Ama İngiltere'deki çayın rolü, Han Hanedanlığının zenginliğini ve inceliğini göstermek için sunulan çayın rolünden oldukça farklıdır. İngiltere'de çay genelde harmanlanıp öğütülmüş en ucuz çay türünü içeren poşet çaylardan yapılır. Biz çayı koyu, kahverengi ve malt kıvamında görmek isteriz; kahverengi iyi çayla bağdaştırılan bir renktir, oysa aslında bizim çayımızın tadı daha saf türlere kıyasla oldukça yavandır. Hem acımtırak aromalarını dengelemek için hem de soğuk, yağmurlu günlerde içimize huzur versin diye, çayı sütlü içeriz. İngiliz çayı basit aromalara sahip, incelikten yoksun, iddiasız bir içecektir. Özellikle de kupadan içildiğinde.

Terasımda çay içtiğim porselen fincan annemle babama düğünlerinde hediye edilen takımın sonuncusu. O zamandan bu yana çok şey değişti, artık çay takımı yeni evli çiftlerin evinin olmazsa olmaz bir parçası değil çünkü artık incelik ile zarafet, ince porselen ve iyi çayla ölçülmüyor. Porselen modern ve

faydalı olacak şekilde kendini yenilemek zorunda kaldı. Porselenler bugün de düğün hediyelerinin arasında yer alıyorlar almasına ama bunlar genelde tasarım itibariyle şık görünümlü, en önemlisi de bulaşık makinesinde yıkanmaya müsait düz beyaz tabaklar, hatta kupalar biçiminde karşımıza çıkıyor.

Miodownik düğün takımının sonuncu fincanını gündelik yaşamda kullana kullana, o fincanın sonunu hazırladığımın farkındayım. Fincana her çay konduğunda, çayın ısısı fincanın içyapısında çatlağa baskı yapan gerilimler oluştururken, içindeki çayın ağırlığı birkaç atom bağının daha kopmasına yol açıyor. Azar azar, boydan boya uzayan çatlak, minik bir kurtçuk gibi fincanı için için yiyor. Fincan bir gün paramparça olacak. Belki de onu artık kullanmayı bırakıp ailemin düğününün bir hatırası olarak saklamalıyım. Ama o fincanla her gün çay içerek, annemle babamın birbirine olan sevgisine kadeh kaldırdığımı düşünmeyi yeğliyorum; sonuçta bu fincan da bunun için tasarlanmıştı.

10. Ölümsüz



1970'lerde *Altı Milyon Dolarlık Adam* adlı bir Amerikan dizisi vardı. Dizinin kurgusu, korkunç bir kaza geçiren astronot Steve Austin'in ölmesine ramak kalmışken, ona vücudunu ve duyusal yetilerini geri kazandırmak için deneysel cerrahi

yöntemlere başvurulmasına dayanıyordu. Ama işlem Steve Austin'i sırf eski haline döndürmek için tasarlanmamıştı. Onu baştan aşağı yeniden yaratacak, "Daha İyi, Daha Güçlü, Daha Hızlı" kılacaktı. Dizide karmaşık ameliyatın ve biyonik implantların yerleştirilmesinin detayları üstünde pek durulmuyor, yeniden yaratılan Steve Austin'in insanüstü yeteneklerine odaklanılıyordu: Austin artık inanılmaz bir hızla koşabiliyor, çok yüksek engellerin üstünden atlayabiliyor, uzaktaki tehlikeleri sezebiliyordu. Ağabeylerim de, ben de bu televizyon programına bayılıyorduk, üstelik inanıyorduk da. O yüzden bir gün tırmanma kafesinden atlarken bacağımı kırdığımda, mor Peugeot 504 steyşın arabamızla hastaneye giderken içimde biraz merak, biraz da beklenti vardı; üç ağabeyimle birlikte arkaya doluşmuştuk, ağabeylerim tiz sesleriyle bir ağızdan şarkı söylüyorlardı: "Onu Baştan Yaratabiliriz, Daha İyi, Daha Güçlü, Daha Hızlı Yapabiliriz..."

Acil servise varınca, hemen muayene edildim ve ardından teşhis kondu. Bacağım kırılmasına kırılmıştı ama doktorların dediğine göre, kemiklerimin doğal kendiliğinden iyileşme mekanizması hasarı onaracaktı. Bu benim için tam bir hayal kırıklığı oldu, sağlık kurumu üstüne düşen görevi yapmaktan kaçıyordu adeta. Neden beni baştan yaratmıyorlardı ki? Anneme danıştım, annemse kemik kadar sert bir şeyin bile kendiliğinden iyileşebileceğini doğruladı.

Doktorlar kemiklerin, biraz ağacı andırırcasına sert bir dış katmanın altında yumuşak bir öze sahip olduğunu, kemiğin içindeki bu özün, görünemeyecek kadar küçük bir ölçekte gözenekli, ağımsı bir yapıdan oluştuğunu ve bunun da kemiğin içindeki hücrelerin sürekli hareket etmek suretiyle kemiği çözüp yeniden biçimlendirmesine olanak verdiğini anlattılar. Kemikler bu yüzden, kullanımlarına bağlı olarak (atlamak, koşmak gibi etkinliklerin ama en çok da yalnızca kişinin ağırlığını

taşımanın üzerlerine uyguladığı kuvvetlere karşılık olarak) kaslar gibi güçlenip zayıflıyorlardı. Doktorların anlattığına göre, astronotların en büyük sorunlarından biri, uzaydaki sıfır yerçekimi yüzünden üzerlerine böyle kuvvetler uygulanmadığında kemiklerde görülen güç kaybıydı. Doktorlar komik olduğunu düşünerek, yakın zamanda uzaya gidip gitmediğimi sordular. Kaşlarımı çatarak karşılık verdim.

Kemiklerimiz sürekli yeniden biçimlenmeye tabi bulunsa dahi kırık bir bacağın iyileşmesi için kırığın iki tarafının da birbiriyle tam temasta kalması gerekir. Yani, doktorların açıklamasına göre, bacağımı birkaç ay boyunca sabit tutacak bir tedavi uygulanacaktı. Kökeni eskiçağa dayanan, Eski Mısırlıların ve Eski Yunanların kullandığı bu tedavinin yüksek teknolojiyle uzaktan yakından alakası yoktu: Bacağımı sert bir bandaja sarmaktan ibaretti.

Mısırlılar bu iş için keten ve mumyalamada kullandıkları teknikleri, Yunanlarsa bez, ağaç kabuğu, balmumu ve bal kullanıyorlardı. Ama benim bacağıma sardıkları sargı bir on dokuzuncu yüzyıl Türk icadı olan alçıydı. Alçı, suyla karıştırıldığında çimento gibi sertleşen kurutulmuş jips mineralinden (alçıtaşı) yapılan bir seramiktir. Ancak alçı tek başına kullanılmayacak kadar kırılgandır. Birkaç gün sonra çatlayıp parçalanır. Oysa pamuklu bandajlarla birleştirildiğinde, bandajların lifleri çimentoyu güçlendirerek, çatlakların oluşumunu durdurduğu için iyice sertleşir. Bu haliyle kırık bir bacağı haftalarca içinde saklayabilir. Bu uygulamanın Mısırlıların ve Yunanların yöntemine kıyasla en büyük avantajı, bacağımın kendiliğinden iyileşmesi için üç ay boyunca yatağa mahkûm olmak zorunda kalmayacak olmamdı. Kırık alçısı tamamen iyileşmeyi sağladığı gibi, bir insanın ağırlığını taşıyacak ve koltuk değnekleriyle yürürken yaşanan çarpmalara dayanacak kadar katı ve dayanıklıdır. Bu

malzemenin icadına kadar kırık bacaklar, çoğu kez kalıcı topallıklarla sonuçlanıyordu.

Islak alçının bacağıma sarılmış bandajlara uygulandığı anı hâlâ hatırlıyorum. Jipsin suyla tepkimeye girmesiyle oluşan sıcaklık ve tenimi saran yumuşak bandajlar katılaşırken bacağıma yayılan karıncalanma, tuhaf bir ikiliydi. Aniden bacağımın orta yerinde bir kaşınma peyda olunca, kaşınmamak için kendimi tutmak zorunda kaldım; işkence gibiydi. Sonraki birkaç ay boyunca o kaşıntı yine ara ara yokladı. Genelde gecenin bir yarısında geliyordu ama yapabileceğim bir şey yoktu. Annemin dediğine göre, *Altı Milyon Dolarlık Adam* gibi yeniden yaratılmanın bedeli buydu. Oysa beni yeniden yaratmıyor (*keşke* öyle yapsalardı), yalnızca vücudumun kendiliğinden iyileşmesini sağlıyorlardı. Hiç de öncekinden daha hızlı, daha güçlü veya daha iyi olmayacaktım. Annemse makul nedenlerle çenemi kapamamı söyledi.

O zamandan beri yaşamım birtakım ciddi yaralanmalara ve dolayısıyla hastane ziyaretlerine sahne oldu. Vücudumdaki her kemiği kırmadım ama bunun için bir hayli uğraştım. Kaburgalarımı ve parmaklarımı çatlattım, kafam yarıldı, cama girdim, karın zarım yırtıldı, bıçaklandım ama her seferinde, sağlık kurumunun gözetiminde olsa da vücudum kendiliğinden iyileşti. Ömrüm boyunca doktorların beni "yeniden yaratmaya" gerek duyduğu yalnızca iki sorun yaşadım. Birincisi çok uzun zaman önce başıma geldi ama o zamandan beri defalarca ortaya çıkan bir soruna dönüştü.

Önce ağzımda hafif bir acıyla başladı ve birkaç gün içinde dişlerimden biriyle sınırlı, keskin ve akut bir ağrıya dönüştü. Sıcak içecekler içmek durumu kötüleştiriyordu ve derken bir gün sandviçimi ısırırken korkunç, tüyleri ürpertecek cinsten bir çatırtı duydum. İşin kötüsü, ses ağzımın içinden geliyordu. Daha

da beteri, bir şimşek gibi damağımdan beynime ilerleyen yoğun bir acı, sese eşik ediyordu. Hasarlı bölgeyi dilimle dikkatlice yoklayınca, dehşete kapılarak, vaktiyle sert ve düz bir dişin bulunduğu yerde sivri tırtıklar keşfettim. Dişimin yarısı kopmuş gibiydi adeta ki gerçekten de durum buydu. Olaydan sonra bir şey yiyip içemedim çünkü anlaşılan sinirlerimden biri kopmaya maruz kaldığı için o kadar hassaslaşmıştı ki dişime herhangi bir şey değince her yanıma bıçak gibi ağrılar saplanıyordu.

Mısırlılar ve Yunanlar bunu tedavi edemezdi. Atalarımız diş çürükleriyle yaşıyor, sürekli diş ağrısı çekiyorlardı. Ağrı dayanılmaz hale gelince çürük diş çekiliyordu, bu işi de ya yerel bir demirci pensesiyle yapıyordu ya da eğer hasta şanslıysa eğitimli bir doktor. Tıp ilerledikçe afyon ruhu gibi, acıyı dindirecek anestezikler kullanıma girdi.

1840'ta, büyük ölçüde gümüş, kalay ve cıvadan oluşan "amalgam" adlı alaşımın icat edilmesi dönüm noktası oldu. Amalgam başlangıçta, içeriğindeki cıva yüzünden oda sıcaklığında sıvı halde bulunan bir metaldir. Ancak diğer bileşenlerle karıştırılınca, cıva, gümüş ve kalay birbiriyle tepkimeye girerek, son derece katı, dayanıklı ve sert olan yeni bir kristal oluşturur. Bu mucize malzeme sıvı haldeyken diş çukuruna sıkılıp kurumaya bırakılabilir. Amalgam katılaşırken aynı zamanda azar azar genleşerek dolguyu diş çukuruna öyle bir oturtur ki dolgu ile diş arasında sağlam bir mekanik bağ kurulur. Amalgamdan yapılan dolgular, kurşun ve kalaydan yapılan eşdeğerlerinden açık ara üstündür. Kurşun ve kalay denenmiştir ama bunlar uzun süre dayanamayacak kadar yumuşaktır; ayrıca amalgamdan çok daha yüksek olan kaynama noktalarına kadar ısıtılmadan, dolayısıyla da muazzam bir acıya yol açmadan diş çukuruna dökülemez.

