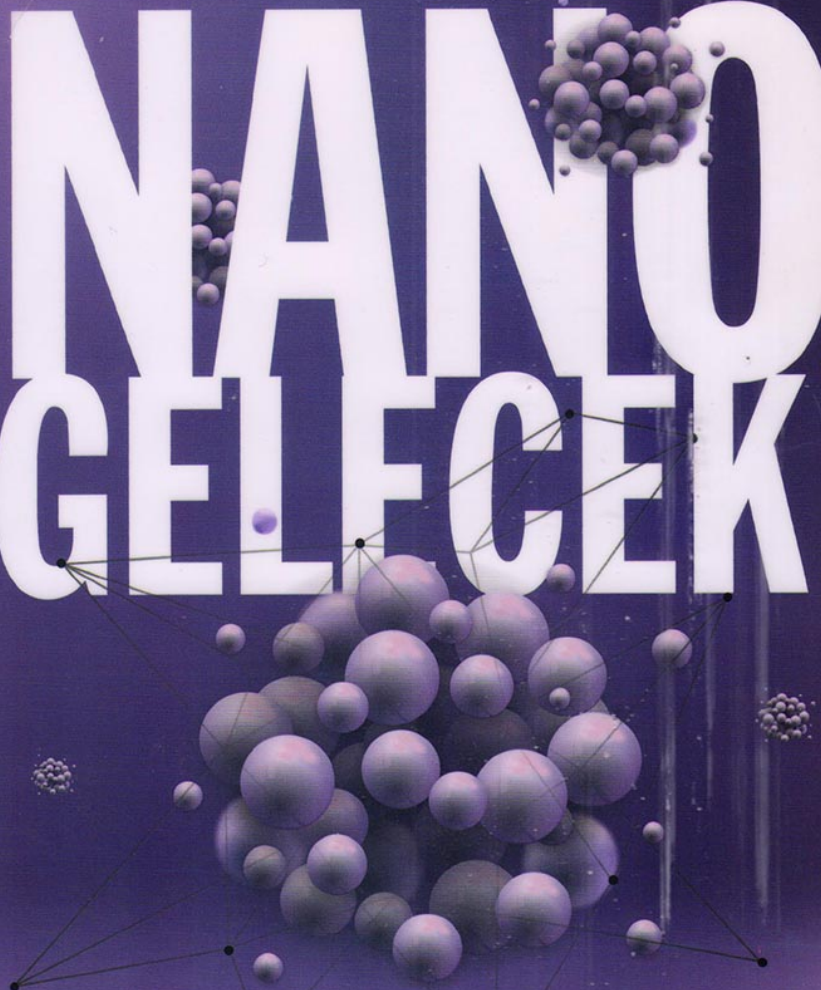
NANO GELECEK



Nanoteknolojinin Yarını

J. Storrs Hall

BOĞAZİÇİ ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Elginkan Vakfı

NANOGELECEK

*1985 yılında çalışmalarına başlayan **Elginkan Vakfı**, Elginkan Ailesi'nin kurmuş olduğu sanayi kuruluşlarını ebedileştirmek ve ülkemizin özellikle kültür, eğitim, bilim ve teknoloji alanlarında ilerlemesine destek olmak amacıyla kurulmuştur.*

Vakfımızın amaçları:

- *Kültür değerlerimizi, tarihimizde bizi büyüten örf, adet ve manevi değerlerimizi ve Türkçemizi araştırmak, araştırmaları desteklemek, korumak, yaşatmak ve tanıtmak,*
- *Bilim, teknoloji ve eğitim alanındaki faaliyetleri teşvik etmek,*
- *Ülke sanayinin ihtiyaç duyduğu vasıflı işgücünün yetiştirilmesine ve bu suretle ülkenin istihdam imkânlarını artırıcı eğitim çalışmalarına katkıda bulunmak için okullar, eğitim kurumları açmak, işletmektir.*

Eğitimi geleceğin yatırımı olarak gören Vakfımız, ülke sanayinin ihtiyaç duyduğu vasıflı işgücünün yetiştirilmesine katkıda bulunmak üzere 1994 yılında Manisa Ümmehan Elginkan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'ni, 2003 yılında Elginkan Vakfı Bolu Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezini, 2006 yılında İzmit Ahmet Elginkan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezini Türk halkının hizmetine sunmuştur. Bu üç Eğitim Merkezinde bugüne kadar yaklaşık 300.000 kişi ücretsiz eğitim almıştır.

Eğitime katkı faaliyetleri kapsamında Vakıf; Cahit Elginkan Anadolu Lisesi, İTÜ Ekrem Elginkan Lisesi, Ümraniye Elginkan Vakfı Anasınıfları Binası, E.C.A. Elginkan Anadolu Lisesi, E.C.A. Elginkan İlköğretim Okulu ve Ümmehan Elginkan Kız Öğrenci Yurdu ve Yemekhane Binasını yaptırarak eğitim camiasına bağışlamıştır. Ayrıca 2013 yılında E.C.A. Elginkan Anadolu Lisesi bahçesine bir kapalı spor salonu yapılmakta olup, 2014 yılında hizmete açılacaktır.

***Elginkan Vakfı**nın başarılı ve maddi imkânları yetersiz lisans düzeyinde öğrenim gören üniversite öğrencilerine yönelik burs programının yanında Türk Dili ve Edebiyatı alanındaki çalışmaları desteklemek amacıyla, Türk Dil Kurumu ile işbirliği içerisinde yürüttüğü Lisansüstü Burs programı da mevcuttur. Geleceğe yatırımın bir diğer bileşeni ise bilimdir. Vakfın 2006 yılında uygulamaya koyduğu Elginkan Vakfı Türk Kültürü ve Teknoloji Ödülleri Programı ile bu alanlardaki çalışmalara katkıda bulunmayı hedeflemektedir.*

***Elginkan Vakfı** kültüre, bilime ve teknolojiye katkıda bulunmak amacıyla yayın desteklerinde de bulunmaktadır. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevinin yayınlamış olduğu bu ve benzeri kitaplara destek olmaktan büyük memnuniyet duyuyor ve bu yayınların gençlerimiz tarafından da ilgi görmesini temenni ediyoruz.*

Elginkan Vakfı

Mehmet Doğan 1976 Bursa doğumlu. ODTÜ Biyoloji mezunu. NYU Biyoloji'de master yaptı. Serbest çevirmenlik yapıyor. Başlıca çevirileri: *Genom*, (Matt Ridley) 2007; *Gen Çeviktir*, (Matt Ridley) 2009; *Haklı Savaş Haksız Savaş* (Michael Walzer), 2010; *Neo-Liberal Genetik* (Susan McKinnon), 2010; *Boş Sayfa* (Steven Pinker) 2010; *Çift Görmek* (Peter Pesic) 2010; *Kent Paryaları* (Loïc Wacquant), 2012; *Foucault ve İran Devrimi* (Janet Afary-Kevin B. Anderson), 2012; *Âdem'in Dili* (Derek Bickerton), 2012; *Erken Modern Avrupa'da Tıp ve Toplum* (Mary Lindemann, 2013); *Akılcı İyimser* (Matt Ridley) 2013. e-posta: memeddogan@gmail.com

NANOGELECEK

Nanoteknolojinin Yarını

J. STORRS HALL

Çeviren: Mehmet Doğan

BOĞAZİÇİ
ÜNİVERSİTESİ
YAYINEVİ

J. Storrs Hall
Nanofuture. What's Next for Nanotechnology
© Prometheus Books, Inc., 2005. All rights reserved.

Nanogelecek. Nanoteknolojinin Yarını
© BÜTEK A.Ş. 2009. Tüm hakları saklıdır.
Bu kitabın yayın hakları Kayı Telif ve Lisans Hakları Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

BÜTEK Boğaziçi Eğitim Turizm Teknopark Uygulama
ve Dan. Hiz. San. Tic. A.Ş.
Boğaziçi Üniversitesi Güney Kampüs, 7. Lojman,
3. Kat, P.K. 34342, Bebek-Beşiktaş/İstanbul
Telefon: 0212 359 46 30

Yönetim Yeri:
Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi
Boğaziçi Üniversitesi Uçaksavar Kampüsü
Garanti Kültür Merkezi, Arka Giriş
Etiler/İstanbul

bupress@boun.edu.tr
www.bupress.org
Telefon ve faks: (90) 212 257 87 27
Sertifika No: 10821

Genel Yayın Yönetmeni: Murat Gülsoy
Kapak tasarımı: Kerem Yeğin
Yayıma Hazırlayan: Fazilet Özdemir
Baskı: G.M. Matbaacılık ve Ticaret A.Ş.
100 Yıl Mah. Matbaacılar Sitesi, 1. Cadde, No: 88
Bağcılar/İstanbul
Telefon: (0212) 629 00 24
Sertifika No: 12358

Birinci Baskı: Aralık 2013 (1.500 adet basılmıştır)

Boğaziçi University Library Cataloging in Publication Data
Hall, J. Storrs
Nanogelecek: Nanoteknolojinin yarını/ J. Storrs Hall; çeviren Mehmet Doğan.
331 p. ; 23 cm.

ISBN 978-605-4787-12-8

Includes index.
1. Nanotechnology.

T174.7.H3519

İçindekiler

Önsöz, 13

1. NANOTEKNOLOJİ NEDİR?
Bu Kadar Kafa Karışıklığı Neden?, 15
Nanoteknoloji Nedir?, 20 ❖ Rağbet Görmek ve "Başarı", 24 ❖ Nanoteknoloji Nedir?, 26 ❖ Birinci Aşama, 29 ❖ İkinci Aşama, 29 ❖ Üçüncü Aşama, 30 ❖ Dördüncü Aşama, 30 ❖ Beşinci Aşama, 30 ❖ Teknoloji Devrimleri, 31

2. GELECEĞE KULP TAKMAK
Bu Öngörüleri Ciddiye Alabilir misiniz?, 33
Mevcut Gidişat, 36 ❖ Yarınlarda Nesnelerin Şekli, 38 ❖ Ne Zaman?, 40 ❖ Kuşbakışı, 44 ❖ Nerede?, 47 ❖ Hayal Gücünün Kusuru, 51

3. MEVCUT NANOTEKNOLOJİ
Laboratuvar ve Yaşam; Buradan Esas Meseleye Nasıl Ulaşırız, 54
Nanoparçacıklar, 54 ❖ Karbon Nanotüpler, 56 ❖ Mikro ve Nanolitografi, 57 ❖ Nano-İşleme, 59 ❖ Moleküler Işın Epitaksisi, 60 ❖ Nanoelektronik, 61 ❖ Nanobellekler, 61 ❖ Nanopiller, 62 ❖ Otomontaj, 63 ❖ Nanoölçekli Teknolojiden Nanoteknolojiye, 64 ❖ Yaşam: Doğanın Nanoteknolojisi, 64 ❖ Tüm Makinelerin Anası, 66 ❖ Biyolojiden Nanoteknolojiye, 70