Bu alaşımın çürükleri ilk kez diş çekmeden, ucuz bir şekilde tedavi etmekte kullanılmasından yüz elli yıl sonra, dişime

ilk amalgam dolgumu yaptırdım. Dolgum hâlâ duruyor, dilimle pürüzsüz, kaygan yüzeyini hissedebiliyorum. Dolgu beni fiziksel ve zihinsel bir enkazdan, bir kez daha kıvranıp duran, muhtemelen birazcık da sinir bozucu bir oğlan çocuğu olmaktan kurtardı. O zamandan bu yana sekiz dolgu daha yaptırdım; ilk dördünde amalgam kullanıldı, diğer dördündeyse kompozit reçine. Kompozit dolgular, dolguya sertlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık verirken, aynı zamanda dişin rengine diğer amalgamlardan daha iyi uyum sağlayan bir silika tozu ile güçlü saydam bir plastiğin bileşimidir. Kompozit dolgular, amalgam gibi, sıvıyken diş çukuruna dökülür. Ama çukura yerleştikten sonra, ağza sokulan küçük bir ultraviyole ışığı reçinenin içinde dolgunun neredeyse anında sertleşmesini sağlayan bir kimyasal tepkime başlatır. Diğer bir modern seçenek ise hasarlı dişi çekerek yerine porselen (veya zirkonyum) bir taklidini koymaktır. Bunlar kompozit dolgulardan bile daha dayanıklıdır, renk uyumları da daha iyidir. Dişçilikte kullanılan bu biyomalzemeler olmasaydı şimdi ancak birkaç dişim kalmıştı.

1999'da New Mexico'da çalışırken vücuduma yerleştirilen ve bugün hâlâ bel bağladığım bir biyomalzemem daha var. Bu malzemeye bağımlı duruma düşmem, kapalı sahada futbol oynamamın bir sonucuydu. Top ayağımdaydı; tam hızlı bir dönüş yaparken dizimde çok belirgin bir kıtlama sesi eşliğinde kıvrandırıcı bir acı duydum. Dışarıdan hiçbir darbe almadan, yalnızca burkma hareketi yaparak dizimi yırtabileceğimi düşünmek çok tuhaf geliyor ama başıma gelen buydu. Sağ dizimi yerinde tutan ve ön çapraz bağ denen bağlardan birini koparmıştım.

Bağlar vücudumuzun elastik bantlarıdır. Kaslarımızı kemiklerimize yapıştıran tendonlar ve kaslarla birlikte eklemlerimizi bir arada tutar ve elastik olmamızı sağlarlar. Bir kemiği diğerine bağlamak, bağların işidir. Viskoelastiktirler, yani anında belli bir miktar esnerler ama ardından esneme devam ederse uzarlar.

Atletler kısmen bu yüzden eklemlerini esnetmek için esneme egzersizleri yaparlar: Aslında yaptıkları şey bağlarını uzatmaktır. Eklemlerimizde böylesine hayati bir rol oynamalarına karşın bağlarda kan akışı yoktur, dolayısıyla da bir kere kopunca yeniden çıkmaları fiilen imkânsızdır. O yüzden dizimi yeniden tam kapasite kullanabilmek için bir proteze ihtiyacım vardı.

Bu konuda pek çok cerrahi yaklaşım vardır. Cerrahım ön çapraz bağımı yeniden biçimlendirmek için kendi dizardı kirişimin (*hamstring*) bir kısmını kullanmayı tercih etti ama onu mekanik olarak dizime bağlamak için birkaç vida kullanmak zorundaydı. Eğer bir gün tekrar futbol oynayacak veya kayak yapacaksam yeni bağımı o vidalar yerinde tutacaktı.

Vücutlarımız içlerine giren malzemeler konusunda çok seçicidir. Çoğu malzeme reddedilir ama titanyum vücutlarımızın kabul ettiği az sayıdaki metalden biridir. Dahası, titanyum vücudumuza girince kemikle bütünleşir (osseointegrasyon), yani canlı kemikle güçlü bağlar kurar. Eğer bir hamstring parçasını bir kemiğe bağlamak istiyor ve o bağın zamanla zayıflayıp gevşemesini istemiyorsanız titanyum fazlasıyla işinize yarar. Benim titanyum vidalarım on yılı aşkın bir süredir hâlâ yerlerindeler üstelik hâlâ ilk günkü gibi olmaları gerekiyor çünkü titanyum hem dayanıklılığı, hem de kimyasal açıdan atıllığı dikkate değer bir şekilde bünyesinde toplar. Vücutla bir şekilde tepkimeye girmeyen çok az metal vardır, paslanmaz çelik bile vücudun içindeki çetin kimyasal koşullara karşı dayanıklı değildir. Titanyum ise titanyum oksit kaplaması sayesinde ömür boyu dayanabilir ve ben, benimkilerin ömrüm boyunca dayanmasını umuyorum. Titanyum aynı zamanda yüksek sıcaklıkları da kaldırabildiğinden, vidalarım büyük olasılıkla ben ölüp yakıldıktan sonra tanınabilir durumdaki son parçalarım olacak. Yeniden gün yüzü gördüklerinde akrabalarım umarım onlara hak ettikleri değeri verir çünkü onlar olmasaydı yapmayı sevdiğim çoğu şeyi

yapamazdım. Ne koşabilirdim ne ailemle futbol oynayabilirdim ne de dağlarda yürüyebilirdim. Titanyum vidalar ve cerrahım bana atletizmimi geri verdiler; bunun için onlara borcum büyük.

Ama elbette henüz ölmedim ve fiziksel gücümü ve sağlığımı elli yıl daha korumak istiyorum. Bunun için de çok büyük ihtimalle biraz daha yeniden yaratılmam gerekecek. Şimdiki teknolojiye bakınca umutlanıyorum çünkü *Altı Milyon Dolarlık Adam*'daki teknolojiye ulaşmamıza daha çok yol varsa da son kırk yıl bu cephede oldukça etkileyici gelişmelere sahne oldu.



1982'de annem dedemle birlikte yürüyor.

Fotoğraf doksan sekiz yaşında ölen dedeme ait. Uzun bir yaşam sürdü, ölümüne kadar aklı yerindeydi ve bastonla da olsa yürüyebiliyordu. Herkes bu kadar şanslı değildir. Yine de pek çok sağlık sorunu vardı ve boyu ciddi kısalmıştı. Böyle bir çöküş

kaçınılmaz mıdır yoksa gelecekte insan vücudunu yeniden yaratarak yaşlanmanın başlıca etkilerine savaş açabilecek miyiz? Biyomedikal araştırma laboratuvarlarından çıkan yeni teknolojiler, şimdi kırk üç yaşımdaki hareket kabiliyetim ve sağlığımla doksan sekiz yaşıma kadar yaşamayı ve o yaşta hâlâ yürüyüp koşabilmeyi, hatta kayak yapabilmeyi umut etmeme olanak verecek mi?

Hareket kabiliyeti açısından vücutta ilk yıpranan şey kaslar, hatta bağlar değil (ben o bakımdan biraz şanssızdım), eklemlerin iç yüzeyleridir. Bu bakımdan diz eklemleri ve kalça eklemleri özellikle zarar görmeye müsaittir çünkü bir hayli ağırlık taşıyan, karmaşık bir hareket mekanizmaları vardır ama dirsek, omuz ve parmak eklemleri de yıpranır. Bu mekanik yıpranma ve aşınma acı verici, kronik osteoartrit (eklem iltihabı) durumuyla sonuçlanır. Artritin bir başka türü olan romatizmal artrit, vücudun bağışıklık sisteminin eklemlere saldırması sonucunda oluşur ve benzer bir etkisi vardır. Ama ister eklemleriniz kendi kendini yok etsin, ister araba kazası veya spor yaparak bu işi siz üstlenin, fark etmez; kalçanızı, dizinizi, dirseğinizi veya başka bir ekleminizi bir kere kullanamamaya başladınız mı, istirahat edip hareketsiz kalmanız sorunu çözmeyecektir. Diğer kemiklerinizin aksine, eklemleriniz iç yüzeyi kendi kendine iyileşmez. Çünkü kemikten yapılmamışlardır.

Kalça eklemi protezleri bir süredir kullanımda. Bir kalça ekleminin yerine protez takma denemesi ilk kez 1891'de yapıldı ve fildişi kullanıldı ama artık titanyum ve seramik daha çok kullanılıyor. Bu protez eklemlerin şaşırtıcı bir başarı kazanmasının bir nedeni, kalça mekanizmasının oldukça basit olmasıydı: Kalçada tek bir top-yuva mekanizması vardır, bu da bacaklarımızın türlü şekillerde dönmesine olanak sağlar (o dönüşlerin çoğu doğal gelmez; daha önce yoga yaptıysanız, ne demek istediğimi anlarsınız). Hatta kalça hareketini göstermek için tasarlanmış,

adına disko dansı denen sosyal bir ritüel bile vardır: Bu alanda başarı kazanan kişi, aynı zamanda modaya da uygun giyiniyorsa, kültürel açıdan "hip"* olarak tanımlanır.

Kalçalarımız karnın içinde biçimlenir: Uyluğumuzun içindeki uyluk kemiğinin tepesinde oluşan kemik topu, leğenkemiğimizdeki yuvaya oturur. O noktadan itibaren iki kemik aynı orada büyüyerek, biz irileştikçe eklemin yerinde kalmasını sağlar. Bu kemiklerin (ve tüm kemiklerin) yüzeyi bir hayli pürüzlüdür; o yüzden vücudumuz yuvayı iki kemiğin buluştuğu noktada tutmak için kemiği dıştan saran ve adına kıkırdak denen bir doku tabakası üretir. Bu doku kemikten yumuşaktır ama kastan çok daha serttir ve iki kemik arasında pürüzsüz bir arayüz oluştururken aynı zamanda amortisör görevi de görür. Eklemi bir arada tutan bağlar, kaslar ve tendonlardır ki bu da eklemin hareketini kısıtlayarak, koştuğunuz, zıpladığınız ve evet, dans ettiğinizde topun yuvasından çıkmasını önler. Artrit oluşumunda hasar gören bu kıkırdaktır ve kıkırdaklar yenilenmez.

Bu durumda kalça protezi uyluk kemiğinizin tepesindeki topu kesip yerine titanyumdan bir top koymayı gerektirir. Leğenkemiğinizde bu topa uygun yeni bir yuva açılır, yuvanın içi de kıkırdak görevi gören yüksek yoğunluklu polietilenle kaplanır. Tam kapasite hareketlilik sağlayan bu protezler onlarca yıl dayanır ve yalnızca polietilen aşındığı zaman yenilenmesi gerekir. Bu suni kalça eklemlerinin polietilen yastığı gereksiz kılacak kadar kolayca iç içe geçen yeni versiyonları yapıldı ama bu yeni versiyonların daha uzun süre dayanıp dayanmayacağını söylemek için henüz çok erken, çünkü metalin doğrudan metale veya daha yeni implantlarda olduğu gibi, seramiğin seramiğe değmesinden kaynaklanan başka aşınma sorunları ortaya çıkabilir. Yine de kalça protezi ameliyatları artık oldukça rutin

---

* İngilizcede kalça (hip) sözcüğünün modern, tarz sahibi vb. anlamları da vardır. *(ç.n.)*

ameliyatlardır ve şimdiden milyonlarca kişinin yaşlılığında hareket kabiliyetini geri kazanmasına yardım etmiştir.

Diz eklemi protezleri de benzer biçimde çalışır, ancak diz ekleminin mekanizması daha karmaşıktır: Eklem, bir top-yuva eklemi değildir ama yine de hem bükülme, hem de dönme hareketlerine izin vermesi gerekir. Bir dahaki sefere bir kafede otururken, çevrenizde olan biteni izlemekten başka yapacak pek bir işiniz olmadığında, insanların nasıl yürüdüğüne bakın. Yürüyüşü diz yönlendirir; yani dizinizi öne çıkartıp bir sonraki adımınızı atmak istediğiniz noktanın üstüne getirmek suretiyle, dizin altındaki alt bacağınızın ve ayağınızın bir yay çizerek yere basmasını sağlarsınız. Ayak yere basınca, yerle açısını ayarlamak için dizi ya döndürmek ya da eğmek zorunda kalır; iki hareket de dizin yeniden hizalanmasını ve konumlanmasını gerektirir ve bunlar, karmaşık işlemlerdir. Koşu ise dize daha da büyük bir ağırlık bindirir çünkü diz tüm bu işlemleri, sürekli tekrarlayan darbelerle boğuşurken yapmak zorunda kalır. Dizlerinizi bükmeden yürümeye çalışırsanız diz ekleminin hareket kabiliyetiniz için önemini görürsünüz.

Dizimdeki protezin ve kalça eklem protezlerinin toptan satışının önümüzdeki on, yirmi yılda varacağı noktayı oldukça göz korkutucu buluyorum ama hareket kabiliyetimi kazanmak için ameliyat olmam gerekirse elbette olmak isterim. Ama on yıl tıp ve malzeme bilimi için uzun bir süredir, o yüzden halihazırda süregelen araştırmalar belki o eklemlerin içindeki hasarlı kıkırdağın yeniden oluşumunu kolaylaştırarak beni ameliyattan kurtarabilir.

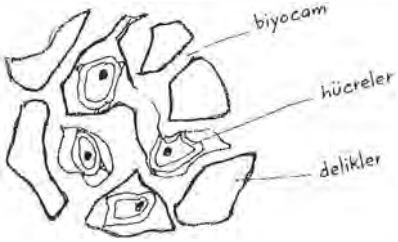
Kıkırdak karmaşık, canlı bir malzemedir. Jel gibi liflerden yapılmış bir iç iskeleti vardır ve bu iskelet büyük ölçüde kolajenden oluşur. (Jelatinin moleküler bir kuzeni ve insan vücudundaki en yaygın protein molekülü olan kolajen, cilde ve diğer dokulara esnek bir sıkılık veren maddedir; kırışık karşıtı

kremler o yüzden genelde formüllerindeki kolajenden dem vurur.) Ancak jelin aksine, buradaki iç iskelette onu oluşturan ve besleyen canlı hücreler vardır. Bu hücrelere kondroblast hücreleri denir. Hastanın kendi kök hücrelerinden kondroblast üretmek artık mümkündür. Ancak o hücreleri mevcut bir ekleme enjekte etmek kıkırdağı tedavi etmez çünkü söz konusu hücreler doğal ortamları olan kolajen iskeletinin dışında yaşayamaz. O ortamın yokluğunda ölürler. Bu iş insan ırkını yeniden kurmak için Londralıları Ay'a indirmeye benzer: Oysa mevcut bir kentin altyapısı olmaksızın insanlar büyük ölçüde aciz kalacaktır.

Eklem içinde kıkırdağın temel iç mimarisini kısmen taklit eden, geçici bir yapı kurulması gerekir. Adına yapı iskelesi denen bu yapıya kondroblast hücrelerini sokmak, o hücrelerin büyüyüp bölünerek nüfusunu artırmasına yol açar, böylelikle hücrelere doğal ortamlarını yeniden kuracak zamanı ve mekânı vererek yeniden kıkırdak oluşmasını sağlar. Bu yapı iskelesi yaklaşımının en incelikli tarafı şudur: Yapı iskelesi hücreler tarafından yenip bitirilebileceği gibi, hücrelerin doğal ortamını kurmasından sonra, diz veya kalça içinde oluşumunu tamamlamış yepyeni bir kıkırdak bırakarak çözünmek üzere de tasarlanabilir.

Kıkırdak dokuyu yeniden oluşturmak için böyle bir yapı iskelesi kullanma fikri biraz zorlama gözükebilir ama bu 1960'larda Profesör Larry Hench'in öncülük ettiği, oturmuş bir yöntemdir. Bir albay, Vietnam Savaşı gazilerinin kemiklerini yeniden oluşturacak bir yol bulması için Hench'e meydan okudu, aksi halde gazilerin uzuvları kesilecekti: "İnsanların canını kurtarabiliriz ama uzuvlarını kurtaramayız. Vücudun reddetmeyeceği yeni malzemelere ihtiyacımız var." Hench ve diğerleri, kemiğe uyabilecek malzemeler ararken hidroksiapatit denen bir malzeme keşfettiler: Vücutta doğal olarak bulunan bu mineral,

kemiğe sağlam bir şekilde bağlanıyordu. Pek çok formülasyonla deneyler yaptıktan sonra, sonunda malzemenin bir cam formu haline getirildiğinde olağanüstü özelliklere kavuştuğunu fark ettiler. Bu biyoaktif cam gözenekliydi, yani içinde küçücük kanallar vardı. Osteoblast denen kemik hücreleri bu kanallara yerleşmeye istekliydiler ve üstelik yeni kemik üretirlerken çevrelerini saran biyocamı yiyormuşçasına parçalıyorlardı.



Biyocam yapı iskelesi malzemesi ve yapının içinde büyüyen hücreler.

Doku mühendisliği bugüne dek çok başarı kazanmıştır; artık yüz ve kafatası kemiklerinin yeniden oluşturulmasında, hatta sentetik kemik tozu üretiminde kullanılmaktadır. Ağırlık taşımak zorunda kalan daha yapısal kemiklerde henüz kullanılmıyor çünkü o kemikleri yeniden oluşturmak oldukça zaman alır ama yapı iskelesi, kemik oluşumu sırasında büyük gerilimlere tek başına dayanamaz. Bu büyük yapıları oluşturmak için izlenen mevcut strateji, söz konusu işlemi laboratuvarda gerçekleştirmektir çünkü yapı iskelesi süreci, vücudun yalnızca içinde değil, dışında da işler. Hücrelerin hem insan vücudunun ısısını ve nemini taklit eden hem de hücrelere besin sağlayan bir biyoreaktörde beslenmesi gerekir. Bu teknolojinin başarısı, bütünüyle tam kapasite çalışan organ protezleri yapma olasılığını doğurdu. Bu yöndeki ilk adımlar çoktan atıldı ve laboratuvar ortamında başarıyla bir insan soluk borusu geliştirildi.

Proje, kansere yakalandığı için soluk borusu alınması gereken bir hastayla başladı. Protez olmasa, hasta ömrünün sonuna kadar makine yardımıyla nefes alacaktı. İlk adımda, CAT taraması denen ve hastanelerde sıklıkla başvurulan bir X ışını tekniği kullanıldı. CAT taramaları çoğu kez beyindeki ve diğer organlardaki kanserli kitleleri bulmak için kullanılır. Ama bu örnekte CAT taramasıyla hastanın soluk borusunun üç boyutlu bir görüntüsü alındı. Alınan görüntü üç boyutlu bir yazıcıya aktarıldı. Dijital bilgiden tam boyutlu nesneler yaratan bu yeni üretim tekniğinin işleyiş biçimi normal bir yazıcıdan çok farklı değildir: yazıcı kafası bir sayfaya mürekkep uygulamak yerine, malzeme damlaları bırakır ve her seferinde nesnenin bir katmanını koyup kat üstüne kat çıkarak, nesneyi aşama aşama oluşturur. Söz konusu teknik artık yalnızca şişeler, fincanlar gibi basit nesneleri değil, menteşeler, motorlar gibi hareketli parçalara sahip, daha karmaşık nesneleri yapmak için de kullanılabiliyor. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi şu anda arasında metaller, cam ve plastik bulunan yüz kadar farklı malzemeyi ortaya çıkarabiliyor. Profesör Alex Seifalian üç boyutlu bir yazıcı kullanarak ekibiyle birlikte geliştirdiği, hastasının kök hücrelerini içeren kişiye özel bir yapı iskelesi malzemesinden hastasının soluk borusunun birebir kopyasını yaptı.

Yetişkin kök hücrelerin rolü dokularımızı yenilemektir ve her hücre tipini üretecek eşdeğer bir kök hücre vardır. Kemik hücreleri üreten kök hücrelere mezenkimal kök hücreler denir. Ekip, yapı iskelesini kurduktan sonra, içine hastanın kemik iliğinden alınan mezenkimal kök hücrelerini yerleştirdi ve tüm nesneyi biyoreaktöre soktu. Ardından o kök hücreler kıkırdak ve başka yapılar oluşturmaya başlayan bir dizi farklı hücreye dönüşerek hem kendi kendini idame ettiren, canlı bir hücresel ortam oluşturdu hem de çevrelerindeki yapı iskeletini parçaladı. Sonunda, geriye yalnızca yeni soluk borusu kaldı.

Bu tekniğin başlıca avantajlarından biri, implantın hastanın kendi hücrelerinden yapılması ve nakilden sonra vücudunun bir parçası haline gelmesidir. Böylece hasta, vücudunun nakli reddetmemesi için ciddi yan etkileri bulunan bağışıklık sistemini baskılayıcı ilaçlar kullanmak zorunda kalmaz. (İmplantı korumak için bağışıklık sistemini baskılamak, hastayı her türlü enfeksiyona ve parazite açık hale getirir.) Ancak tedavinin etkili olması için vücudun soluk borusuna kan akışı sağlaması gerekir. Vücudun böyle bağlantıları sağlamakta tam olarak ne kadar başarılı olduğunu ise şimdilik bekleyip göreceğiz. Soluk borusunun biçimini koruyacak ve hastanın normal nefes almasını sağlayacaksa soluk borusunun hücre ekolojisi de sabit kalmalıdır. İleride karşılaşılabilecek sorunlardan biri de sterilizasyondur. Yapı iskelesinin yazdırıldığı polimerler hassastır ve geleneksel sterilizasyonun yüksek sıcaklıklarına dayanamazlar. Ancak tüm güçlüklere karşın, bir hastanın kendi kök hücrelerinden yapılan ilk soluk borusu nakli 7 Temmuz 2011'de tamamlanmıştır.



Prof. Seifalian'ın ekibinin geliştirdiği soluk borusu yapı iskelesi ve nakilden önce içine yerleştirilen kök hücreler.

Bu teknolojinin başarısı, yeni nesil yapı iskelesi malzemeleri üretimi yönündeki gelişmeleri hızlandırdı. Bir soluk borusunun mekanik açıdan işlevsel olması ve uzun süre dayanması için kan akışı sağlaması gerekir. Oysa soluk borusu, vücutta düzenleyici rolü bulunan bir organ değildir. Girişilecek bir sonraki adım, karaciğer, böbrek ve hatta kalp üretmektir. Şimdilik, söz konusu ana organlarınızdan biri işlevini yitirirse sağlığınıza kavuşmanız için organ nakli gerekiyor. Böyle nakillerde bağışlanan organ sağlıklı ve biyolojik açıdan size uygun olmalıdır, ayrıca vücudunuzun organı reddetmesini önlemek için ömrünüzün sonuna kadar ilaç kullanmak zorunda kalırsınız. Ama çoğu durumda bağışlanan organlar hastaların eski sağlıklarına ve bağımsızlıklarına kavuşması için yegâne umut olduğundan, sayıları çok yetersizdir.

Bu kronik yetersizliğin üç etkisi vardır. Birincisi, karaciğer veya böbrek yetmezliği çeken hastaların uzun vadeli sağlık hizmeti alması anlamına gelir ki bu da hem çok pahalıdır hem de hastanın bağımsızlığını elinden alır. İkincisi, kalp nakli bekleyen hastalar çoğu kez uygun bir organ bulunamadan ölür. Üçüncüsü, giderek büyüyen bir organ karaborsası vardır ve dolayısıyla özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki fakir kesim, organlarını satmak için giderek artan bir baskı altında kalmaktadır. Bu uygulamayı belgeleyen çeşitli çalışmalardan en yakın tarihlisi, Michigan Üniversitesi'nin, Bangladeş'teki otuz üç böbrek satıcısının kendilerine söz verilen parayı alamadıklarını ve geçirdikleri ameliyatların sonucunda çeşitli sağlık sorunları yaşadıklarını gösteren araştırmasıdır. Söz konusu uygulama genellikle uçakla başka bir ülkeye götürülerek, zengin alıcının organ beklediği ve operasyonun yapılacağı özel bir hastaneye kaldırılmayı kapsar. Bir böbrek fiyatının ortalama 1.200 dolar olduğu söylenmektedir.

Organ nakli için alternatif bir tedavi geliştirilmediği sürece bu sorunlar ortadan kalkmayacaktır. Biyomalzemeden yapılmış

yapı iskeleleri kullanan doku mühendisliği halihazırda en umut vaat eden alternatif teknolojidir. Şüphesiz ki güçlükler çok büyüktür. Söz konusu organların karmaşık içyapıları vardır ve genellikle organı çalıştırmak için birbirleriyle etkileşime giren pek çok farklı hücre tipi içerirler. Örneğin, karaciğer ve böbrekte tek gereken, organa kan akışı sağlamak değildir; organın vücuttaki ana arterlerle bağlantısını da sağlamak gerekir. Kalp özellikle ciddi bir sorundur çünkü tek bir kalbimiz vardır ve kalbimiz çalışmayınca ölürüz. Birkaç tür yapay kalp geliştirildi ama yapay bir kalple en uzun yaşayan kişi bir yıl hayatta kalabildi.

Üç boyutlu yazıcıların günün birinde yeni organ mühendisliğini içeren herhangi bir teknolojide merkezi bir rol oynaması olasıdır. Üç boyutlu yazıcılar şimdiden diş implantları yapmak için geniş çapta kullanılmaktadır. Üstelik 2012'de aynı teknoloji, 83 yaşındaki bir kadın için yapay çene kemiği oluşturmakta kullanıldı. O çene titanyumdan yapılmıştı ama yapay çeneyi hastanın kendi kemiği yapacak hücreleri taşıyan bir yapı iskelesi malzemesinin yazdırılması hızla mümkün hale geliyor.



Üç boyutlu bir yazıcı kullanılarak yapılan yapay çene kemiği.

İnsan vücudundaki ana organların toptan yeniden tasarlanması için, yapbozun tüm parçaları yerli yerinde göründüğünden, doksan sekiz yaşında sağlıklı ve zinde kalmamı sağlayacak yeni eklemlerimin, yeni bir kalbimin ve başka birkaç organ protezimin olabileceğini düşünmek çok zorlama gelmiyor. Peki, *Altı Milyon Dolarlık Adam* gibi, "Daha İyi, Daha Güçlü, Daha Hızlı" olur muyum?