4. NANOMAKİNELERİN TASARIMI VE ÇÖZÜMLEMESİ
Kuram, Mevcut Araç Gereç ve Gelecek, 72
O Tuhaf Kuantum Dünyası, 72 ❖Moleküler Mekanik, 74 ❖ Nanotasarım, 79 ❖ Benzetim ve Sınama, 83

5. GİRDİSİ ÇIKTISI
Olgun Nanoteknolojinin Esasları, 84
Ölçekleme Yasaları, 85 ❖ Yapılar, 86 ❖ Rulmanlar, 89 ❖ Motorlar, 92 ❖ Bulunduğumuz Noktadan Otojenözlüğe, 95 ❖ Pompalar, 96 ❖ Nanodevreler, 99 ❖ Toparlarken, 100

6. MAKİNELER
Moleküler Makineleri Çalıştırmak, 101
Öyle Bedavaya Yemek Yok, 104 ❖ Nanodünyanın Enerjisini Temin Etmek, 110

7. DİJİTAL TEKNOLOJİ
Atomlar Maddi Dünyanın Bilgi Birimidir, 112
Büyük Devrim, 116 ❖ Nanobilgisayarlar, 119 ❖ Mekanik Bir Konu, 120 ❖ Bellek, 121 ❖ Tersinirlik ya da Carnot Yine Başını Gösteriyor, 124 ❖ Kuantum Bilgisayarları, 125

8. KENDİNİ EŞLEMEK
Mekanik Annelik, 127
Fabrika Zemininde, 129 ❖ Üremeye Karşı Eşleme, 131 ❖ Montajcılar, 134 ❖ Mekanosentez, 136 ❖ Kendinden Destekli Montaj, 137 ❖ Çay, Earl Grey, Sıcak, 139 ❖ Büyücü Çırağı, 140

9. GIDA, GİYİM, BARINMA
Nanotek Çağında Hayatınızdan Bir Gün, 142
Giyim, 144 ❖ Nanogiysi, 146 ❖ Çayırdaki Küçük Ev, 148 ❖ İlyon'un Üstsüz Kuleleri, 149 ❖ Sanal Gerçeklik, 150 ❖ Kapalı Kapılar Ardında Ara Fasıl, 151

10. EKONOMİ
Bu İş Ne Kadara Patlayacak?, 154
Robinson Crusoe, 159 ❖ Çekinceler, 162 ❖ Ütopya, Ltd. Şti., 163 ❖ Menzile Ulaşmak, 165

11. TAŞIMACILIK
Aslında Dünya Çok Küçük, 168
Yük Taşımacılığı, 181 ❖ Işınla Beni Scotty, 182

12. UZAY
Engin Bir Alem Bizi Bekliyor, 184
Menzile Ulaşmak, 192 ❖ Uzun Vadeli Seçenekler, 195

13. ROBOTLAR
Ne İş Olsa Yaparlar, 199
Alet Sisi, 202 ❖ Uçmak, 208 ❖ Sanal Gerçeklik, 209

14. YAPAY ZEKÂ
Zannettiğinizden Yakın, 211
Sibernetik, 212 ❖ Eski Toprak YZ, 215 ❖ YZ'nin İşi Neden Zor, 219 ❖ Geleneksel Olmayan YZ, 221 ❖ Simgesel Servo, 223 ❖ Düşüncenin Gücü, 225 ❖ Tekillik, 227

15. BAŞINA BUYRUK EŞLEYİCİLER
Ateşle Oynamak, 230
Biyocul Nanoeşleyiciler, 234 ❖ Devekuşu Stratejisi, 235 ❖ Boya, Sabun ve Çamaşır Makineleri, 239

16. GERÇEK TEHLİKELER
Daha Fena Oyuncaklarıyla, Yine Aynı Kötü Adamlar, 242
Kendini Eşleyen Silahlar, 244 ❖ Savaş, 246 ❖ Terörizm, 247 ❖ Ekonomik Statü, 250 ❖ Nanoparçacıklar, 251 ❖ Başka Tehlikeler, 251 ❖ İlginç Zamanlarda Yaşamak, 254

17. NANOTIP
Defoları Düzeltmek, 255
Moleküler Savaş, 257 ❖ Cerrahi, 258 ❖ Yedek Parçalar, 260 ❖ Tek-Hücreli Takma Organlar, 261 ❖ Hücre Tamir Makineleri, 265 ❖ Ahlaki Meseleler, 270 ❖ Uzun Yaşa, Refaha Er, 270

18. KİŞİSEL GELİŞİM
Transhümanizme Bir Bakış, 272
Alın Teri, 275 ❖ Ne Gerek Var?, 276 ❖ Programlanabilir Hayvan, 280

19. İNSANIN BEKLENTİSİ
Sonsuza Kadar Mutlu Yaşamak, 286
Bizzat Size Ait Bir Dünya, 287 ❖ Hareket Alanı, 289 ❖
Güçler Dengesi, 293 ❖ Ahlak ve Merkezîleşme, 296 ❖
Yeni Cepheler, 298 ❖ Yüklemek, 299 ❖
Kendi Özüne Karşı Dürüst Ol, 304

Kaynakça, 307

Sözlükçe, 315

Dizin, 329

Purser Hewitt (1905-1986) için

Önsöz

Nanoteknolojinin yaratacağı düşünülen etkiden, ikinci sanayi devrimi diye bahsedildiği olur. Üçüncü, dördüncü ya da beşinci sanayi devrimi denmez, çünkü bilgisayar ya da robot teknolojilerine dair benzer öngörülere rağmen, şimdiye dek ilk sanayi devrimi gölgede bırakılamadı.

Asıl sanayi devrimi, yaşam tarzımızı dönüştürmüştür. Bireylerin ortalama ömür uzunluğunu ikiye katlamıştır; ulusal çapta bakarsak, bütünüyle küresel olan uygarlıkların doğuşunu mümkün kıldığını görürüz. Peki, nanoteknolojinin etkisi bu gibi bir dönüşümle boy ölçüşebilecek mi?

Nanoteknoloji, şimdiden bünyesinde kayda değer icatlar barındırıyor, üstelik daha da fazlası kuramcıların laboratuvarlarında ve bilgisayar ekranlarında hazır bekliyor. Ne kadar dahice olursa olsun birtakım yeni icatların, küçük bir teknoloji dalını aşıp dünyayı değiştireceğine nasıl hükmediyoruz? Bu kitabı okuduğunuzda göreceksiniz.

Yeni teknolojileri sağlam bir şekilde anlamak, yani bu teknolojileri, etkilerini değerlendirebilecek kadar kavrayabilmek, düşünsel bir maceradır. Böyle bir yolculukta size Josh Hall'dan daha doğru düzgün kılavuzluk edecek birini düşünemiyorum.

Nanoteknoloji terimi bugün gördüğü rağbetin daha onda birine ulaşmamışken, Josh Hall bu konuyla ilgili dünya çapında ilk internet tartışma topluluğunu kurmuş ve on yıl boyunca nanoteknoloji tartışmalarına yön vermiştir. Ayrıca, nanoteknolojinin ilk günlerinden itibaren araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunmuştur. Birçok icat ve buluş için ona teşekkür etmeliyiz.

Fakat Hall'un bilimsel sicilinden daha önemlisi, açıklamalarını geniş bir bağlama oturtmasıdır. Bu kitabı okurken sadece nanoteknoloji hakkında değil, tüm teknolojiler hakkında bir şeyler öğreneceksiniz; teknolojiyi, sırf birtakım aygıtların derlemesi olarak değil, dünyamızın yapısal bir parçası olarak göreceksiniz. Sanayi devrimini yaratan etken, buhar makinesinin sağladığı güçle sınırlı değildi; bu makinenin *yapabilecekleri* ile *yapılması gerekenler* arasındaki ilişki de önemliydi.

Roma İmparatorluğu'nun en görkemli döneminde İskenderiyeli

Heron, kendi eseri olan bir makineyi çalıştırmak için buhardan faydalanmıştı. Yine de bu makine, oyuncak olmaktan öteye geçememiş, bir devrim başlatamamıştı. Buhar gücü, doğru bağlam oluşana kadar bir köşede unutuldu, sırası gelince de dünyayı değiştirdi.

Teknolojide yaşanan muazzam değişikliklerin dünyamızı yeniden şekillendirebileceğini kabullenmek belki zor, fakat olaya tarihsel bağlam içinde bakmak faydalı olabilir. Yirminci yüzyılın tarihini ve dertlerini, aşağıda saydığım şu büyük teknolojik ilerlemeler hiç olmamış gibi hayal etmeye çalışın: antibiyotikler, arabalar, hava taşıtları, radyo, televizyon, sinema filmleri, elektrikli aydınlatma, çamaşır ve kurutma makineleri, su tesisatı, bilgisayarlar. Bu durumda savaş ve barış, yokluk ve refah, hayaller ve kâbuslar hep farklı olurdu.

Teknolojik değişim hızı ivme kazanıyor ve önümüzdeki onlarca yıl boyunca nanoteknoloji, bu değişimin merkezinde yer alacak. Gelecek yirmi otuz yılda, son yüzyıla kıyasla teknolojinin yapabileceklerinde daha fazla değişim yaşanacak. Sıradaki teknoloji devrimiyle yüz yüze gelirken, geçmiş teknoloji devrimlerinden çıkartmış olduğumuz dersler en sağlam kılavuzumuzdur.

Yerinde bir deyişle tarih, öncelikle bir hikâyedir. Teknoloji tarihi ise, insan ihtiyaçlarına ve fiziki olanaklara dair bir hikâyedir. Teknolojiye dair öngörüler, fizik yasalarının belirlediği imkânlar kapsamında karşılanabilecek insan ihtiyaçları hakkında buna benzer bir öykü anlatmak zorundadır. Nanoteknolojinin etkisini anlamak için, bu teknolojinin neleri mümkün kıldığını, hangi ihtiyaçları doyurduğunu düşünmeli, ayrıca zorunluluklar ile olasılıkların daha önce dünyamızı birlikte nasıl şekillendirdiğini göz önüne almalıyız.

Elinizdeki kitapta işte bu hikâyeyi bulacaksınız.

K. Eric Drexler
Los Altos, California
Ağustos 2004



BİRİNCİ BÖLÜM

NANOTEKNOLOJİ NEDİR?
Bu Kadar Kafa Karışıklığı Neden?

Geleceğin perdesini aralamaktan hangimiz mutlu olmaz? Gelecek yüzyıllarda bilimde gerçekleşecek ilerlemeleri görmeyi ve bilimdeki gelişimin sırlarına göz atmayı hepimiz isteriz.