Söylemesi zor ama yanıt büyük olasılıkla hayırdır. Çünkü bizi asıl yaşlandıran, hücrelerimiz değil, hücreleri oluşturan sistemlerin bozulmasıdır. Yaşlanmak, kulaktan kulağa oyununun hücreler bağlamındaki eşdeğeridir: Her yeni hücre kuşağı miras aldığı yapıyı birebir yeniden oluşturmadığından, araya hatalar ve kusurlar karışır. Cildimin yaşlanmasının nedeni cilt hücrelerimin kırk üç yaşında olması değildir (cilt hücrelerim zaten kırk üç yaşında değildir; yetişkin kök hücrelerimin oluşturduğu yeni hücreler, sürekli eski cilt hücrelerimin yerini alır) zamanla cildimin yapısında gelişen, sonra da bir hücre kuşağından diğerine geçen sorunlar ve kusurlar cildimi yaşlandırır. Lekeler oluşur, cilt incelir, kırışıklıklar görülür. Bu sorunlar yeniden üretilmeye devam eder.

Aynı şey kardiyovasküler sistem için de geçerlidir. İngiltere'deki bütün ölümlerin yaklaşık üçte biri dolaşım hastalıklardan kaynaklanır ve dolaşım hastalıkları, diğer tüm ölüm nedenlerinden daha fazla ölüme yol açar. Başka bir deyişle, ben büyük ihtimalle kalp krizi veya inme sonucunda öleceğim. Bu temelde kardiyovasküler sistemde, yani vücudumun işlerliğini sağlayan kalp, akciğer, arterler ve damarlar ağında yaşanan mekanik bir arızadır. Ama cerrahlar artık kardiyovasküler sistemi onarma konusunda oldukça başarı kazanmış olsa ve sistemde bir şey ters gittiğinde o tersliği düzeltse, hatta sistemdeki organları protezlerle (veya yapay ortamda oluşturulmuş implantlarla) değiştirse de bunlar o sistemin genel anlamda çok fazla

kullanıldığı gerçeğini değiştirmez. Onarım görmüş, 98 yaşındaki bir kardiyovasküler sistem hâlâ doksan sekiz yaşındadır ve arızalanması giderek kolaylaşmaktadır. Öngörülebilir bir gelecekte tüm vasküler sistemi değiştirmek söz konusu değildir.

Neticede vücut parçaları üretmek ve bunları gerçeklerinin yerine takmak giderek etkin hale gelecekse de bu farklı organlarla vücutlarımızın bağlı bulunduğu binlerce farklı sistem arasındaki ara bağlantılar, performansı zayıflatan hatalar doğurmaya devam edecek. Biz yine yaşlanacağız.

Sentetik implantlar vücudun bazı parçalarının diğerlerinden önce aşınması sorununa radikal bir çözüm getirse bile (tabiri caizse) nihai ölüm sorununa çözüm olamaz: İmplantların bize sunduğu, daha iyi bir yaşamdır. Kollarını veya bacaklarını kaybedenlerin kullanabileceği robotik uzuvlar çoktan geliştirildi. Bu elektromekanik cihazlar beynin eksik vücut parçasına gönderdiği sinir sinyallerini yakalayarak yapay uzuvda elle kavrama veya bacak hareketine çevirirler. Artık aynı teknoloji boyundan aşağısı felç olanların robotik uzuvları kullanarak, bağımsızlıklarını bir ölçüde geri kazanmasına yardım etmektedir. Gerçi söz konusu teknolojiler engelliler veya felçliler için tasarlanmıştır ama yaşlılık sonucu hareket kabiliyetini kaybeden biri tarafından da kullanılabilir.

Karşımızda doku mühendisliğinin sunduğundan farklı türde bir gelecek var: Sentetik ve elektronik bileşenlerin giderek hareket kabiliyetimize ve dünyayla aramızdaki maddi bağa aracılık ettiği, biyonik bir gelecek. Karakterinin "Daha İyi, Daha Güçlü, Daha Hızlı" olmasını sağlayan *Altı Milyon Dolarlık Adam*'ın öngördüğü teknoloji budur. Altı milyon dolar bugünün parasıyla otuz beş milyon dolar eder ve programdaki karakter her ne kadar kurgusal bir karakter olsa da ömrü uzatan teknolojilerle ilgili önemli bir gerçeğin altını çizer: Pahalıdırlar. Yüz yaşına kadar zinde ve sağlıklı yaşamlar sürmemizi sağlayacak

teknoloji büyük olasılıkla oldukça pahalıya patlayacaktır. Parayı kim ödeyecek? Bu teknolojiler bir lüks mü olacak? Doksan sekiz yaşında biz tekerli sandalyedeyken, yalnızca zenginler mi tenis oynayabilecek? Yoksa teknoloji seksen doksan yaşına kadar çalışmayı normalleştirerek, daha uzun çalışmamıza izin mi verecek? Ben ikinci geleceği tercih ederim ama eğer otuz beş milyon dolar gerçek geleceğe biraz olsun yaklaşmışsa kaç yıl çalışırsak çalışalım, çoğumuzun gücü buna asla yetmeyecektir.

Büyük olasılıkla doksan sekiz yaşıma kadar yaşarım. Ama dedem gibi boyum yarı yarıya kısalmış bir halde, bastonla ağır ağır mı yürürüm, yoksa torunlarımla tenis ve futbol mu oynarım, orası parlak biyomalzeme araştırmaları kadar, tıp ekonomisinin gidişatına da bağlı olacak. Ancak, ağabeylerimin yıllar önce söylediği o şarkının ("Onu Baştan Yaratabiliriz, Daha İyi, Daha Güçlü, Daha Hızlı Yapabiliriz...") gerçekleşmesini umuyorum. Birazcık ölümsüzlükle başa çıkabilirim.

11. Sentez



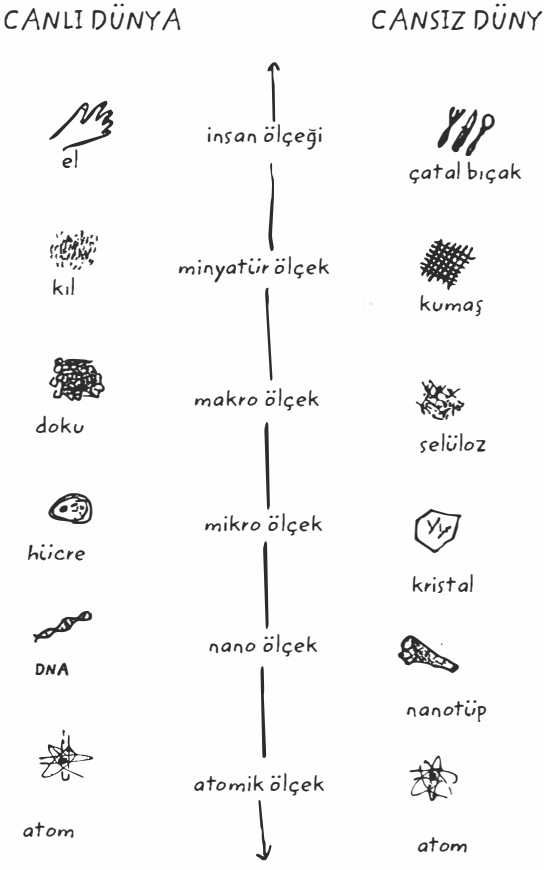
Bu kitapta maddi dünyamıza dalarak şunu göstermeye çalıştım: Çevremizdeki malzemeler aynı maddenin farklı renkte parçaları gibi görünse de aslında bundan çok daha fazlasıdır; malzemeler, insan ihtiyaçlarının ve taleplerinin karmaşık ifadeleridir.

O malzemeleri yaratmak için (barınma ve giyinme gibi ihtiyaçlarımızı, çikolata ve sinema gibi taleplerimizi doyurmak için) oldukça kayda değer bir şey yapmak zorunda kaldık: Malzemelerin karmaşık içyapılarına hükmetmek zorunda kaldık. Dünyayı böyle kavrama yoluna malzeme bilimi denir ve geçmişi binlerce yıl öncesine dayanır. Müzikten, sanattan, sinemadan veya edebiyattan ya da diğer bilimlerden daha önemsiz, insana onlardan daha uzak değildir ama daha az bilinir. Kitabın son bölümünde malzeme biliminin dilini daha etraflıca incelemek istiyorum çünkü malzeme biliminin dili, yalnızca bu kitapta detaylarıyla gözden geçirdiğimiz malzemeleri değil, tüm malzemeleri kapsayan, birleştirici bir kavram sunmaktadır.

Bu birleştirici kavram şudur: Bir malzeme yekpare gibi görünse ve yekpare olduğu hissini verse de, baştan sona tek biçimli gibi görünse de bu, bir göz yanılgısıdır: Malzemeler aslında bir araya gelerek bütünü oluşturan pek çok farklı varlıktan meydana gelir ve bu farklı varlıklar kendilerini farklı ölçeklerde gösterirler. Yapısal olarak her malzeme bir matruşka bebeğine benzer: Hemen hemen hiçbiri çıplak gözle görünmeyen, her biri bir öncekinden küçük ve bir öncekinin içine tam oturan, iç içe geçmiş pek çok yapıdan oluşur. Malzemelere karmaşık kimliğini veren şey bu hiyerarşik mimaridir; sözcüğün gerçek anlamıyla bize kimliğimizi veren de budur.

En temel malzeme yapılarından biri atomdur ama atom önem taşıyan tek yapı değildir. Bu kitapta geçen birkaç tanesini örnek göstermek gerekirse daha büyük ölçeklerde dislokasyonlar, kristaller, elyaflar, yapı iskeleleri, jeller ve köpükler vardır. Tek başlarına alındıklarında bu yapılar bir öyküdeki karakterlere benzerler ve her biri öykünün bütününe katkıda bulunur. Bazen öyküye bir karakter yön verir ama ancak hepsi yeniden bir araya getirilince, malzemelerin sergilediği davranışların nedenine tam bir açıklama getirirler. Gördüğümüz üzere, paslanmaz çelik

kaşığın tatsız olmasının nedeni, kristallerindeki krom atomlarının havadaki oksijenle tepkimeye girerek, yüzeyde görünmez koruyucu bir krom oksit tabakası oluşturmasıdır. Eğer bu yüzeyi kazırsanız, pas oluşana kadar o koruyucu tabaka yenilenir. İşte o yüzden biz çatal bıçağımızın tadını almayan ilk kuşağız. Böylesi moleküler açıklamalar tatmin edicidir ama bu örnekte malzemenin yalnızca tek bir boyutu açıklanır: tatsızlığı. Paslanmaz çeliğin sergilediği davranışı tamamen anlamak için onu meydana getiren tüm yapıları göz önüne almanız gerekir.



Malzemelere bu açıdan bakmaya başlar başlamaz hepsinin içinde ortak birtakım yapılar olduğunu fark edersiniz. (En basit örnek olarak, tüm malzemeler atomlardan oluşur.) Çok geçmeden, metallerin plastiklerle pek çok ortak noktası bulunduğunu, buna karşılık plastiklerin de cilt, çikolata ve diğer malzemelerle pek çok ortak yönü olduğunu anlarsınız. Tüm malzemeler arasındaki bu bağlantıyı gözümüzün önünde canlandırmak için malzemelerin matruşka bebeğine benzeyen hiyerarşisinin bir haritası gerekir: Tek bir ölçekte karadaki değişkenlikleri gösteren normal bir harita değil, malzemelerin iç alanını gösteren bir harita.

En temel bileşenlerden başlayalım: Atomlardan. Atomlar bizden yaklaşık on milyar kat küçüktür ve dolayısıyla atomik ölçekteki yapıları göremeyiz. Yeryüzünde doğal olarak bulunan doksan dört farklı atom türü vardır ama bu elementlerin sekizi, Dünya kütlesinin yüzde 98,8'ini oluşturur: demir, oksijen, silikon, magnezyum, sülfür, nikel, kalsiyum ve alüminyum. Diğerleri, karbon dâhil, teknik açıdan eser elementlerdir. Yaygın elementlerden bazılarını nadir elementlere dönüştürecek teknolojiye sahibiz, ancak bu iş için nükleer bir reaktör kullanmak gerekir ki bu da maden kazıcılığından çok daha pahalıya patlar, ayrıca radyoaktif atık üretir. Yirmi birinci yüzyılda altının hâlâ pahalı olmasının nedeni özünde budur. Bugüne dek çıkarılan tüm altınlar bir araya toplansa geniş bir eve sığardı. Ancak, neodimiyum veya platin gibi teknolojik açıdan son derece faydalı bazı atom türlerinin gezegende nadir bulunması belki de bir sorun değildir çünkü bir malzemeyi belirleyen, yalnızca atomik bileşenleri değildir. Artık bildiğimiz üzere, sert saydam elmas ile yumuşak siyah grafit arasındaki fark, elmas ve grafitin atomlarıyla alakalı değildir: İkisi de tıpatıp aynı saf elementten, karbondan oluşur. Elmas ile grafitin malzeme özelliklerinde kökten değişikliklere yol açan şey, atomların dizilişinin değişmesi,

kübik yapılarının altıgen tabaka katmanlarına dönüşmesidir. Bu yapılar gelişigüzel değildir (istediğiniz yapıyı oluşturamazsınız); atomlara tek bir parçacık gibi değil de çok sayıdaki olasılık dalgasının bir ifadesi gibi davranan kuantum mekaniğinin kurallarına bağlıdırlar. (Atomlar birbiriyle bağ kurunca oluşan oluşumlara yapı dendiği gibi, atomların kendisine de yapı denmesi bu yüzden mantıklıdır.) Bu kuantum yapılarının bazıları hareket edebilen elektronlar üretince, elektriği ileten bir malzeme ortaya çıkar. Grafitin yapısı böyledir, dolayısıyla elektriği iletir. Elmasta farklı bir yapıda bulunan birebir aynı atomlar, elektronların kristalin içinde o kadar kolay hareket etmesine izin vermediğinden, elmaslar elektriği iletmez. Saydamlıklarının nedeni de budur.

Görünürdeki bu simya, son derece sınırlı bir dizi atomik bileşenle bile inanılmaz farklı malzeme özelliklerine sahip malzemeler yaratabileceğinizi gösterir. Vücutlarımız bunun güzel bir örneğidir: Büyük ölçüde karbon, hidrojen, oksijen ve nitrojenden oluşuruz ama bu bileşenlerin moleküler yapısının çok küçük farklılıklarla yeniden düzenlemesi, araya da kalsiyum ve potasyum gibi birkaç mineralin serpiştirilmesi, saçtan kemiğe ve cilde kadar muazzam bir biyomalzeme çeşitliliğine yol açar. Malzeme biliminin şu vecizesinin hem felsefi hem de teknolojik önemini göz ardı edemeyiz: Temel kimyasal bileşimini bilmek, maddeyi anlamaya yetmez. Sonuçta, modern dünyayı mümkün kılan budur.

O halde, herhangi bir malzeme yapmak için atomları birbirine bağlamamız gerekir. Yüz kadar atomu bir araya toplarsanız nanoyapı denen bir şey elde edersiniz. "Nano", "milyarda bir" anlamına gelir ve nano ölçekte boy gösteren nesneler bizden kabaca bir milyar kat küçüktür. Makro moleküllerin ölçeğinde, onlarca ve yüzlerce atom bir araya gelerek çok daha büyük yapılar oluşturur. Bunların arasında vücudumuzdaki yağlar ve

proteinler bulunur. Ayrıca, selüloit yapımında kullanılan selüloz nitrat veya kâğıt yapmak için ağaçtan ayrılan lignin gibi, plastiklerin kalbindeki moleküller de vardır. Bu ölçekte yapıdaki delikler, aerojelinki gibi ince bir köpük oluşturur. Bu kitapta farklı görünümler altında boy gösterenler hep böyle yapılardır: Bu yapıları birleştiren, karakteristik özelliklerini nano ölçekte ifade etmeleridir; özelliklerini etkileyense bu ölçekteki manevralardır. İnsanlar nano ölçeği binlerce yıldır ama ancak kimyayı veya demirci ocağında metalürjiyi kullanarak, dolaylı yoldan kontrol etmektedir. Bir demirci bir metal parçasına vurduğunda, nano ölçekte dislokasyonlar "çekirdeklendirerek", başka bir deyişle atomların ses hızında kristalin bir tarafından diğerine taşınmasına yol açarak parçanın içindeki metal kristallerinin biçimini değiştirir. Biz nano ölçekteki bu mekanizmaları elbette göremeyiz. Biz kendi ölçeğimizde, yalnızca metalin biçiminin değiştiğini görürüz. Bu yüzden metali levha gibi, yekpare algılarız: Kristallerin tüm o karmaşık mekaniği, çok kısa bir zaman öncesine kadar bizim kavrayışımızın ötesindeydi.

Nanoteknolojinin bugün dillerde dolaşmasının nedeni, bu ölçekteki yapıları doğrudan idare edebilecek araçlara ve mikroskoplara kavuşmamız, böylelikle de çok daha büyük nanoyapı dizileri oluşturabilmemizdir. Bu ölçekte elektrik gibi ışık toplayıp depolayacak yapılar, ışık kaynakları, hatta kokuları sezebilen nano partiküller yaratmak artık mümkündür. Olasılıklar sınırsız görünmektedir ama daha da ilginci, bu ölçekteki yapıların çoğunun kendiliğinden bir araya gelmesidir. Yani, malzemeler kendi kendilerini örgütleyebilmektedirler. Ürkütücü gelebilir ama mevcut fizik kurallarına son derece uygundur. Araba motoruyla bir nanomotor arasındaki en önemli fark, nano versiyonunda yerçekimi kuvvetleri çok zayıfken, nesneleri çekerek bir araya getiren elektrostatik ve yüzey gerilimi kuvvetleri gibi o ölçekte egemen olan fiziksel kuvvetlerin çok güçlü olmasıdır.

Bir araba ölçeğinde, açık ara en güçlü kuvvet, motorun çeşitli parçalarını birbirinden ayrı tutan Dünya'nın yerçekimi kuvvetidir. Sonuç itibariyle nanomakineler elektrostatiği ve yüzey gerilim kuvvetlerini kullanarak bir araya toplanacak (ve aynı şekilde kendiliğinden iyileşecek) biçimde tasarlanabilir. Bu moleküler makine aksamı hücrelerin içinde zaten vardır, insan ölçeğinde biz kaslar ve yapıştırıcı gibi şeylere ihtiyaç duyarken, onlar bu sayede kendiliğinden bir araya toplanabilir.

Nanoyapılar hâlâ görülemeyecek, hatta hissedilemeyecek kadar küçüktür, o yüzden nanoyapıları etkileşim kurabileceğimiz maddi bir nesneye aktarmak için gruplar halinde toplayıp mikroskobik yapılara bağlamamız gerekir. O mikroskobik yapılar on ila yüz kat daha büyüktür ama yine de görünmezdirler. Bu ölçek, yirminci yüzyılın en büyük teknolojik başarılarından biriyle karşılaştığımız ölçektir: silikon çipi. Çok küçük silikon kristallerinden ve elektronik iletkenlerden oluşan silikon çipler, elektronik dünyanın temel motorudur. Dört bir yanımızdaki elektronik makinelerin içinde milyarlarca silikon çipi vardır: Müziğimizi çalarlar, tatil fotoğraflarımızı çekerler, giysilerimizi yıkarlar. Beynimizdeki nöronların insan yapımı eşdeğerleridir, üstelik hücrelerimizdeki çekirdekle aynı ölçekte varlık gösterirler. İşin tuhafı, hareketli parçalar içermeyen silikon çipler, bilgi akışını denetlemek için yalnızca malzemelerin elektrik ve manyetik özelliklerini kullanırlar.

Söz konusu ölçek aynı zamanda biyolojik hücrelerin, demir kristallerinin, kâğıttaki selüloz liflerin ve beton lifçiklerinin de ölçeğidir. Aynı ölçekte insan yapımı bir başka önemli yapıyı buluruz: Çikolata mikroyapısını. Altı farklı kakao yağı kristal yapısı vardır, her birinin erime sıcaklığı farklıdır ve çikolatada çok farklı dokular meydana getirirler. Şeker kristalleri ve çikolatanın tat moleküllerini taşıyan kakao kuru maddeleri de bu ölçektedir. Bu mikroyapıları kontrol eden, çikolatanın tadını ve

dokusunu da kontrol eder; çikolatacılık zanaatının büyük kısmı budur.

Malzeme bilimcileri aynı mikro ölçekte ışığı kontrol edebilen yapılar tasarlamaya başladılar. Değişken kırılma indisine sahip, yani ışığı istediği gibi bükebilen "metamalzemeler" oluşturulabiliyor. Bu sayede, bir nesneyi sarınca o nesnenin çevresindeki ışığı bükerek, hangi açıdan bakmaya çalışırsanız çalışın nesneyi gözünüzden gizleyen ilk nesil görünmezlik kalkanları üretildi.

Makro ölçek atomik yapıları, nanoyapıları ve mikroyapıları birbirine bağlar. Makro ölçek tam görme eşiğimizdedir. Cep telefonlarının dokunmatik ekranı bu yapıya örnektir. Pürüzsüz ve ayrıntısız gözükür ama ekrana bir damla su dökerseniz, lens görevi görerek, aslında minicik kırmızı, yeşil ve mavi piksellerden oluştuğunu size gösterir. Bu küçücük sıvı kristallerin hepsi ayrı ayrı kontrol edilerek görünür ışıktaki tüm renkleri temsil etmek üzere insan ölçeğinde bir araya getirilebilirler, ayrıca film izlemeyi mümkün kılacak kadar hızla kapanıp açılabilirler. Makro ölçekteki değişikliklerin etkisine bir diğer örnek, porselendir: Birbirinden farklı onca cam ve kristal yapısının birleşerek güçlü, pürüzsüz ve optik açıdan dinamik bir malzeme oluşturması bundandır.

Minyatür ölçek atomik yapıları, nanoyapıları, mikroyapıları ve makroyapıları birleştirerek, çıplak gözle ucu ucuna görünen bir yapı oluşturur. Bir iplik parçasının veya saç telinin, bir iğnenin veya bu yazı boyutunun genişliğinin ölçeği, minyatür ölçektir. Ağacın damarına bakıp dokunduğunuzda, gördüğünüz ve hissettiğiniz şey, tüm bu yapıların minyatür ölçekteki birleşimidir. Ağaca sert karakteristik dokusunu, yani çok katı olmayan sertliğini, hafifliğini ve sıcaklığını veren o yapıların birleşimidir. Benzer biçimde, halatlar, battaniyeler, halılar ve en önemlisi, giysiler minyatür ölçekte yapılır ve bu malzemelerin

dayanıklılığı, esnekliği, kokusu ve dokusu, içlerinde şekillenen tüm yapıların minyatür ölçekte birleşmesinin bir sonucudur. Bir pamuk ipliği görünüşte bir ipek veya Kevlar ipliğine benzeyebilir ama bıçak darbesinden koruyabilen veya kaymak gibi pürüzsüz olan nesneler arasındaki farkı yaratan, atom, nano, mikro, makro ve minyatür yapılarında gizlenen ayrıntıdır. Dokunma duyumuzun malzemelerle ilişki kurduğu ölçek, minyatür ölçektir.

Son olarak insan ölçeğine geliyoruz: İnsan ölçeği, önceki tüm yapıların birleştiği ve elimizde tutabildiğimiz, bedenlerimizle doldurabildiğimiz veya çatalla ağzımıza sokabildiğimiz maddelerle karşılaştığımız ölçektir. İnsan ölçeği, heykel ve resmin, tesisatçılığın ve aşçılığın, kuyumculuğun ve bina yapımcılığının ölçeğidir. İnsan ölçeğindeki malzemeler plastik borular, yağlıboya tüpleri, taş yığınları, ekmek somunları ve metal cıvatalar gibi tanınabilir nesnelerdir. Bu ölçekteki nesneler yine yekpare madde parçaları gibi gözükür ama gördüğümüz üzere, aslında öyle değildirler. Söz konusu madde parçalarının gizli boyutları ancak büyütülünce ortaya çıktığından, dört bir yanımızdaki maddelerde bulunan bu çokölçekli mimariyi keşfetmemiz yirminci yüzyılı bulmuştur. Bütün metallerin aynı gözüktüğü halde farklı davranmasının, bazı plastikler esnek ve yumuşakken, bazılarının sert olmasının ve kumdan gökdelenler yaratabilmemizin açıklaması buradadır. Malzeme biliminin en gurur verici başarılarından biri budur çünkü birçok şeyi açıklar.

Farklı ölçeklerde yapılar tasarlamak yeni malzemeler tasarlamamızı sağlamakla beraber, yirmi birinci yüzyılın asıl güçlüğü, tüm bu ölçeklerde tasarlanan yapıları insan boyutundaki makroskobik bir nesneyle birleştirmektir. Gerçi dokunmaya duyarlı makro ölçekteki bir ekranı nano ölçekteki elektronikle birleştiren akıllı telefonlar böyle bir bütünleşmenin örneğidir

ama tüm nesnelerin bir sinir sisteminin ağları gibi birbirine bağlanabileceği düşüncesi artık akla yatkın gelmektedir. Ayrıca bunu başarabilirsek bir gün tüm odalar, binalar, hatta belki de köprüler kendi enerjisini üretip gereken yere aktarabilir, hasarları saptayıp kendi kendini onarabilir. Söylediklerim size bilim kurgu gibi geliyorsa unutmayın ki bunlar, canlı malzemelerin şu an zaten yaptığı şeydir.