David Hilbert,
İkinci Uluslararası Matematikçiler Kongresi,
Paris, 1900

Yirminci yüzyılın ilk yarısı, yaşam tarzımızı derinden etkilemiş bir teknolojinin serpilmesine tanıklık etti. 1900 yılında geniş bir kesim, havadan ağır, uçan makineler yapmanın imkânsız olduğunu düşünüyordu; 1950 yılına gelindiğinde ise, jet uçaklarının hızı, ses hızına yaklaşmıştı. 1900 yılında, çoğu insanın arabası, elektriği ya da evinde su tesisatı yoktu. 1950'de artık bu imkânlara kavuşmuşlardı. Aynı elli yıllık dönemde antibiyotik, radyo, televizyon, plastik, nükleer silah ve bilgisayar alanlarında muazzam gelişmeler yaşanmıştır. Traktör, biçerdöver ve benzeri araç gereçler sayesinde, aynı miktarda gıda üretimi için gerekli olan insan sayısı onda birine düşmüştür.

Bu ilerlemenin seyri, yirminci yüzyılın ikinci yarısında da büyük oranda sürdü. Jet motorlu yolcu uçakları yaygınlaştı ve Boeing 747'yle birlikte, hava taşımacılığı belirli mallar için hesaplı hale geldi. Televizyonlara, bilgisayarlara, cep telefonlarına, buna benzer araç gerece artık her yerde rastlamak mümkün. Küresel iletişim şebekesinin kurulmasının yanı sıra devasa şileplerin ve tankerlerin inşası sayesinde, yirmi birinci yüzyıla girerken dünya ekonomisi, yirminci yüzyılın başındaki ulusal ekonomilerden daha bütünleşik bir yapıya kavuştu. İnsanoğlu ayda dahi yürüdü.

Ancak, teknolojinin muhteşem vaadi bir şekilde sihrini kaybeder gibi oldu. Aydaki ayak izleri onlarca yıl bozulmadan kalmıştır. Yir-

minci yüzyılın ikinci yarısında Batı uygarlığının yarattığı bir eserin hacmi, Çin Seddi'ni gölgede bırakmıştı. Bahsettiğim eser, Fresh Kills çöp sahasıdır, yani New York şehrinin güneyinde bulunan Staten adasındaki kent çöplüğü. Arabalar ise, trafik sıkıştığı zaman o kadar hızlı gidemez. Gıda üretiminin duyulmadık miktarlara çıkmış olması bile, obezitenin ve kalp hastalığının yaygınlaşmasına yol açtı.

Algının değişmesi karmaşık bir süreçtir, ancak başlıca sebepleri pek azdır. Bir defa, insan doğasından bahsedebiliriz: Yirminci yüzyılın başında teknolojinin vaatleri, en azından sanayileşmiş uluslarda büyük oranda yerine getirilmiştir. Karnı tok, sırtı pek olup, zorlu çalışma koşullarına da maruz kalmayan insanlar dikkatlerini başka yerlere çevirmiştir. Yirminci yüzyılın ilk yarısının aksine, bu asrın ikinci yarısında iki küresel savaş yapmadık. Savaş, zaferi getirecek araçlara odaklanıp istenmeyen yan etkilerden uzak durma eğilimine girmiştir.

1900 yılında yaşayan bir çiftçiye, yüzyıl sonra ahfadının vaktini genelde, ısıtılan ve havası iklimlendirilen (havası ne yapılan?) binaların içinde, minderli koltuklarda oturarak, konuşarak, okuyarak, yazarak geçireceğini söyleseydiniz, ilerleme düşüncesine inanan biriyse dediklerinizi akla yatkın bulabilirdi. Tüm bu işlere "çalışmak" deneceğini söyleseydiniz, suratınıza gülüp geçebilirdi. Yirminci yüzyıl teknolojisinin zaferleri, yani dolu mideler ve yıpratıcı çalışma koşullarından kurtulmuş olmak, doğal sayılır ve dolayısıyla, bu meselelerin seviyesine daha önemsiz sorunlar yükseltilir.

Son olarak, azalan verim oranı gibi gerçek bir görüngüye de değinelim. İki bıçaklı tıraş jileti, tek bıçaklı jiletin iki katı kadar yararlı değildir. Arabalar hız sınırına tabi tutulur ve bu sınır faydalıdır, çünkü mekanik yeterliğin kısıtlamalarıyla değil, insan reflekslerinin kısıtlamalarıyla belirlenir. Yolcu uçakları için konulan hız sınırının belirlenmesinde ekonomi ve uçuş süratiyle ilgili düzenlemeler rol alır. Sesten hızlı yolcu uçakları yapacak teknolojimiz mevcut, ancak bu iş haddinden pahalıya patlar.

Bilime gelirsek, yirminci yüzyılın ilk yarısında fizik bilimi, kuantum mekaniği sayesinde sıradan madde anlayışımızda devrim yaptı, böylece kimya dalında yeni bilgiler filizlendi. 1950'de yaşamış bir biliminsanının, mesela maddelerin özelliklerinin sebebi gibi sıradan durumlar için sağlam, esasen makul açıklamalar sunacağı pekâlâ söylenebilir. 1900 yılında yaşamış bir biliminsanı ise birçok şeyi uydurmak zorunda kalırdı. Su molekülleri belirli bir şekle sahip olduğu için kar tanelerinin altılı bir simetriye sahip olduğunu söyleyebilirdi.

Oysa 1950 yılının biliminsanı, su molekülünün neden o şekle sahip olduğunu da açıklayabilirdi.

Peki, yirminci yüzyılın ikinci yarısı hakkında ne demeli? Teknoloji gibi bilim de azalan verim oranı yasasına maruz kaldı mı? Bazı alanlarda evet. Harika başarısından sonra fizik bilimi, gündelik olaylara ilgisini azaltıp daha esrarengiz görüngülere kaydı. Protonların, nötronların, vesairenin kuarklardan meydana geldiği olgusu, çekirdek-altı fiziğinin fevkalade bir sisteme oturtulmasını sağlamıştır, fakat insan hayatında bu olgunun fiilî bir etkisi olmamıştır. Ancak başka bir gelişme bu etkiyi yarattı. Hak ettiği tantanayı uyandırmasa da, bir bütün olarak bilim, tüm zamanların en büyük, en önemli gizemini gün yüzüne çıkarmıştır: Bizzat yaşamın doğasını ve mekanizmasını gözler önüne sermiştir.

Aslında bu öykü 1600'lerin ilk yarısında başlar. Galileo'nun Kilise tarafından mahkûm edildiği bu zamanda, 1633 yılında René Descartes, *De Homine*[1] başlıklı kitabını yazdı; insan bedenine dair kimi görüngüleri mekanik bağlamda açıklamaya çalışmıştı. Descartes, dualizm öğretisiyle meşhurdur. Esrarengiz biçimde eyleme geçen zihin ile mekanik olarak çalışan madde arasında ayrım olduğunu iddia eder. Dirimselcilik (vitalizm) anlayışı, fizik ve kimyanın mekanik yasalarına boyun eğmeyen bir "yaşam gücüne" inanır; bu anlayışın, fikrî gelenekte güçlü bir geçmişi vardır, hatta dünyanın işleyişine dair gündelik fikirlerde bu yaklaşımın mevcudiyeti daha da güçlüdür. Descartes kapıyı aralamıştı. Hayat görüngülerine dair mekanik açıklamaların yolunu açmış oldu. Kasten ya da değil, dualizm anlayışı o günün gerici ve dinci güçlerine karşı kusursuz bir kalkan teşkil etmişti; örneğin maneviyatı, vicdanı, bilinci "zihin" kategorisinin kollarına bırakırken, el-göz eşgüdümüyle ilgili mekanizmaların araştırılmasını mümkün kılıyordu.

İleri sarıp 1825 yılına gelelim. Kimyagerler hâlâ yeni elementler keşfediyordu ki bu elementlerin bileşimleriyle ilgili temel kurallar ve özellikler üzerinde hâlâ çalışılmaktadır. O zamanın kimyagerleri, dünyayı iki ayrı "madde" türüne bölmüştü: inorganik ve organik. Bu iki zıt kutup asla bir araya gelmez diyorlardı. Organik bileşimleri canlılar üretirken, inorganik bileşimleri kimyagerler deney tüplerinde

---

[1] Hollanda'da 1633 gibi tamamlandı, *De Homine* (İnsan Üzerine İnceleme) baskılara karşın nihayetinde 1662 yılında ilk defa yayımlandı. İngilizceye çeviren ve yorumlayan: Thomas Steele Hall (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1972).

oluşturuyordu. Organik bileşenleri elbette parçalara ayırabilirdiniz, örneğin yakabilirdiniz. Fakat bunları bir araya getirmek için betimlenemeyen bir yaşam gücü gerekliydi ve bunun var olduğuna herkes ciddi ciddi inanıyordu. Sonra, Friedrich Wöhler adlı genç kimya öğretmeni 1825 yılında sıvı hidrojen siyanid ve amonyak karışımından eylemsiz bir katı madde üretti. Ardından, siyanid ve amonyak tuzlarını farklı şekillerde karıştırarak aynı kimyasalı yine elde etti. 1828 yılında da bu bileşenin kimyasal bakımdan üreyle özdeş olduğunu ispatlamayı başardı ki üre, idrarda bulunan organik bir bileşimdir.

Yirminci yüzyıla gelindiğinde, fizyolojiden kimyaya o zamana kadar her alanda kaydedilmiş ilerlemeler, yaşamın temelde mekanik olduğu düşüncesini makul hale getirmişti. Fakat bu konu her halükârda hâlâ bir inanç meselesi olarak kalmıştı. Söz konusu mekanizmalar bilinmiyordu. Gerçi 1944 yılına gelindiğinde iş öyle bir noktaya ulaşmıştı ki Erwin Schrödinger *What is Life?*[2] [Hayat Nedir?] başlıklı denemesini yazabilmişti. Kilometre taşı nitelikli bu deneme, hücresel düzeyde tüm yaşam görüngülerinin ta kuantum mekaniğine kadar uzanan kesintisiz bir açıklamalar zincirinin parçası olabileceğini ikna edici biçimde savunuyordu (Schrödinger, kuantum mekaniğinin kurucularındandır). Dokuz yıl sonra Francis Crick ve James Watson, DNA'nın yapısını keşfettiler, böylece araştırmaların önü açılmış oldu.

Ben ortaokuldayken biyoloji öğretmenim, canlıları cansız maddelerden ayıran dört hususdan bahsetmişti. Bunlar Örgütlenme, Metabolizma, Üreme ve Duyarlılıktır demişti. Örgütlenme, organizmaların girift bir iç yapısı olduğu, hücrelerden meydana geldikleri ve hücrelerin de iç yapısı bulunduğu anlamına geliyordu. Metabolizma, büyümek ve eyleme geçmek için organizmaların besin tükettiği anlamına geliyordu. Üreme ise... Pekâlâ, ortaokulda bu konulardan pek bahsedilmezdi. Duyarlılık, etkilere verilen tepkiler demekti; bu tepkiler, insanların bilinçli eylemlerinden bitkilerin yönelimlerine (tropizm) kadar farklılık gösterebilirdi.