Bir malzemenin küçük ölçeklerinin hepsi daha büyük ölçeklerin içinde bulunduğundan, nesneler boyutları büyüdükçe daha karmaşık hale gelirler. Yani atom altı parçacıkları ve kuantum mekaniğinin dünyası çoğu zaman bilimin en karmaşık parçası olarak algılansa da aslında, söz gelimi, bir petunya kadar karmaşık değildir. Çalıştıkları büyük, canlı organizmalar teoride ifade edilemeyecek kadar karmaşık olduğu için bilimlerini uzun süredir (teorik yöntemlerden ziyade) gözlemsel ve deneysel yöntemlerle yürüten biyologlar ve tıp doktorları bu durumu çok önce kabul etmişlerdir. Ama ölçek haritasının gösterdiği üzere, canlı maddeler kavramsal açıdan bir bakıma cansız maddelerden farklı değildir. İkisini birbirinden ayıran en çarpıcı şey, canlı malzemelerde farklı ölçekler arasında fazladan bir bağlantı derecesi bulmamızdır: Canlı malzemeler bilfiil kendi iç mimarilerini oluştururlar. Bu işi organizmanın farklı ölçekleri arasında iletişim kurarak yaparlar. Cansız bir malzemeye insan ölçeğinde uygulanan mekanik bir gerilim, farklı ölçeklerde çeşitli etkiler doğurur ve pek çok iç mekanizmanın buna karşılık tepkimesine yol açar: Sonuçta biçim değişikliği, kırılma, tınlama veya katılaşma görülebilir. Öte yandan canlı bir malzeme böyle bir gerilimi oluşma aşamasındayken saptayarak gerilime karşı bir eylem planı benimseyebilir: Gerilimi geri püskürtebilir veya tüm organizmaya kaçmasını emredebilir. Elbette böyle envaiçeşit canlı davranışı vardır: Bir ağacın dalı cansız bir malzemeymiş gibi pasif kalırken, bir kedinin

bacağı kesinlikle hareket halinde olacaktır. Bilimdeki en büyük sorulardan biri şudur: Ölçekler arasındaki iletişimin aktif karşılıklarla birleşimi, bir canlıyı canlı yapanın ne olduğunu açıklamaya yeter mi? Böyle bir varsayım canlı varlıkların önemini azaltmayı değil, cansız malzemeleri yüceltmeyi amaçlar: Cansız maddeler göründüklerinden çok daha karmaşıktır.

Teknolojimizdeki değişim hızı şimdiye dek ne kadar hızlı olursa olsun, malzemelerin gezegenimiz üstündeki temel düzeni değişmedi. Bir yanda adına yaşam dediğimiz canlı nesneler var, diğer yanda taş, alet, bina vs. dediğimiz cansız nesneler. Ancak maddeye dair geniş kavrayışımızın bir sonucu olarak biz malzemelerde çığır açtıkça bu ayrım muhtemelen bulanıklaşacaktır. Sentetik organlar, kemikler, hatta beyinler taşıyan biyonik insanlar normal sayılacaktır.

Oysa bizi insan yapan, yalnızca (sentetik olsun olmasın) vücudumuzun fiziksel bir madde oluşu değildir. Bizim içimizde maddi olmayan bir dünya da vardır: zihinlerimizin, duygularımızın, algılarımızın dünyası. Ama maddi dünya her ne kadar farklı da olsa bu dünyalardan tamamen ayrılmış değildir ve herkesin bildiği üzere, bu dünyalar üstünde güçlü bir etkisi vardır: Rahat bir koltukta oturmak, duygu durumumuzu ahşap bir sandalyede oturmaktan çok daha farklı etkiler. Çünkü insanlar için malzemeler yalnızca işlevden ibaret değildir. Erken dönem arkeolojik kanıtlar, aletleri geliştirir geliştirmez süs eşyaları, toz boyalar, sanat eserleri ve giysiler üretmeye başladığımızı göstermektedir. Söz konusu malzemeler estetik ve kültürel nedenlerle geliştirildi, tarih boyunca malzeme teknolojisine yön veren de bu oldu. Sevdiğimiz, dört bir yanımızı donattığımız malzemelerle o malzemelerin sosyal rolü arasındaki bu güçlü bağlantı bizim için önemlidir. Malzemeler bir anlam taşır, ideallerimizi vücuda getirir, kimliğimizin bir kısmını oluşturur.

Bu maddi anlamlar, dünyamızın dokusuna kazınmıştır ve amaçlarına uygundurlar. Metal son derece sert ve dayanıklı olduğundan, metalden makineler yapmak mantıklıdır ama tasarımcılar ürünlerine bu nitelikleri vermek için metallerle bağdaştırılan güvenirlilik ve toparlanma kabiliyetini de kullanırlar. Metalin görünümü endüstriyel tasarım dilinin bir parçasıdır: Bize toplu taşıma ve makine çağını veren Sanayi Devrimi'nden söz eder. Metali toplu olarak üretip şekillendirebilmemiz, kimliğimizin bir parçasıdır. Metale hayranlık duyarız çünkü bu malzeme bizim güvenilir, sert ve mekanik açıdan dayanıklı yük beygirimizdir: Arabaya veya trene her binişimizde, giysilerimizi çamaşır makinesine her koyuşumuzda, vücudumuzu her tıraş edişimizde metale güveniriz.

Uzun bir geçmişimiz olduğundan, maddi kültürümüz karmaşıktır. Metale hayranlık duymamızı sağlayan nedenler (mesela metalin endüstriyel çağrışımları) aynı zamanda metalden hoşlanmamamıza da yol açabilir. Malzemelerin birden çok anlamı vardır, o yüzden bölüm başlıkları olarak seçtiğim çeşitli sıfatlar belirleyicilik amacı gütmüyor. Bunlar kişisel tercihler; her bölüm kişisel bir bakış açısından yazıldı ve burada amaçlanan, hepimizin kendi maddi dünyasıyla kişisel ilişkiler kurduğunu göstermekti. Bunlar yalnızca benim kurduğum ilişkilerdi.

Bilerek veya bilmeyerek, hepimiz malzemelerin anlamlarına karşı duyarlıyız. Her şey bir şeyden yapıldığı için bu anlamlar tüm zihnimizi kaplar. Çevremiz durmadan bizi anlam yağmuruna tutar. İster bir çiftlikte veya bir kentte, ister bir trende veya uçakta, ister bir kütüphanede veya alışveriş merkezinde olalım, bizi sürekli etkilerler. Tasarımcılar ve mimarlar da elbette ki hoşumuza giden, kendimizi özdeşleştirdiğimiz ve çevremizi donatmak istediğimiz giysileri, ürünleri ve binaları yaparken, bu anlamları kullanırlar. Bu bakımdan malzemelerin anlamları

kolektif hareketimizle desteklenerek, kolektif bir anlam kazanır. İnsanlar olmak istedikleri, olmaya can attıkları veya zorlandıkları kişiyi yansıtacak giysiler satın alırlar; moda tasarımcıları bu anlamlar konusunda uzmandır. Oysa yaşamımızın her boyutunda, banyolarımızda, salonlarımızda, yatak odalarımızda, kendi değerlerimizi yansıtan malzemeler seçeriz. Benzer biçimde, işyerinde, yaşadığımız kentlerde ve havaalanlarında başkaları bize kendi değerlerini dayatırlar. Maddi dünyada çevremizdeki malzemelerin anlam haritasını durmaksızın değiştiren, aralıksız bir yansıtma, özümseme ve anlatım süregelmektedir.

Ancak, söz konusu harita değişikliği tek yönlü değildir. Söz gelimi, daha dayanıklı, rahat, su geçirmez, nefes alabilen kumaşlara yönelik talep, bunları yaratmak için gereken malzemenin iç mimarisini anlama ihtiyacı doğurur. Bu ihtiyaç, bizim bilimsel anlayışımıza, dolayısıyla da malzeme bilimine yön verir. O halde malzemeler, kimliğimizin bir yansıması, bizim insana özgü ihtiyaçlarımızın ve taleplerimizin, gayet gerçek bir şekilde çok ölçekli bir ifadesidir.



Terasımdaki fotoğrafa son bir bakış. Umarım, bu kitabı okumanızın bir sonucu olarak fotoğrafa biraz farklı bir gözle bakarsınız.

Teşekkür

Bilim insanı bir babaya sahip olmak, erken yaştan itibaren merakımı geliştirdi: Eve üzerinde "TEHLİKELİ" yazan asit şişeleri getirir, kilerdeki atölyesinde deneyler yapardı; ilk Texas Instruments hesap makinelerinden birini de o almıştı. Üç ağabeyim var: Sean, Aron ve Dan. Çocukken dünyayı son derece dokunmatik bir yöntemle, kurarak, kazarak, kırarak, dürterek ve üstünden atlayarak keşfederdik. Tüm bunlar açık havayı, yemek yemeyi ve taranmış saçları onaylayan annemin iyiliksever gözetimi altında gerçekleşirdi. Ben dâhil tüm çocuklar gençlik çağında, vaktinden önce kelleştiğimizden, annemizi ileriki yaşlarında biçimli saçlarımızla hoşnut edemedik ama hepimiz yemek yapmaya bayılıyoruz ki bu da annemin onurunadır. 2012 yılının Aralık ayında annem bu kitabın basıldığını göremeden öldüğü için büyük bir üzüntü duyuyorum.

Malzeme bilimi eğitimim gerçek anlamda Oxford Üniversitesi Malzeme Bilimleri Bölümü'nde başladığı için, tüm fakülte çalışanlarına, özellikle de hocalarım John Martin, Chris Grosvenor, Alfred Cerezo, Brian Derby, George Smith, Adrian Sutton, Angus Wilkinson ve elbette bölüm başkanı Peter Hirsch'e teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca, doktora öğrencisiyken aynı ofisi paylaştığım Andy Godfrey'den çok şey öğrendim.

1996'da Oxford'dan ayrılıp, önce Sandia Ulusal Laboratuvarları'nda çalışmak üzere ABD'ye, sonra Makine Mühendisliği Bölümü'nde çalışmak üzere University College Dublin'e, ardından Londra King's College'a, en son da, halen çalıştığım

University College London'a gittim. Yol boyunca çok önemli şeyler öğrendiğim insanlar oldu. Elizabeth Holm, Richard LeSar, Tony Rollett, David Srolovitz, Val Randle, Mike Ashby, Alan Carr, David Browne, Peter Goodhew, Mike Clode, Samjid Mannan, Patrick Mesquida, Chris Lorenz, Vito Conte, Jose Munoz, Mark Lythgoe, Aosaf Afzal, Sian Ede, Richard Wentworth, Andrea Sella, Harry Witchel, Beau Lotto, Quentin Cooper, Vivienne Parry, Rick Hall, Alom Shaha, Gail Cardew, Olympia Brown, Andy Marmery, Helen Maynard-Casely, Dan Kendall, Anna Evans Freke, David Dugan, Alice Jones, Helen Thomas, Chris Salt, Nathan Budd, David Briggs, Ishbel Hall, Sarah Conner, Kim Shillinglaw, Andrew Cohen, Michelle Martin, Brian King, Deborah Cohen, Sharon Bishop, Kevin Drake ve Anthony Finklestein'a özellikle teşekkür borçluyum.

Malzemeler hakkında programlar yapan, etkinlikler ve sergiler düzenleyen bazı büyük organizasyonlarla çalışmak, konuyu çok daha iyi değerlendirmemi sağladı. Cheltenham Bilim Festivali, Wellcome Koleksiyonu, Tate Modern, V&A, Southbank Centre, Kraliyet Enstitüsü, Kraliyet Mühendislik Akademisi, BBC Radyo 4 Bilim Birimi ve BBC TV Bilim Bölümü'ne teşekkür etmek isterim.

UCL Yapım Enstitüsü çok özel bir yer, entelektüel bir yuvadır; bu kitabı yazarken bana gösterdikleri dostluk ve destek için tüm ekibe teşekkür etmek istiyorum: Martin Conreen, Elizabeth Corbin, Ellie Doney, Richard Gamester, Phil Howes, Zoe Laughlin, Sarah Wilkes ve Supinya Wongsriruksa.

Bazı bölümlere bakıp yorum yapan Phil Purnell, Andrea Sella ve Steve Price'a teşekkür etmek istiyorum.

Şekillenme aşamasında kitabıma yorum yapmakla kalmayarak yol boyunca beni cesaretlendirenler oldu. İyi dostum Buzz Baum'a; sevgili babama, ağabeylerime, yengelerime ve

yeğenlerime; Enrico Coen'in Perugia 2012 araştırma atölyesi üyelerine derin teşekkürlerimi sunuyorum.

Yayıncı temsilcim Peter Tallack'ın ve tüm Penguin/Viking ekibinin vizyonu ve cesaretlendirmesi olmasaydı bu kitap hayat bulamazdı. Bana yazma konusunda herkesten çok güven veren editörüm Will Hammond'a özellikle teşekkür etmem gerek.

Son olarak, bu kitap siparişini aldığımda oğlum Lazlo doğmak üzereydi. Sayfaların arasında akan o yaratıcı gücün arkasında oğlum ve annesi Ruby var.

Görseller

1.2 Central European News (s. 15). 2.10 Alistair Richardson (s. 51). 2.11 OK! Syndication/www.expresspictures.com (s. 53). 2.15 Roger Butterfield (s. 62). 3.3 Network Rail (s. 72). 3.5 Foster and Partners (s. 79). 3.8 Italcementi Group (s. 85). 4.6 Cadbury's (s. 102). 5.3 NASA (s. 113). 5.4 NASA (s. 115). 5.5 NASA (s. 123). 7.3 A. Carion (s. 170). 7.4 John Bodsworth (s. 171). 10.4 University College London (s. 238). 10.5 Hasselt Üniversitesi (s. 240).

Meraklısı İçin

Philip Ball, *Bright Earth: The Invention of Colour*, Vintage (2008).

Rodney Cotterill, *The Material World*, CUP (2008).

Michael Faraday, *The Chemical History of a Candle*, OUP Oxford (2011).

Stephen Fenichell, *Plastic: The Making of a Synthetic Century*, HarperCollins (1996).

J. E. Gordon, *New Science of Strong Materials: Or Why You Don't Fall Through the Floor*, Penguin (1991).

—, *Structures: Or Why Things Don't Fall Down, Penguin* (1978).

Philip Howes ve Zoe Laughlin, *Material Matters: New Materials in Design*, Black Dog Publishing (2012).

Chris Lefteri, *Materials for Inspirational Design, Rotovision* (2006).

Primo Levi, *Periyodik Tablo,* çev. Feza Özemre, Kırmızı Kedi Yayınları (2014).

Gerry Martin ve Alan Macfarlane, *The Glass Bathyscape: How Glass Changed the World*, Profile Books (2002).

Harold McGee, *McGee on Food and Cooking: An Encyclopedia of Kitchen Science, History and Culture*, Hodder&Stoughton (2004).

Matilda McQuaid, *Extreme Textiles: Designing for High Performance*, Princeton Architectural Press (2005).

Cyril Stanley Smith, *A Search for Structure: Selected Essays on Science, Art and History*, MIT Press (1981).

Arthur Street ve William Alexander, *Metals in the Service of Man*, Penguin (1999).

Dizin

İtalik sayfa numaraları, görselleri belirtmektedir.

XV. Louis 2

aerojeller 106-126, 249
  karbon 125
ahşap/tahta/odun 15, 41, 69, 177, 195, 199, 209, 217, 251
  delignifikasyon 36
  hamuru 36, 137
  kâfuru 148-149, 154
akıllı telefonlar 252
akrilik plastikler 154
alaşımlar 6, 20-22, 29-30, 228-229
  altın 20, *21*
  alüminyum 6, 29
  amalgam 228-229
  demir-karbon *bkz.* çelik
  nikel süper alaşımlar 6
alçı 226-227
aletler 15, 16, 18, 22, 198
  bakır 19-20
alkalifik bakteriler 82
Altı Milyon Dolarlık Adam 224-225
altın 20, 126, 188, 191-192, 247
  alaşımlar 20, *21*
alümina 212
alüminyum 69, 199, 247
  alaşımları 6, 29
  göktaşlarında 123-124
  oksit 20
  sülfat 38
amalgam 228-229
ambalaj kâğıdı 43-44
anestezikler 228
antioksidanlar 104
arsenik 21, 32, 143, 144
artrit 232, 233
Artsunatov, Yuri 201
aşk mektupları 64-65, 64
ataş 18
Atatürk, Mustafa Kemal 144
atletizm ve karbon elyaf 201
atomlar 9, *21*, 116, 176, 186-187, 247
  boyut 247
  camda 173-174, 175, 182
  Dünya'daki sayıları 47
  elektronlar *bkz.* elektronlar
  elmas *189*, 190, 195
  grafit 193-194, 195
  karbon *141*, 188-9, 190, 193-6, 202
  kil kristali 212-214, *213*
  krom 245-246
  metal kristal 16-18, *16*, *17*, 20, 21, 29, 245-246
  nadir 247
  oksijen 96, *141*, 175, 247
  silikon 175, 247
  ve kuantum mekaniği *9*, 22, 177, 205, 248, 253
aynalar 172, 184

bağlar 229-230
bakalit 164

bakır 18, 19-20, 21
  altın alaşımı olarak 21
bakteriler
  alkalifilik 82
  filtre beton 83
bandajlar 226-227
banknotlar 57-58, *57*
Barbican Centre 85
Bessemer yöntemi 26-27, 28
Bessemer, Henry 26-27
beton 54, 68-86, 212
  bakım 81
  betonarme 76-78, 79-82
  çatlama 75-76, 81, 82-83
  estetik 84-85
  filtre beton 83
  kendi kendini onarma 82-83
  kendi kendini temizleme 85-86, 85
  kumaş 83-84, *83*
  kuvvet 71-72
  lifçikler 76, 80, 82, 250
  oturma 68-69
  Roma 72-73, 74, 75
  yapımı 69-71
betonarme 76-78, 79-82
bıçak yarası 1-2
Bilardo 132, 134-136
  topları 130-139, 142, 143, 145, 161
biletler 55-56, 55
bira bardakları 180-181, 184
bisikletler, karbon elyaf 200
biyo-implantlar 9, 224-225, 241-243, 254
biyomalzemeler 224-225, 248, 254
  amalgam 228-229
  biyocam 236, *236*
  diş 228-229
  diz eklemi protezi 234-235
  doku mühendisliği 235-241, *238*
  kalça protezi 233-234
  osseointegrasyon 230
  porselen 6
  sentetik implantlar 242, 254
  soluk borusu 236-239, *238*
  titanyum 230-233, 240
  yapı iskelesi 235-240, *236*, *238*
biyonik 9, 224-226, 242-243, 254
biyoreaktörler 236, 237
Boardman, Chris 200
boron oksit 179
borosilikat cam (PYREX) 178-179
boyalar 118, 144, 169
böbrek 239
Böttger, Johann Friedrich 217-218
Bragg, William 117
Brearley, Harry 29-30
bronz 10, 21, 32, 126
Brunel, Isambard Kingdom 6
Bucky topları 202, *202*
Büyük Afrika Yıldızı elması 190, 193

Cadbury's Flake reklamları 101-102, *102*
cam 6, 7, 84, 112, 113-114, 167-185, *168*, 198
  aynalar 172, 184
  bira bardakları 180-181, 184
  biyoaktif 235-236, *236*
  borosilikat (PYREX) 178-179
  çatlama 179
  çöl camı 170-171, *171*
  dönüşen kimya 178-179
  fotoğraf plakaları 156
  fulguritler 169-171, *170*
  kabarcıklar 173
  kırılganlık 173-174
  kırılma indisi 113-114, 180, 183
  kurşungeçirmez 182-183
  kültürel görünmezlik 184-185
  lamine 182-183
  ön camlar 167, 182
  pencereler *bkz.* pencereler
  Prens Rupert'ın damlaları 181-182
  prizmalar 178
  Roma 172-174
  saydamlık 175-177

silika aerojel 112, 113-115, *113*, *115*, 117-118, 120-121
şarap kadehleri 7, 173-174
test tüpleri 179
Trinitite 171
uranyum 4
üfleme 173
ve eritiş maddeleri 169, 171-172
ve ışık 113-114, 176-178
yapımı 167-175
canlı malzemeler 234, 253-254
ayrıca bkz. kemikler; kıkırdak
CAT tarama 237
CERN 118, 119
cıva, amalgamda 228
cilt hücreleri 241-242
Conreen, Martin 4
Cullinam elması 189-190, 191

çay fincanları 75, 209-211, 214, 216, 217, 219-223
çelik 2-3, 6, 14, 21-31, 84
betonarmede 76-78
bileme 27-29
jilet 2, 13-14, 16-17, 21, 23, 27-29, 32
paslanmaz 3, 29-32, 230, 245-246
tamahagane 24-26
çene kemiği, yapay 240-241, *240*
Çerenkov Işıması 118
çiçeklenme 90, *90*
çikolata 87-105
ağızda erime 89, 91, 92, 98-99, 100-101
bağımlılık 100-101, 104-105
bitter çikolatanın içindekiler 92
Cadbury's Flake reklamları 101-102, *102*
chocolatl 97
çiçeklenme 90, *90*
erime noktası 91
kokusu 93, 96
pişmiş 92-93
psikoaktif 100
süt 99-100
ulusal tüketim 103
ve kakao çekirdekleri 93-97
ve sağlık 104
yendiğinde beyin aktivitesi 101
çimento 70-71, 212
Çin 174, 174-175, 215-217
çömlekçilik 76, 211, 212, 215, 222
ayrıca bkz. seramikler

DeBeers 192
delignifikasyon 36
demir 14, 21-23, 69, 247
(III) oksit (pas) 29-30, 81, 212
hidroksit 81
karbonla alaşım *bkz.* çelik
kirlilikleri 20
kristalleri 21, 29, 250
deri kayış 28
Diana, Galler Prensesi 144
dislokasyonlar, kristal yapıda 17-18, *17*, 20, 75, 245, 249
diş dolguları 228-229
diş seramikleri 6
Dives in Misericordia 85, *85*
doku mühendisliği 235-241
dokunmatik ekranlar 205, 251, 252
dolgular 228-229
Duxbury, Tom 122

Eastman, George 155-158
Edison, Thomas 195
elastomer 165
elektron mikroskobu 17, 117
elektronik 59-61, *59*
elektronik kitaplar (e-kitaplar) 60
elektronlar 175-177, 248
elmas 190, 195
grafen 205
grafit 195
karbon 188-189, 190, 195, 205
kil kristali 213

Klein tünellemesi 205
elmaslar 189-193, *189*, 196-197, 206-207, 247-248
atomik yapı *189*, 190, 195
boyut 189
elmas bir gezegen 189
elmas tozu 28
hafiflik 191
hırsızlığı 191-192
nişan yüzükleri 192
sentetik 197-198
sertlik 28-29, 190, 191, 198
ve aşk 192-193
elyaf
bandaj 226
karbon 199-202
Kevlar 8, 120, 252
kıkırdak 234
pamuk 57-58, *57*, 252
selüloz *bkz.* selüloz
eritiş maddeleri 169, 171-172
esterler 93-94
Evans, Donna 101-102, *102*
Excalibur 23-24

feldspar 215-216, 218
fenolik reçine 142
Fermi, Enrico 48
fildişi 133-140, 232
filtre beton 83
fişler 45-46, *45*
formaldehit 143, 145
fotoğraf filmi, selüloit 158, 159, 163, 164
fotoğraf kâğıdı 34, 39-40, *39*
fotoğraf makineleri 155, 157-159
fotoğraf plakaları 156
Fry and Sons 98, *98*
fulguritler 169-171, *170*

gazeteler 62-63, *62*
Geim, Andre 187-188, 194, 195, 203-204
gevreklik, psikofizikte 10
gıda ve psikofizik 10, 87-105
Gillette, King Camp 28
gliserol 137
Goodyear, Charles 133, 141
gökkuşağı 178
görünmezlik kalkanları 251
grafen 204-207, *205*
grafit 187, 193-195, *193*, 197, 203-204, 206, 247-248
gümüş 126
altın alaşımı olarak 20, *21*
amalgamda 228
güneş pilleri 9

Hagens, Gunther von 7, 144
Body Worlds 7, 145
Haiti depremi 71
havacılık 199
jet motorları 6
Hench, Harry 235
Henry Bessemer&Co. 27
Hephaistos 32
hidrojen 38, 52, 96, 248
hidroksiapatit 235-236
Hofmann, August Wilhelm von 144
Hyatt, John Wesley 133-140, 141-142, 145-148, 149, 155-158, 159-163

ısı yalıtımı, aerojel *115*, 116-118, 124-125
ışık 40, 58, 60, 96, 195, 251
kırılması 113-114, 177, 251
UV 85, 177, 210
ve cam 113-114, 176-178

Janus parçacıkları *59*, 60
Japon 174-175
jelatin 70, 109-110
ayrıca bkz. jöle
jeller 40, 70, 110, 245
aerojeller *bkz.* aerojeller