Kısmen bunun bir giriş dersi olmasından, kısmen de o zamanlar bu konunun tam anlaşılmamış olmasından ötürü, öğretmen hanımın açıklamadığı unsur şuydu: Moleküler makinelerin eylemleri, tüm bu hususları nasıl yaratıyordu? Burada kilit husus üremedir. Hücreler

---

[2] Erwin Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge: Cambridge University Press, 1944), internet erişimi için: http://home.att.net/~p.caimi/schrodinger.html.

çoğalıp bedenin yapısını oluşturur, nihayetinde organizmanın bütünüyle üremesini mümkün kılarlar. Hücre, makinelerle ve bir yapı tasarısıyla dolu fabrika gibidir. Bu makineler arasında, makine yapan makineler de vardır. Bunlara ribozom diyoruz. Ayrıca, yapı tasarısını kopyalan makineler de mevcuttur, bunlara ise replizom diyoruz. Yapı tasarısı cilt cilttir ve her cilde kromozom denir. Her kromozom ise aslında bir DNA molekülüdür.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, bu sistemin nasıl çalıştığına dair genel kapsamlı bir eskizden yola çıkıp burnumuzu ayrıntıların ta dibine kadar soktuk. Şifresi 1960'larda çözülen "genetik şifre," belirli bir DNA parçasından inşa edilecek amino asit dizisinin planını teşkil eder. Proteinin alacağı şekli ya da proteinin oluşturacağı moleküler makinenin işlevini bu DNA dizisine bakarak genel bir kural olarak söyleyemeyiz, fakat bu kuralı tesis etmeye yaklaşıyoruz. Doğrusu, pek çok özel vaka hakkında bilgi sahibiyiz. Gen, belirli bir makinenin tarifi olan DNA molekülünün parçasıdır. Bir organizmanın DNA'sından genler kırpıp bu genleri başka türe mensup bir organizmanın içine sokabiliriz. Bu işlemle çeşitli sonuçlar elde edebiliriz, örneğin karanlıkta parlayan akvaryum balığı gibi.

Bildiğimiz tüm yaşam biçimleri pek çok moleküler makine barındırır. Bu makineleri kurcalamak, bunları yeni kombinasyonlarla bir araya getirmek ve yaşam üzerinde çeşitli düzeltmeler yapmak yetisine biyoteknoloji deniyor. Şimdiye değin biyoteknoloji, yepyeni moleküler makine tasarımları icat etme konusunda fazla ilerleme kaydetmedi, fakat bu yeti de yolda. Ancak biyoteknolojinin de sınırları var. Bir defa, tüm moleküler makineler protein yapılıdır. (Biyoloji, başka malzemelerle de bir şeyler inşa edebilir, örneğin kemik ya da diş üretebilir, fakat faal moleküler makine inşası ancak proteinlerle mümkündür.) Dolayısıyla biyoteknoloji, DNA-RNA-ribozom-amino asit-protein mekanizmasına sıkışıp kalmıştır, yani çözelti içinde ve dar bir sıcaklık aralığında çalışmakla kısıtlanmıştır. Elinden gelmeyen tonla şey mevcuttur, örneğin teneke konserve kutusu yapmak gibi.

Öte yandan biyoloji ve ustalaştığımız takdirde biyoteknoloji, geleneksel imalat teknolojimizi epey aşan beceriler kullanarak, zihinleri allak bullak edecek kadar girift, uyum gösterme becerisi inanılmaz ölçüde gelişmiş çeşit çeşit varlık yaratabilir ve yaratmaktadır. Bizler, aya giden roketler inşa edebiliriz, ki biyoloji bunu yapamaz, fakat biyolojinin bol keseden yaptığı böcekleri imal edemeyiz. Elektron mikroskobu inşa edebiliriz, biyolojinin elinden bu da gelmez, fakat yalnızca tanrının ağaç yaratabileceğini söyleyen Joyce Kilmer'ın bu

vecizesi hâlâ geçerli. Nükleer enerjiyle çalışan uçak gemisinin uçaklarla dolu hali yaklaşık 100 trilyon adet çalışır aksamdan oluşur (bunların çoğu, bilgisayarların belleğinde bilgi biti depolamaya yarayan kondansatörlerdir). Bunca aksam karasinekte de var.

Peki, biyolojik mekanizmaların becerilerini geleneksel mekanizmaların becerileriyle birleştirmek ya mümkün olsaydı? Kendi kendilerine oluşan, kendilerini tamir eden, fabrikalar olmaksızın çoğalan ve tohumlardan filizlenen makinelerimiz olabilirdi. Yaşamın maharetini ve uyum gösterme yeteneğini, jumbo jetlerin gücünü, elektrikli motorların verimini, bilgisayarların şaşmazlığını barındıran bir teknolojiye sahip olabilirdik. Acaba böyle bir teknoloji mümkün mü?

Bu teknoloji mümkün, ayrıca yolda. Yaşam tarzımızı, bildiklerimizi, düşünce şeklimizi, hatta belki bizi de değiştirecek. Buna nanoteknoloji diyoruz.

NANOTEKNOLOJİ NEDİR?

> Nanoteknoloji: Atom ya da molekül ölçeğinde malzeme işleme sanatı, özellikle de mikroskobik cihazlar (robot gibi) inşa etmek amacıyla iş görür.
> AOL internet sözlüğü

> Nanoteknoloji: [bilgi girişi yok]
> *Webster Üçüncü Yeni Uluslararası Sözlük* (1966)

Gelecek teknolojileriyle ilgili kitapların çoğu Clarke Yasasına uyar: "Yeterince ileri bir teknolojiyi sihirden ayırmak mümkün değildir."[3] Bu yasaya uymamaları zor: Genel okuyucuya, hatta bu alanların dışındaki uzmanlara, mevcut teknolojilerin büyük kısmı sihir gibi gelir. Ancak bu yaklaşım, uzun soluklu kişisel planlar yapmak, siyasi ve ekonomik karar alma süreçlerine katılmak ya da dünyada olan bitenin nasıl işlediğini anlamak isteyen okuyucular için faydalı bir çıkış noktası değildir.

Kamuoyuna yorum yapan herkes nanoteknoloji hakkında esasen aynı şeyi söylüyor olsaydı, onların sözüne itimat etmek en azından makul sayılabilirdi. Fakat nanoteknolojinin ne olduğu ve elinden neler gelebileceği konusunda geniş çaplı fikir birliği varmış gibi gö-

---

[3] Arthur C. Clarke, *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible* (New York: Harper & Row, 1972), s. 21. [Türkçesi: *Geleceğin Çehresi*, çev. Sebati Ataman, Yapı Kredi Yayınları, 1970.]

rünmüyor.

Bu terimin sık sık kulaklarımıza çalındığı ilk alanlardan birisi bilimkurgudur. Bilimkurgu en azından bazı fikirlerin tartışılmasını mümkün kılar, fakat yeni ve önemli teknolojik ilerlemeler hakkında bir şeyler öğreneceğimiz alan bilimkurgu olmak zorunda değil. Bir defa, bilimkurgu yazarı, bilinenlere, olasılıklara, hatta gerçeklere sadık kalma yükümlülüğü taşımaz. Sağlam, dramatik bir öyküye dair talepleri karşılamak bilimkurgu yazarının önceliğidir. Dolayısıyla bilimkurgu yazarı önce konuyu şekillendirir, sonra bu konuya uyan bir teknolojiden bahsetmek için gerçekleri istediği gibi keser, esnetir, hatta uydurur.

Nanoteknolojinin şu aşağıdakilerle alakası yoktur: *Uzay Yolu* filmindeki gibi uzay geminizi ele geçiren bir "nanit" salgınıyla ilgili değildir; *Terminator II*'deki gibi, gelecekten gelen, şekil değiştirebilen şeytani katil robotlarla ilgili değildir; *Prey*'deki gibi, et yiyen şeytani böcek sürüleriyle ilgili değildir. Bu bilimkurgu öykülerinde kurgu tarafının ağır bastığını söyleyebiliriz. Öykü yazarları, bu öyküleri, duyguları harekete geçirecek şekilde tasarlamıştır, dolayısıyla makul, ağırbaşlı bir teknoloji öngörüsüyle uzaktan yakından ilgileri bulunmaz.

Öte yandan, en bayağı ilerlemeleri nanoteknoloji diye yutturmaya kalkan insanlara da rastlarsınız: Kirlenmeyen pantolonlar, cilt kremleri, sıvı yağ ve boya katkı maddeleri vesaire gibi ki bunlar öteki giysi işleme süreçlerinden, katkı maddelerinden ve sahip olduğunuz öteberiden aman aman farklı görünmez. Aslında, ben bu satırları yazarken, New York başsavcısından, *nanoteknoloji* kelimesinin sahte reklam amacıyla şirket tanıtımlarında aşırı kullanımını soruşturması istenmişti.[4] Bir eleştirmen bu durumu şöyle alaya alır: "Ürünleri atomlardan meydana gelen herkes kendi uğraşına 'nanoteknoloji' yakıştırmasında bulunmaya ne kadar hevesli."

Nanoteknoloji kelimesinin tarihçesine göz atmak faydalı olabilir. 1970'lerde rekombinant DNA tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte biyoteknoloji ciddi bir olasılık olarak belirmeye başlamıştı. MIT'de (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) öğrenci olan K. Eric Drexler, hücre içinde olup bitenlerin ilkece mühendislerin makro ölçekte yaptıklarından çok da farklı olmadığı düşüncesine ilgi duymuştu. Dahası, hücrenin moleküler mekanizmaları üzerinde denetim kurarak hücreyi mühendislerin normal boyutlu makineleri kullandığı gibi

[4] "Concerns That Nanotech Label is Overused," *New York Times*, 12 Nisan 2004, s. C2, sütun 4.

kullanmak ona makul gelmişti: Bu sayede malzemelerin, yapıların, aletlerin ve yeni makinelerin yapılabileceğini düşündü.

Drexler bu fikirlerini bilimsel makale olarak kaleme aldı ve 1981 yılında *Proceedings of the National Academy of Sciences* adlı bilim dergisinde "Moleküler Mühendislik: Moleküler İşlemlere Yönelik Genel Becerilerin Geliştirilmesi Yaklaşımı" başlığıyla yayımladı. Özet kısmı şöyledir:

> Protein molekülü tasarlama becerisinin ortaya çıkmasıyla birlikte atom seviyesinde karmaşık vazifeler yüklenebilecek cihazların imalatına giden yol açılacaktır, böylece geleneksel mikroteknolojinin önüne çıkan engeller bir kenara itilebilir. Bu yolda, reaktif molekül takımlarını atomik hassasiyetle konumlandırabilecek moleküler makinelerin inşası mümkün olacaktır. Bu yaklaşım, bilgisayarlı cihazlarda ve biyolojik malzemelerin işlenmesi becerisinde büyük ilerlemeler sağlayabilir. Bu yolun mevcudiyeti, şimdiki zamana yönelik kimi açılımları da bünyesinde barındırır.[5]

1980'ler boyunca Drexler ve bir grup arkadaşı, bu tarz bir teknolojiye dair ihtimaller ve kimi açılımlar üzerinde çalıştı. Sonra 1987 yılında Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*[6] [Yaratıcı Makineler: Yaklaşan Nanoteknoloji Çağı] başlıklı, sonradan rağbet görecek bir kitap yayımladı. 1980'ler boyunca bu teknoloji üzerinde düşünce üretip çalışan insanlar *nanoteknoloji* kelimesini hep kullanmıştı; fakat kamuoyuna bu terimi tanıtan, *Engines* kitabının yayımlanması oldu.[7]

Engines of Creation, teknoloji meraklıları için bir düşler ülkesidir. Kitap, kendini çoğaltan mikroskobik boyuttaki birimlerin, ato-

---

[5] K. Eric Drexler, "Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation," *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 78, no. 9 (Eylül 1981): 5275-78. O zamanlar sıfırdan protein tasarlanmıyordu ve bunu yapmanın aşırı zor, belki de imkânsız bir mesele olduğu düşünülüyordu. Fakat on yıl içinde protein tasarımlarına başlandı. Bkz. L. Regan ve W. F. DeGrado, "Characterization of a Helical Protein Designed from first Principles," *Science*, 241 (1988): 976-78.

[6] K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (New York: Anchor/Doubleday, 1984).

[7] Aslında bu terimi ilk yayımlayan kişi, 1974 yılında Tokyo'daki bir konferansın sunum raporunda yayımlayan Japon mühendis Norio Taniguchi'ydi. Bulduğu tanım gayet uygundur: "... 'Nanoteknoloji' maddelerin atom atom ya da molekül molekül ayrılması, pekiştirilmesi ve şekillendirilmesi sürecinden meydana gelir."

mik bir hassasiyetle gökdelen boyutunda nesneler inşa edebileceğini öngörür. Söz konusu nesneler bina ya da uzay gemisi olabilir. Bu gibi tasarımların gerektireceği muazzam giriftlikle başa çıkabilecek yapay zekâ ve mühendislik sistemlerini anlatır. "Kolay ve rahat" uzay yolculuğundan bahseder ve üzerinize giydiğinizi size unutturacak kadar hafif ve ince bir uzay giysisi betimler (günümüzde uzay giysileri öyle kullanışsız ve ağır ki onları giymek de onlarla iş yapmak da çok zahmetlidir). Hücreleri onaran makinelerden ve "yaşlanma denen hastalığı" iyileştirmekten söz eder. Bedenin dondurulmasını ve dondurulan kişinin tekrar diriltilmesini anlatır.

Engines, teknik yönelimli çevrelerde heyecan yarattı. Nüfusun bir kesimi, teknolojiyi daima sırf teknolojinin kendisi için sevmiş, insanlık durumunu mütemadiyen iyileştirebileceğine inanmış ve bunu hayal etmişti. (Edison'un rağbet gören bir kahraman olduğu yüzyıl öncesine kıyasla bu kesim şimdi daha minik.) Bu hayaller artık bir biçime kavuşmuştu. Daha önce boş bir nakarat olan "teknolojik ilerleme"nin yerini görünür usuller ve teknikler almıştı. Bu usullerin ve tekniklerin aynı zamanda bir adı da vardı.

Drexler, *nanoteknoloji* kelimesini uydururken o zamanlar zaten yaygın olan *mikroteknoloji* kelimesinden yola çıkmıştı. Mikroteknoloji terimi çoğunlukla fotolitografik çip imalatı teknikleri için kullanılıyordu, fakat maddelere mikron ölçeğinde müdahale eden her teknik için geçerli bir isimdi. Yeni teknoloji, maddeyi nanometre ölçeğinde yönlendireceği için teknoloji kelimesinin önüne hangi ekin koyulması gerektiği apaçıktı.

1990'lı yılların ortasına gelindiğinde, *nanoteknoloji* kelimesi moda sözcük haline geldi ve bilimkurgu eserlerinde, popüler bilim kitaplarında ve teknik yayınlarda, hatta bilimsel ödenek başvurularında boy göstermeye başladı. Ne de olsa, eğer *nanoteknoloji* maddeyi nanometre ölçeğinde ele almak anlamına geliyorsa, mevcut bilimlerin ve mühendisliklerin büyük kısmı tanım gereği nanoteknoloji kapsamına giriyordu: kimya, molekül biyolojisi, yüzey fiziği, ince tabakalar, ultra ince taneli tozlar vesaire. Yüzyılın sonuna gelindiğinde, mikroteknolojinin aslı olan bilgisayar çiplerinin kimi vasıfları nanometreyle ölçülebilecek raddede ufalmıştı. (Bir mikron, 1.000 nanometreye eşittir, dolayısıyla 0,08 mikron demek yerine 80 nanometre dersiniz.)

RAĞBET GÖRMEK VE "BAŞARI"

Dile getirdiğin gerçeği
Budalaları kandırmak amacıyla
Hilebazların çarpıtması
Sana koymuyorsa eğer...
Rudyard Kipling, "Eğer"

Kusursuz bir dünyada, tanımlarla uğraşmak sözlük uzmanlarının meselesidir. Fakat gerçek hayatta, tıpkı siyaset dünyasındaki gibi, bilim dünyasını da geçici hevesler ve moda sözcükler sürükler. Bu iki dünyanın kesişim noktasında, yani bilime ve teknolojiye ödenek veren devlet kurumlarında, moda sözcüklerin sürüsüne berekettir. Dolayısıyla, insanların neredeyse birbirinin boğazını sıkacak duruma geldiği devletten para koparma rekabetinde, akranlarına üstünlük kurma heveslisi araştırmacılar, *nanoteknoloji* kelimesini hızlıca benimsemişti.

Ödenek bulan araştırmacıların rekabet ettiği başka bir mecra ise parlak yüksek lisans öğrencilerini kapmaktır. Üniversite laboratuvarlarındaki işlerin çoğunu aslında yüksek lisans öğrencileri yapar ve aldıkları maaşlar, iş dünyasındaki ücretlere kıyasla oldukça düşüktür. Araştırmacılar bu öğrencilere para dışında başka ödüller sunar. Bu ödüllerin başlıcası, öğrencilere yeni ileri teknoloji alanlarında çalışma ve öğrenme fırsatı sunulmasıdır. Yaptığınız işi nanoteknoloji olarak betimlemek en iyi öğrencileri cezbetmenin sağlam yollarından biridir.

Böylece bu kelimenin anlamı esnemiş, esnemiş, esnemiştir.

Sonra tuhaf bir gelişme oldu. Yüzyıl biterken, Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi adlı kurum, nanoteknoloji ismi altında yapılan araştırmalara yılda aşağı yukarı bir milyar dolar ödenek sağlıyordu. Doğal olarak, başka işler için para isteyenler, bilimden ve teknolojiden pek de hoşlanmayanlar, dikkat çekici bir haber peşinde koşturan gazeteciler dönüp tekrar Drexler'ın kitabını okudular ve ilk rastladıkları şey, "Yıkım Makineleri" başlıklı bölüm oldu.[8]

Elbette, güçlü ve yeni her teknoloji, yeni tehlikeler doğurur; üstelik nanoteknoloji aslında çok kudretlidir, çünkü hayata o mucizevi güçlerini moleküllerin denetlendiği seviye bahşeder ve nanoteknoloji bu seviyede mühendislik yapar. Dolayısıyla teknolojiden korkanların, Makine Kırıcıların ve felaket tellallarının eline, oynayabilecekleri yeni bir Frankenstein canavarı geçmiş oldu.

---

[8] Drexler, *Engines of Creation*, s. 171-90.

Böylece "nanoteknolojinin esnetilmiş versiyonuyla" ilgilenen araştırmacılar rahatsız, belki de gülünç bir durumda kalmış oldu. Geleceğin güçlü teknolojilerini ve çığır açabilecek becerileri çağrıştırmasından ötürü, kendi uğraşlarını adlandırırken, bu gözde sözcüğü benimsemişlerdi. Fakat gerçekte çalıştıkları konular ileri kimya, çok ince taneli tozlar ya da insan bedeninin işleyişiydi. Oysa şimdi "nanoteknoloji" üzerinde çalışıyorlar diye saldırıya maruz kalmışlardı; güya şeytanın piyonu olan bu teknoloji, en ufak hatada her şeyi yok edebilir deniyordu. İlk ve öngörülebilir tepkileri şu oldu: "Hayır, hayır, bu işler nanoteknolojinin harcı değildir."

Aslında oldukça haklılar; bugün çoğu laboratuvarda nanoteknoloji adı altında yapılan çalışmalar sayesinde daha ufak bilgisayarlar, çipler ya da daha güçlü uzay malzemeleri vesaire üretilebilir, ancak bu teknolojiler, başka bir isimle anılsa da aşağı yukarı eski geleneksel teknolojilerdir. İnsanların leke tutmayan (ve daha pahalı) pantolonlar, daha güçlü (ve daha pahalı) tenis raketleri ya da küçük ve hızlı bilgisayarlar yapmaya çalıştığını öğrenmek için koskoca bir kitabı baştan sona okumanıza gerek yok. Hiç şüpheniz olmasın, pazarlamacılar bu ıvır zıvırları, hatta önümüzdeki yıllarda daha nice öteberiyi "nanoteknoloji" olarak adlandıracak. Bu sadece bir kelime.

Bilim çevrelerinde, acaba Drexler'ın sözünü ettiği asıl nanoteknoloji anlatıldığı işe yarar mı diye bir tartışmanın sürdürüldüğü görüntüsü var. Bu görüntü yanıltıcıdır. Aslında iki farklı düşünce hâkim: Bir tarafta siyaset yönelimli insanlar var; bunlar çoğunlukla bir yerlerden ödenek alır ve aldıkları paranın, nanoteknolojinin tehlikelerine dair kamuoyundaki algı yüzünden olumsuz etkileneceğinden endişelenirler. Kendini eşleyen makineleri ya da moleküler imalatı ucundan kıyısından andıran konulardaki tavırları, "burada icat edilmedi" yolludur, ayrıca bu meseleleri anlamak için çaba da sarf etmezler. Her zaman olmasa da, meselenin bu tarafında yer alanlar çoğunlukla kimyagerler ve malzeme bilimcileridir.

Öbür taraf, siyasetle bu kadar içli dışlı değildir. Kamuoyundaki her esintiyle tehlikeye giren konulara para yatırmışlıkları yok ve ötekiler kadar şüpheci değiller; amma da sürpriz. Teknik meselelerde sırtını paraya dayamayan biliminsanlarının ve mühendislerin önemli bir kısmı, benim bu kitaptaki duruşumla hemfikir. Meselenin bu tarafında göreceğiniz kişiler, her zaman olmasa da çoğunlukla fizikçiler, makine mühendisleri, bilgisayar bilimcileri olacaktır.