çimentoda 70
ışığa duyarlı 156
jöle *bkz.* jöle
jet 196
jet motorları 6
jöle 109-112, 118
iç iskelet 70, 110-112, *112*, 114
ayrıca bkz. aerojeller

kafein 92, 100, 103, 104
kâfuru 148-149, 154
kâğıt 33-65
ambalaj 43-44
aşkın sahici parçaları 64-65, *64*
belgeler 37, *37*
biletler 55-56, *55*
doku kalitesi 37-38
elektronik 59-61, *59*
eskime süreci 39
fiş 45-46, *45*
fotoğraf 34, 39-40, *39*
gazete 62-63, *62*
karton bardak 210
kuşe 53-54, *53*
pamuk 57-58, *57*
para 57-58, *57*
sararma 38
torbalar 51-52, 51
tuvalet 34, 49-50, *49*
üretimi 35-36, *35*
zarflar 47-48, *47*
kakao ağaçları *93*, 94
kakao çekirdekleri 93-97
kakao meyveleri 93, 94
kakao yağı 88-89, 92, 97, 98-99, 104
kristaller 88, 89-92, *89*, 250-251
kalay 21
amalgamda 228
bronzda 21
kalp 239
kalsit 82-83
kalsiyum 247, 248
karbonat 36, 54, 69, 82
silikatlar 69, 70, 71, 76, 80, 82, 110
kannabinoidler 100
kaolin 54, 215, 218
Kapoor, Anish: *Cloud Gate* 31
karaciğer 239
karakehribar 196
karbon 21-22, 96, 187-207, 248
aerojeller 125
altıgen tabakalar 195-196, 203-204
atomlar *141*, 188-9, 190, 193-6, 202
Bucky topları 202, *202*
demirle alaşım *bkz.* çelik
elmaslar *bkz.* elmaslar
elyaf 199-202
grafen 204-207, *205*
grafit 187, 193-195, *193*, 197, 204, 206, 247-248
karbon-karbon çifte bağ 96
karbon-14 188
kömür 21, 24, 96, 195
kömür 9, 195-196
lonsdaleite 198-199
nanotüpler 203-204, *203*, 206
ve krom 29
karbon tarihlendirme, radyoaktif 188
karbonhidratlar 96, 97
ayrıca bkz. şeker
kardiyovasküler sistem 241-242
kemik porselen 218-223
kemikler 225-226, 227
osseointegrasyon 230
osteoblast 236
yapay çene kemiği 239-240, *240*
yenilenme 235-237
keskiler, bakır 19-20
Kevlar 8, 120, 252
kıkırdak 233, 235
kılıçlar 22, 23-25
kırılma indisleri 113-114, 177, 183, 251
kıyafetler 8, 251-252, 254, 255
kil 24, 41, 68, 69, 76, 211, 212, 215-216, 219-220

atomlar 212-214
kaolin *54*, 215-216, 218
kristaller 212-214, *213*
kireçtaşı 69
Kistler, Samuel 109-113, 116-118
kitaplar 41-42, *41*, 60
elektronik kitaplar (e-kitaplar) *60*
Klein tünellemesi 205
kolajen 109, 234-235
kolodyum 138, 142, 145, 146, 149
kompozit matris 54
kompozit reçine 229
kondroblast hücreler 234-236
kök hücreler 234, 237-238, *238*, 240-241
kömür 9, 195-196
köpük 125, 245, 249
aerojeller *bkz.* aerojeller
Kraliyet Mücevherleri 189, 190
kristaller
elektron kırınımları 117
kakao yağı 88, 89-92, *89*, 250-251
kil 212-214, 213
metal 16-18, *17*, 20, 21, *21*, 40, 245-246, 250
metallerin kristal yapılarında dislokasyonlar 17-18, *17*, 20, 75, 245, 249
silikon 242 *ayrıca bkz.* silikon çipler
zirkonyum 198
kristalleri 198
krom
kirlilikler 20
oksit 30, 31, 245-246
ve karbon 29
kromofor 37-38
Kroto, Harry 202
kuantum mekaniği 9, 22, 177, 205, 248, 253
kum 24, 167, 170, 252
fulguritler 169-171, 170
kurşun 18, 174
kalem 'kurşunu' *bkz.* grafit
Kutsal Kitap 42
kuvars 167, *168*, 170, 212, 215-216, 218
kuyrukluyıldızlar 119, 124
Wild 2 kuyrukluyıldızı 108, 121, 122-124

Lajic, Radivoke 14-15, *15*
Laughlin, Zoe 4
Lavoisier, Antoine 196-197
Lee, Wen Ho 107
Lefferts, General 134-140, 141
Lenin, Vladimir 144
Lewis, David 101
lignin 35-36, 37-38, 249
likra 165
linyit 196
Lonsdaleite 198-199
Lumière kardeşler 163

magnezyum 247
Maillard tepkimesi 96-97
malakit 19
malzeme bilimi 6-11, 244-256
farklı ölçeklerde yapılar 252-253
ve atomlar *bkz.* atomlar
ve elektronlar *bkz.* elektronlar
ve kuantum mekaniği 9, 22, 177, 205, 248, 253
malzemelerin genleşmesi 76-77
manyetit 24
meta-malzemeler 251
metaller 14-32, 252, 254-255
alaşımlar *bkz.* alaşımlar
biyomalzeme 230, 232, 233
dövülebilirlik 15-16, 18
erime noktası 18
ısıtmak 15, 17
korozyon 28, 30
kristal yapıda dislokasyon 17-18, *17*, 20, 75, 249
kristaller 16-18, *17*, 20, 21, *21*, 29, 40, 245-246, 250

metal bardaklar 209-210
meteoritlerde 14-15, *15*, 119-120, 198-199
Taş Devri 14, 18
meteoritler/göktaşları 14-15, *15*, 119-120, 198-199
mezenkimal kök hücreler 237
mika 218
Millau Viyadüğü 79
Monier, Joseph 76
Monsanto Corporation 118
Mushet, Robert Forester 26-27

nanoteknoloji 203-204, 205, 249-250, 252
nanoyapılar 248-250, 251
NASA
aerojeller 4, 108-109, 119-124, *123*
Stardust misyonu 108-109, 121-124, *123*
natron 171-172
Nature 110, 117
naylon 164
neodimiyum 247
Newton, Isaac 178
nikel 29, 247
süper alaşımlar 6
nitrogliserin 137-138
nitrojen 114, 196, 248
oksit 85-86
nitroselüloz 137, 138, *141*, 148
ayrıca bkz. selüloit

Obree, Graeme 200
odun kömürü 21, 24, 96, 195
oksijen 26, 30, 37-38, 69, 95, 114, 167, 196, 245-246, 247, 248
atomları 96, *141*, 175, 247
organlar, yapay 236-241, 242
osseointegrasyon 230
osteoartrit 232
osteoblast 236
ön cam 167, 182, 185

pamuk 252
banknotlardaki 57-58, *57*
pamuk barutu 137
Pantheon, Roma 74, *74*
para, kâğıt 57-58, *57*
parafinli karton 34
Parkes, Alexander 147-149
Parkesine 147-148
pas 28-30, 81, 212
paslanmaz çelik 3, 29-31, 230, 245-6
pencere 174-175, 184, 185
ön cam 167, 182, 185
Romalıların camlı pencereyi icadı 172
vitray 174
piramitler, Mısır 19
Pistorius, Oscar 201
plastik cerrahi 6
plastikler 127-165, 180-181, 252
akrilik 154
Amerikan bilardosu 130-131, 132, 138-139, 142
bilardo topları 130-139, 142, 143, 145, 161
fenolik reçine 142
kalça protezlerinde 233
kırılma indisi 119
Parkesine 147-148
plastik kaplama 44
selüloit *bkz.* selüloit
Xylonite 145, 146, 149
platin 247
Plinius 172
plumbago *bkz.* grafit
polietilen 233
polimerler 6, 125, 238
porselen 209, 215-223, 251
Çin 215-217
diş 229
kemik porselen 218-223
potasyum 248

Pozzuoli 72-73
Prens Rupert'ın damlaları 181-182
prizmalar 178
psikofizik 10, 87-105
PVC 165
PYREX 178-179

Rayleigh saçılımı 114-115
reçine, kompozit 229
Romalılar 22-3, 41-2, 72-3, 74, 75
  cam yapımı 172-174
romatizmal artrit 232
Ruska, Ernst 117

safir 20
Samuray kılıçları 24-25
Santogel 118
saydamlık 175-177
Seifalian, Alex 237
selüloit 6, 140, *141*, 142, 145-148, 151, 153-159, 249
  film 158, 159, 162-163, 164
  ayrıca bkz. nitroselüloz
selüloz 35-36, *43*, 44, *49*, 51-52, 54, 58, 250
  nitrat 136, 137, 139, *141*, 148, 249
    ayrıca bkz. selüloit
  ayrıca bkz. kâğıt
sentetik implantlar 242
seramik 10, 208-223
  alçı 226-227
  çömlekçilik 76, 211, 212, 215, 222
  diş 6
  ilk 211
  pişirme 212-4, 213, 215-6, 220-1
  porselen *bkz.* porselen
  sırlı 215
  terakota 211, 212, 214, 221
  tıbbi 6, 232
  ve kaolin 215-216
  ve kil kristalleri 212-214, *213*
Shard, Londra 67-68, 73, 78-81, *80*, 84, 86
Sidney Opera Binası 84-85
silahlar 1, 2, 21, 22, 23-24, 30
silika *168*, 229
  aerojel 112, 113-115, *113*, *115*, 117-118, 120-121
silikat 69
  ayrıca bkz. kalsiyum: silikatlar
silikon 164
silikon
  atomları 175, 247
  çipler 6, 9, 13, 205, 250
  dioksit 112, 167-168
  Silikon Çağı 6
sinema 127-128, 163-165, 192-193
Sodyum karbonat 169, 171
soluk borusu nakli 236-238, *238*
Sonsuz Ölüm (Butch Cassidy and the Sundance Kid) 128, 129, 165
Southwark Kuleleri 66-67
Spill, Daniel 145, 147, 148, 149
spor ve karbon elyafı 199-201
Stardust misyonu, NASA 108-109, 121-124, *123*
Stardust@Home 123
Stoke-on-Trent 218-219
sülfür 72, 154, 196, 247

şarap kadehleri 7, 173-174
şeker 90, 92, 96, 99, 103, 104

tahnit 144-145
tamahagane çeliği 24-25
Taş Devri 14, 18
  aletler 15
tat alıcıları 92-93
Tay Rail Bridge faciası 25
tekstil 8
  kumaş beton 83
  pamuk *bkz.* pamuk
  ve x-aerojeller 125
tenis raketleri, karbon elyaf 200
teobromin 92, 100, 103, 104
terakota 211, 212, 214, 221

test tüpleri 179
tıbbi seramikler 6, 232
tıraş bıçakları 2, 13-14, 16-17, 21, 23, 28-29, 31
titanyum 230-231, 232, 233
  dioksit 85-86
trigliserit 89, *89*
Trinitite cam 171
Tschirnhaus, Ehrenfried Walther von 217, 218
tungsten külçeleri 4
Tutankhamon mumyasındaki dekoratif bokböceği 170-171, *171*
tuvalet kâğıdı 34, 49-50, *49*

uranyum camı 4
UV (morötesi) ışığı 85, 177, 210
Uzay Asansörü 201-202

üç boyutlu yazıcılar 237, 240

Van der Waals kuvvetleri 194, 199
Van Houten 97-98
Victoria, Kraliçe 196
vidalı pres 97-98
vinil 164
vitray 174
volframit 4
volkanik hareket 82
volkanik taş/kum 24, 72-73, 212

Whitby 196
Wild 2 kuyrukluyıldızı 108, 121, 122-4
Wilkinson, William 77
Worth, Adam 191

x-aerojeller 124-125
Xylonite 145, 146, 149

yakut 20
yalıtım, aerojel *115*, 116-118, 124-125
yapay uzuvlar 236-240, 241-242
yapay uzuvlar 8, 242
  karbon elyaf 201
yapı iskelesi malzemeleri, biyoteknolojik 235-239, *236, 238*
Yapım Enstitüsü, UCL 4
yazıcılar, üç boyutlu 237, 240
yıldırım 169
yumurta 113
  ısı yalıtım özellikleri *115*, 116-118, 124-125
  Kistler ve keşfedilişi 109-113
  silika 112, 113-115, *113*, *115*, 117-118, 120-121
  süper emici 125
  ve NASA 4, 108-109, 119-124, *123*
  x-aerojeller 124-125
yumurta aerojel 113

zarfın arkasında hesaplama 47-48, *47*
zarflar 47-48, *47*
zımba teli 2
zirkonyum 229
zoetrop 163

"Kendimizi uygar saymak hoşumuza gidebilir ancak bize uygarlığı bahşeden, büyük ölçüde malzeme zenginliğimizdir... Biz onları yarattık, onlar da karşılığında bizi bugünkü halimize getirdiler."

"Bu kitap yüzünden sabahladım."
OLIVER SACKS

"Miodownik betonu bile ışıldatacak kadar iyi yazıyor."
FINANCIAL TIMES

Malzemeler dünyasında yaşıyoruz. Etrafımız gündelik tasarım ve mühendislik mucizeleriyle çevrili. Çeliği düşünün: Ağzımıza sokuyor, istenmeyen tüylere karşı kullanıyor, içine biniyoruz. En sadık dostumuz ama nasıl işlediğini bilmiyoruz. Cam neden saydam? Lastiğe esnekliğini veren ne? Ataş neden bükülüyor? Bir malzeme neden göründüğü gibi görünüyor, neden davrandığı gibi davranıyor?

Mark Miodownik bizi malzemelerin iç dünyasına götürüyor. Mucidini idamdan kurtaran porselenden ayakkabılarımızdaki köpüğe, elinizdeki kâğıttan uygarlığımızın günah keçisi betona kadar, yaşamlarımızı şekillendiren bu mucizelerin nasıl doğduğunu, keşiflerinin ardında yatan akılalmaz öyküleri ve tüm bu yolculuğun insan ırkının becerisine, yaratıcılığına dair ne anlattığını ortaya koyuyor.

Eşyanın Tabiatı'nı benzersiz kılan, 20 dilde yayımlanmış bir popüler bilim klasiğine dönüştüren şey Miodownik'in saplantı derecesindeki tutkusu ve bu tutkuyu kelimelerle bize bulaştırma becerisi. Sadece etrafımızdaki nesnelere değil, dünyaya bakışımızı da değiştiriyor.

domingo
www.domingo.com.fr

978-605-198-076-8
9 786051 980768
29 TL
KDV'den muaftır.