Drexler, MIT'de doktora tezini nanoteknoloji üzerine tamamladı. Ardından bunun üzerine biraz daha araştırma ekleyip tezini, *Nano-*

systems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation[9] [Nanosistemler: Moleküler Makineler, İmalat ve Bilgi İşlem] başlığıyla teknik bir kitap olarak yayımladı. Kitapta ileri sürülen teknik savlarda önemli bir hata bulan hiç olmadı. Siyasi tartışmalarda Drexler'a kara çalanlar ise bu kitaptan bahsetmez bile; teknik tartışmalara girmemeye çalışırlar, onun yerine duygulara hitap eden yersiz sözleri tercih ederler, örneğin "çocuklarımızı korkutuyorsun," gibi.

Nanoteknolojinin sunduğu olasılıklardan bazıları gerçekten korkutucu. Fakat bu durum, konu hakkında ciddi düşünülmesini daha önemli hale getirir, yoksa bu teknolojiden uzak durulmasını gerektirmez. En az on yıl süren teknik incelemeden sonra, üzerine düşünüp taşındığım kendi kanaatime göre, Drexler'in betimlediği şekliyle nanoteknolojiyi hayata geçirmek hemen hemen mümkün ve bu yüzyıl içinde birilerinin bir yerlerde bu teknolojiyi gerçekleştirecek olması neredeyse kesin. İnsanlık durumu için sunduğu anlamlara bakacak olursak, planlamalarımızda nanoteknolojiyi özenle *tartmamak* son derece aptalca olur.

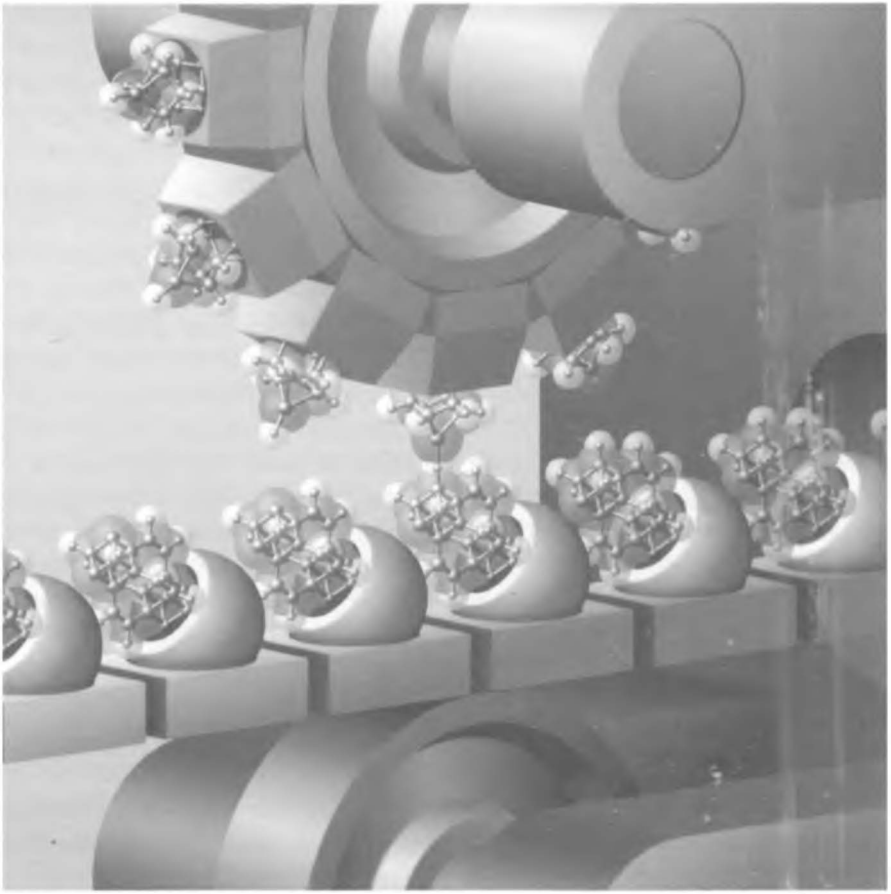
NANOTEKNOLOJİ NEDİR?

> Bilim alanında bile, kabul görmüş kıdem çizelgelerinin aksine hareket etmek tehlikelidir. Canlıları ve makineleri aynı solukta dile getirmek kesinlikle yasaktır. Canlılar, tüm bileşenleriyle canlıdır; oysa makineler metalden ve benzeri örgütlenmemiş maddelerden meydana gelir, amaçlı ya da sözde amaçlı işlevleriyle ilintili incelikli bir yapıları yoktur.
>
> Norbert Wiener, *God and Golem, Inc.*

Dolayısıyla, *nanoteknoloji* kelimesinin gerçekten de iki farklı anlamı var. Bir tanesi geniş kapsamlı esnek bir anlamdır; boyutu 100 nanometreden küçük şeylerle ilgilenen her türlü teknoloji anlamına gelir. Ötekisi ise asıl anlamıdır; her atomun ve kimyasal bağın hassasiyetle belirlendiği makineler inşa etmek ve tasarlamak anlamına gelir. Yeri gelince birinci anlama *nanoölçekli teknoloji* diyeceğim; fakat ondan bahsetmeme pek gerek kalmayacak. Nanoölçekli teknolojinin marifetleri ve tehlikeleri, kimyanın, malzeme biliminin ve mikro imalatın marifetlerinde ve tehlikelerinde mevcut olan eğilimlerin basit, açık uzantılarıdır. Bugün yeni keşfedilip "nanoteknolojinin son marifeti"

---

[9] K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley, 1992).



Şekil 1 Pekdüzenli nanoteknoloji. Bu çizimde, özdeş moleküler ürünlerin her birine belirli bir kovalent bağın eklendiği gösterilmektedir. K. Eric Drexler'ın izniyle kullanılmıştır (e-drexler.com).

diye duyurulan yeni tekniklerin çoğunluğu on yıl içinde kullanılmaz olacak.

Bu kitapta *nanoteknoloji* kelimesini kullandığım zaman, kelimenin asıl anlamından, yani atomik hassasiyet barındırmak anlamından bahsediyorum, dolayısıyla *Nanosystems* kitabında ayrıntılarıyla anlatılmış teknolojiyi kast ediyorum. (Kısaltmak gerektiğinde, *nanotek* kelimesini sıfat olarak kullanacağım, örneğin nanoteknolojik imalat yerine "nanotek imalat" diyeceğim.)

Bu ayrımı belirleyecek bir terim gerekliyse, en uygunu *pekdüzenli* (*eutactic*) kelimesi gibi duruyor. Pekdüzenli terimi, "çok muntazam"

anlamında kullanılır ve nanoteknoloji bağlamında, *atomik hassasiyet* ya da *düşük entropi* gibi ifadelerle aynı manaya gelir. Daha açık konuşmak gerekirse, bahsedilen sistemde her atomun bir yeri olduğu ve her atomun kendi yerinde bulunduğu anlamını taşır. Pekdüzenlilik (*eutaxy*) illaki nanoölçekte olacak değil: Atom ölçeğinde gayet düzenli olan bir kristal, makro boyutlu olabilir. Çağdaş jet motorlarının türbin kanatçıkları, yüksek ısılara dayanıklı olsun diye yekpare kristal olarak oluşturulur. Kuartz pekdüzenlidir ama cam, pekdüzenli değildir.

O halde, (pekdüzenli) nanoteknoloji ne anlama geliyor? Günümüzde fiziken mevcut olmayan bir teknolojidir bu, fakat gayet standart, iyi anlaşılmış bilim ve mühendislik alanları temel alınarak rahatlıkla çözümlenebilir, modellenebilir ve yapay olarak taklit edilebilir. Bu teknoloji, aksamı molekül boyutunda olan makineler inşa etmeyi kapsar, fakat daha önemlisi, bu makineler atomik hassasiyetle imal edilmelidir: Tamamlanmış aksamda her atom ve kimyasal bağ, tasarımda özellikle belirtilmiş olmalıdır, tıpkı hücresel makinelerde aksamın belirli oluşu gibi. Fakat olgun nanoteknolojide bu makineler tuzlu çözelti ortamı yerine boşluklu ortamda işleyecektir ve hücrelerin faydalandığı proteinlerden daha güçlü ve bükülmez malzemelerden meydana geleceklerdir.

Bunun gerçekleştiğini farz edelim, o zaman seri üretim hatlarının mevcut mekanik tasarımını moleküler ölçekte taklit edebilir ve gündelik makinelerimiz ne kadar çeşitliyse o çeşitlilikte moleküler makine inşa edebiliriz. Elbette bu sadece bir başlangıç; bu ölçekte birçok şey farklı çalışacaktır ve yeniden tasarlanmaları gerekecektir. Bazı tasarımlar pek işe yaramayacaktır (örneğin merkezkaç pompaları), fakat makro ölçekte çok işe yaramayan bazı tasarımlar nanoölçekte iş görecektir (örneğin elektrostatik motorlar).

Şaşırtıcı ama belki de söz konusu teknolojinin nihai durumu hakkında söyleyebileceklerimiz, o noktaya giderken elimizden geçecek farklı, özgün teknikler hakkında söyleyebileceklerimizden fazla. Daniel Boone olduğunuzu tahayyül edin; birbirleriyle atışan kavgacı bir kâşif ekibini Amerikan'nın batısına götürüyorsunuz diyelim. Yüksek bir ağaca tırmanıyor, seksen kilometre ötede Cumberland geçidini görüyorsunuz. Tüm kâşifler genelde batıya doğru yola çıksa da farklı istikametlere yöneliyorlar. Ağaçlık alanda kimin hangi yolu izleyeceğini ancak tanrı bilir, yine de çoğunun geçidi aşacağını biliyorsunuz.

Aşmamız gereken aşamaları geniş bir taslak bağlamında öngö-

rebiliriz, gerçi bunu doğru öngöreceğiz diye bir şart yok. Teknolojinin nihai haline çıkan pek çok yol mevcuttur. Fakat aşağıdaki yol makul oranda olası görünmekte ve dönüm noktası olarak iyi anlaşılmış kimi örnekleri kapsamaktadır.

BİRİNCİ AŞAMA

Esasen elimizde olan nanoölçekli bilim ve teknoloji, taramalı sonda mikroskoplarının atom ölçeğinde görüntüleme becerisini ve sınırlı müdahale yetisini kapsar, yani taramalı sondayla molekülleri bir parça itelemek mümkündür. Taramalı sondayla işlem yapmak, esasen bir nesneyi sopayla dokunarak hissetmeye benzer. Mikroskop, bilgisayara bağlı çalıştığı için, nesneye çok yakın noktalardan dokunabilir ve resmini çıkarabilirsiniz. Birinci aşamada aynı zamanda kimya gibi imkânlar da var. Yani, örneğin moleküller gibi atomik hassasiyeti bulunan ürün imal edebilirsiniz, fakat bunu ancak kimyasalları karıştırarak ya da benzer kaba işlemlerle becerebilirsiniz. Dolayısıyla, atomları belirli bir hassaslıkla düzenlenmiş moleküller elde edebilirsiniz, fakat moleküllerin kendisi bu sürece rasgele yığınlar halinde boca edilmiştir.

İKİNCİ AŞAMA

Diyelim ki kimya ya da moleküler biyoloji teknikleri kullanarak atomik hassasiyeti olan makine parçaları elde edebiliyoruz. Molekül seviyesinde "otomontaj" (*self-assembly*) denen bir görüngü var; moleküllerin düzenli biçimde birbirine yapışması anlamına gelir. Lego parçalarıymışçasına hareket ederler, yalnız üzerlerinde girinti çıkıntı yerine küçük mıknatıslar bulunur. Bu lego parçalarıyla dolu kovayı alır, sertçe sallarsınız ve parçaların birbirlerine benzer yapılar oluşturacak şekilde birleşmesini umarsınız. En başta, tasarım ürünü kimi protein molekülleriyle bu gibi bir işlemin gerçekleştirilebileceği tahayyül edilmişti; aynı işlem, kırpılmış DNA molekülleriyle ve genelde aynı kimyasal doğaya sahip küçük moleküllerle yapılmaktadır. İkinci aşama henüz laboratuvar safhasını geçmemiştir, fakat kimi deneyler, planlı ve karmaşık örüntüler sayesinde büyük yapıları oluşturmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

ÜÇÜNCÜ AŞAMA

Bir sonraki adım, bu moleküler Lego parçalarını ya da Tinkertoy inşaat oyuncaklarını bir araya getirmektir, hem de sadece hoş bir kalıp olarak değil, aynı zamanda işlevsel bir makine olarak birleştirilmeleri gerekir; bilhassa, o inşaat oyuncaklarını kendi başına birleştirebilen makineler üretilmelidir. Hayvan yaşamının bulunduğu seviye budur: Amino asit Tinkertoy'larından oluşuruz, hücresel makinelerimiz bu amino asitleri bir araya getirip ilave hücresel makineler inşa eder. Bu aşamada hâlâ, dışarıda üretilmiş aksamın desteğine ihtiyaç duyulur; aldığımız gıdalarda protein bulunmalıdır. Üçüncü aşama, büyük ölçekli nanotek sistemlerin kullanışlı hale geleceği noktadır.

DÖRDÜNCÜ AŞAMA

Sıradaki aşama, basit moleküllerden Tinkertoy oyuncakları üretmeye muktedir sistemleri kapsar, örneğin bitkilerde bu özelllik mevcuttur. Uzun vadede maliyetin düşmeye başlamasını bu aşamadan itibaren umabiliriz. Bundan önce, sürece dahil edilen girdiler, incelikli kimyanın ve moleküler biyolojinin pahalı ürünleridir; bu aşamadan sonra girdiler sıradanlaşır ve ucuzlar.

BEŞİNCİ AŞAMA

Son aşama, basit moleküllerden aksam imal etme becerisinin genele yayılmasıdır. Başka bir deyişle, Tinkertoy oyuncaklardan aksam tasarlamak yerine, aksamın her atomuna kadar tasarlanması âdet haline gelmelidir. Gerçek Lego parçalarından yapılmış bir makine ile Lego parçalarını yapan teknolojiyle imal edilmiş özel tasarımlı aksamın oluşturduğu makine arasındaki fark budur. Teknik bakımdan çok daha çetin bir iştir bu. Ayrıca bu aşamada, nanoteknolojinin, örneğin yaşamla boy ölçüşebilecek fevkalade marifetleri ortaya çıkacaktır.

Nanoteknoloji ve bugünün nanoölçekli teknolojileri alanlarında yapılan tüm çalışmalar, ivedi hedefleri ne olursa olsun, tek bir genel istikamete götürüyor bizi: Daha büyük bir hassasiyetle, daha küçük nesneler yapma yeteneği kazanıyoruz. Dolayısıyla, tüm bu farklı yollar nihayetinde aynı yere çıkacak: Nesneleri her bir atomuna kadar tasarlayabildiğimiz, sonra da onları belirtildiği gibi inşa edebildiğimiz bir teknoloji vücut bulacak. Dahası, böyle bir teknolojinin örneğine

sahibiz: Elimizde biyoteknoloji var. DNA yapı tasarıları ve hücre içindeki tüm moleküler makineler atomik hassasiyetle bina edilmiştir. O halde bunun mümkün olduğunu biliyoruz.

Mühendislikten farklı olarak, atom ölçeğinde olan bitenlerle ilgilenen bilim dalları son elli yılda gayet yerli yerine oturmuştur. *What Is Life?* başlıklı denemeyi yazan Erwin Schrödinger, kuantum mekaniğinin dalga denklemlerini de kurmuştur. Bu denklemler, elektronların nasıl düzene girip atomları oluşturduğunu anlatır ve kimyasal görüngülerin çoğuna açıklama getirir. 1950 yılında bu denklemler bir nevi sırça köşk başarısı gibiydi, çünkü o günün teknikleri, ilgilenilen çoğu duruma bu denklemleri oturtamıyordu. Fakat çağdaş bilgisayarlarla birlikte günümüzde, en azından son derece fayda sağlayacak raddede bu işi gerçekleştirebiliyoruz. Öyleyse bu bilgiyi kullanarak tasarlayacağımız ve taklidini yapabileceğimiz makineler, günümüzde nanoölçekli bilimin ve teknolojinin girdiği çeşitli yolların uzak gelecekte birleşecekleri noktada mümkün olacaktır.

TEKNOLOJİ DEVRİMLERİ

> Örneğin normal bilim, temel yenilikleri çoğunlukla sindirir, çünkü bu yenilikler normal bilimin temel taahhütlerini illaki baltalar... Bu şekilde ve farklı şekillerde, normal bilim tekrar tekrar yanlış yollara sapar. Bu gerçekleştiğinde, mesleğe en azından yeni sorumluluklar kazandıracak, bilim uygulamalarına yeni bir temel kuracak sıradışı araştırmalar başlar. Mesleki sorumlulukların değiştiği bu sıradışı fasıllar, elinizdeki denemede bilimsel devrim olarak bahsedilen olaylardır.
>
> Thomas Kuhn, *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*

Geçmişte insanlık, teknolojinin sürüklediği bazı dönüşümler geçirmiştir. Yüz binlerce yıl önce gerçekleşen ilk ikisi, yani taş alet yontma ve ateş yakma tekniklerinin yol açtığı dönüşümler o kadar eskidir ki biyolojik evrimimizi biçimlendirmişlerdir. Üçüncü ana teknoloji sayabileceğimiz tarım, kimi evrimsel uyarlanımların (adaptasyon) doğmasına mahal verecek kadar eskidir, fakat bu uyarlanımlar henüz tamamlanmış değildir. Öte yandan, insanoğlunun toplumsal yapısı ve fiziksel koşulları üzerinde tarımın muazzam etkisi olmuştur ve kent uygarlıklarının olmazsa olmaz öncülü tarımdır. Giysi yapımıyla ilgili çeşitli teknolojilerin etkisi keza önemlidir, çünkü insanların Avrupa ve Kuzey Amerika gibi yerlerde yaşamasını mümkün kılmışlardır.[10]

---

[10] Bu konuyla ilgili mevcut bilginin durumu hakkında güzel, okunabilir, özet

Gemiler ve tekerlekli taşıtlar, büyük ölçekli ticaretin yapılmasına imkân tanımıştır. Okuma yazma sayesinde bilgi, insan belleğinin cılız menzilinin ötesine yayılmıştır. Bilimsel yöntemin kendisi de bir icattır, belki de son binyıl içindeki en önemli icat budur. Fiziki makineler arasında birinciliği matbaa alır. Bilim ve matbaacılık kol kola ilerlemiş, sanayi devrimini mümkün kılmış, çağdaş dünyaya yol göstermiştir.

Nanoteknolojinin, sanayi devrimine nazaran fiziki kabiliyetlerimizi artırma, matbaaya kıyasla öğrenme ve iletişim yeteneklerimizi genişletme, tekneye ya da tekere kıyasla seyahat olanaklarımızı hızlandırma, giyinmeye kıyasla yerleşebileceğimiz yerlerin yelpazesini büyütme potansiyeli yüksektir. Nanoteknoloji, insanlar ile şempanzeler arasındaki farklılığı da aşan biyolojik değişikliklerin insan organizmasında gerçekleşmesini tetikleyebilir, böylece söz konusu farkın iyice açılıp, şu an için insanlar ile at nalı yengeçleri arasındaki mevcut farktan da büyük hale gelmesini sağlayabilir. Bu teknoloji önümüzdeki on yıl içinde muhtemelen, önümüzdeki yirmi beş yıl içinde herhalde, yirmi birinci yüzyılda hemen hemen kesinlikle gelmektedir.

---

mahiyetinde bir inceleme için bkz. Leakey, Richard *The Origin of Humankind* (New York: Basic Books, 1994), özellikle beşinci bölüm. [Türkçesi: *İnsanın Kökeni*, çev. Sinem Gül, Varlık Yayınevi, 1998.]



İKİNCİ BÖLÜM

GELECEĞE KULP TAKMAK
Bu Öngörüleri Ciddiye Alabilir misiniz?

> Devletin postane müdürlüğü içinde elektronik posta sisteminin kurulmasına yönelik birkaç girişim oldu, fakat tüm bu girişimler başarısızlıkla sonuçlandı, hem de teknik sebeplerden değil, postane yönetiminin değişime direnç göstermesi yüzünden. Sanki posta hizmetleri bürokratik bir sistem içine hapsolmuştu ve bu sistemde birilerinin kayırılması ve devlet memurluğunun iş güvencesi, verimli çalışmaktan çok daha önemliydi. Bu tarihçeyi göz önüne alırsak, bence elektronik posta, devletin eliyle değil özel teşebbüsün çabalarıyla hayata geçirilecek... Bu gelişim hızıyla elektronik posta muhtemelen en fazla on ya da yirmi yıl uzakta.
>
> Gerard O'Neill, *2081* (1981 yılında yazılmıştır)

Eşya değişir. Teknoloji öncesi o uzak geçmişte, Eski Ahit'in Vaiz kitabındaki "vaiz," "güneş altında yeni hiçbir şey yok," diye buyurabilmişti, çünkü o zamanki değişimin hızı, insanların kendi ömürleri içinde büyük farklar görmesini sağlayacak boyutta değildi. Artık bu durum geçerli değil.

Genel olarak geleceği ya kahve pişirmekte olduğu gibi saniyeler, dakikalar bağlamında ya da maça bilet almakta olduğu gibi saatler ve günler bağlamında öngörürüz. Stadyuma geldiğinizde kapıda size bilet sorulacağını bilirsiniz; keza öngörüyü büyük oranda, geçmişte karşılaştığınız durumları ve neticeleri geleceğe yansıtarak oluşturursunuz. Bu tür bilgiyi işleme becerisi zekâdan geçer ve bu yeteneğe eşlik eden gayet kapsamlı deneyimler, söz konusu bilgiyi sağduyuya dönüştürür.

Dolayısıyla, uzak geleceği geniş bir bağlamda öngörmek meselesi sorunludur. Doğrusu, bu konuda geçerli olabilecek bir deneyimimiz yok. Elimizden gelenin en iyisi, geçerliliğini sürdürmesini umduğumuz kapsamlı genellemelere ve modellere yaslanmaktır. Kahveme ekleyeceğim kremayı almak için buzdolabının kapağını açtığım zaman,

belirli bir modeli temel almış oluyorum; bu model, buzdolabının kapağını son açtığım zamanla ilgili gözlemlerimin belirlediği başlangıç koşullarını ve kapak kapalı durduğu zaman içeride olan bitenle ilgili kuralları kapsıyor. (Buzdolabında duran krema, dışarıdaki kadar hızlı bozulmaz.)

Genel yorumlarda bulunan her fütürist, en az yirmi yıl ötesine dair öngörülerinde büyük oranda yanılır. (Bir istisna olmadığıma eminim.) Uzak ara en yaygın yanılgı, en sade olanıdır: Yani, geleceğin şimdiki zaman gibi olacağını varsaymaktır. Hiç şaşırtıcı değil; gelecek öngörülerine dair temel mekanizma bu şekilde işler. Farklı bir öngörüde bulunmak için sağduyuyu ve geçmiş deneyimleri bir kenara bırakmak gerektiği anlaşılıyor.

Bu nokta öyle önemli ki tekrarlamak faydalıdır: Bazı bakımlardan eşya o kadar çok ya da o kadar hızlı değişmez, fakat teknoloji söz konusu olunca değişim hızlıdır. 1981 yılında Princeton'lu fizikçi Gerard K. O'Neill geleceğe dair bir kitap yazdı (*2081* başlığıyla).[1] Kitabın giriş kısmında, geçen yüzyılda gelecekle ilgili kaleme alınmış yazıların bir derlemesini gözden geçirmiş ve incelediği metinlerde siyasi değişime ilişkin öngörülerin abartılı olduğunu, fakat teknolojik değişimle ilgili tahminlerin eksik kaldığını belirtmiştir. Keza Arthur C. Clarke'ın öngörülere dair klasik çalışması olan *Geleceğin Çehresi* adlı kitabının ilk iki bölümünde, önde gelen biliminsanlarının komik derecede miyop öngörüleri ele alınır, örneğin elektrikli aydınlatmanın, saatte yirmi beş kilometre hızı aşan trenlerin, havadan ağır hava taşıtlarının vb. imkânsızlığını söyleyen öngörüler gibi.[2]

Teknoloji tarihçisi D. S. L. Cardwell şöyle yazar:

> İnsanların kendi zamanlarına ait teknolojiden beklentileri hakkında fikir edinmek için güncel yorumlara bakarsak, geleceğe dair öngörülerinde ya da daha doğrusu güncel teknoloji akımlarını yorumlayıp geleceği kestirme çabalarında yazarların kurnaz kehanetlerde bulunduğunu görürüz. Telgraf ve telefonun icat edilmesinden sonra, televizyonun icadını tahayyül etmek kolaydı; havadan ağır taşıtlarla yapılacak hava yolculukları (genelde buhar makinesinin sağladığı enerji söz konusuydu, dolayısıyla yakışıklı bacalarla böbürleniliyordu), Wright Kardeşler'in ilk uçuşu gerçekleştirmesinden çok önce gönül rahatlığıyla öngörülmüştü. Hatta atom altı fiziği

[1] Gerard O'Neill, *2081: A Hopeful View of the Human Future* (New York: Simon & Schuster, 1981), s. 157.

[2] Arthur C. Clarke, *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible* (New York: Harper & Row, 1972), birinci ve ikinci bölümler. [Türkçesi: *Geleceğin Çehresi*, çev. Sebati Ataman, Yapı Kredi Yayınları, 1970.]

araştırmalarının başlamasından kısa süre sonra H. G. Wells'in atom bombasını öngördüğü iddia edilmiştir.

Fakat tarihte benzeri bulunmayan bir ekonomik-teknolojik devrimin tam da eşiğinde kimsenin *evrensel* (tüm dünyaya yayılacak) motorlu arabaları ve kısa süre içinde bu icadın ne anlama geleceğini öngörmemiş olması gerçekten kayda değer bir olgudur. Eğitimli ve zeki insanların, burunlarının dibinde olup bitenin önemini kavramakta gösterdiği bu beceriksizlik, on ya da yirmi yıllık sürelerden çok daha yakın bir geleceğin, hatta bir ya da iki yıl sonrasının teknolojik gelişmeleriyle ilgili öngörülere bile şüpheyle yaklaşmamızı zorunlu kılar.[3]

1900 yılının kâhinlerini yanıltan şey, motorlu araba kavramı değildi; bu kavram pekâlâ biliniyordu. Ancak, sanayi devriminin filizlenmeye başlayan üretkenliği sayesinde makine gücünün, çoğunluğun ayağına getirilip insanların hizmetine sunulacağını hesaba katmamışlardı. Oysa bunu öngörmek gayet mümkündü: Rakamlar buna imkân tanıyordu, çeşit çeşit örnek mevcuttu. Mesela sanayi devriminin ilk ana ürünlerinden biri giysiydi; herkesin ulaşabileceği, çok ucuz giysiler imal edilmişti. Fakat ortalama bir insanın parasının, karmaşık, güçlü, pahalı ve lokomotife benzemediğini söyleyemeyeceğimiz bir makineye yetmesi sağduyuya ters düşüyordu.

Değişen ve değişmeyen şeyleri birbirinden ayırsak daha iyi olacak. Değişmediğini iyi bildiğimiz gerçekler bilime dahildir: Temel fizik, kimya, biyoloji ve benzeri bilimler, ayrıca bunların cariyesi olan matematik. Fazla değişmeyen başka unsurlar ise insan doğası, ekonomi ve siyasettir. Aristoteles'in *Politika* ve *Fizik* başlıklı kitaplarını okuyan kişi, bugünün teknolojisi karşısında Aristoteles'in afallayacağı, fakat siyasetin halini görünce kendini yuvasında hissedeceği duygusuna kapılır.[4]

Değişim zaman zaman gelişigüzel gerçekleşir. Bu durumda bize söyleyecek fazla şey kalmaz. Fakat değişim çoğunlukla belirli sınırlar dahilinde ya da öngörülebilir eğriler uyarınca gerçekleşir. Kimin önümüzdeki sene bebeği olacağını söyleyemeyiz, fakat ortalamada nüfus yumuşak bir ivmeyle çoğalma eğilimindedir. Bir sonraki 4 temmuz günü yağmur yağacak mı bilmiyoruz, fakat 4 ocak gününe kıyasla hava daha sıcak olacak (en azından Kuzey Amerika'da). Önümüzdeki sene hangi icatların yapılacağını bilmiyorum, fakat fiziki görüngü-

[3] D. S. L. Cardwell, *Turning Points in Western Technology* (New York: SHP/Neale Watson, 1972), s. 198.

[4] Aristoteles'in *Politics* and *Physics* (*Politika* ve *Fizik)* başlıklı kitapları için bkz. http://classics.mit.edu/Aristotle/.

lerin eksiksiz denetimine ulaşmak için çabalamanın geçmişi, insan ırkı kadar eskidir. Geçen yüzyıl, her sene yapılan icatlar ve buluşlar sayesinde, fiziki dünyayı daha net görebiliyor, ince ayarları daha rahat yapabiliyor ve daha derinden anlayabiliyor hale geldik. Bu gidişat aniden duracak değildir.

Teknolojinin gidişatını bir modele uydurduğumuz zaman, geleceğin teknolojisine dair makul bir öngörü elde edebiliriz. Bu vakada söz konusu model temel bilimdir. Teknoloji git gide yeteneklerini geliştirecek, fakat imkânsızı yapabilecek hale gelmeyecektir. Önümüzdeki yıllarda fizik ile kimyanın bilgi birikiminin artacağı kesin. Şu an için imkânsız olduğuna inandığımız bazı şeyleri mümkün kılacak yeni görüngülerin keşfedilmesi olası; bunun tersi ise pek muhtemel değil. İnsandan gezegenlere kadar görünür ölçekte olan bitenlerle ilgili temel kuramlar, yani Maxwell elektromanyetiği ve Newton fiziği, yüzyılı aşkın süredir hayatımızda; atom ölçeğinde olan bitenlerle ilgili kuram, yani kuantum mekaniği ise bir ömürdür bizle birlikte. Teknolojik becerilerin amansız bir şekilde gelişip, anladığımız kadarıyla bilimsel yasaların dayattığı sınırlara nasıl ulaşacağını hayal etmemiz gerekiyor, böylece gelecekte teknolojinin neye benzeyebileceğine dair yeterli bir ilk izlenimimiz olabilir.

MEVCUT GİDİŞAT

Moore Yasası, bilgisayar teknolojisi için göz kararı belirlenmiş bir kuraldır. Moore Yasasının genel formülüne göre, bilgisayarların birim fiyatı başına düşen işlem gücü her sene 1,5 kat artar.[5] Bu göz kararı kural 1950'den 2000'e kadar geçerli olmuştur. Bu dönemde, söz konusu oranın bir milyar kat gelişme göstermiş olması, teknoloji tarihçesinde neredeyse emsalsiz bir hadisedir. 1960'lardan itibaren Moore Yasasının sonunun geleceği defalarca tahmin edilmiştir, fakat bunlar yanlış uyarı olmaktan öteye hiç geçemedi. Silikon kaplı, alan etkili transistörler (bilgisayarlarınızda bunlar var), boyut ve hız bakımından sınıra ulaştığı zaman, nanoelektronik devreye girebilir. Molekül boyutlu şalterin nasıl yapıldığı şimdiden biliniyor, daha doğrusu bilinen birkaç yolu var. K. Eric Drexler, bu durumu kanıtlamak adına, bakteri boyutunda olup gigahertz hızlarına ulaşan bilgisayarlar

[5] Örneğin bkz. Hans Moravec, *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988), s. 64-68; Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999), s. 20-25.

üretmek amacıyla kullanılabilecek mekanik şalterler tasarlamıştır.[6]

Başka bir deyişle, yirmi yıl daha Moore Yasasının sona ermesini beklemeyin. Aslında, Moore Yasası eğrisini geleceğe yansıtırsanız, nanoteknolojinin beklenen gelişim eğrisiyle ilgili herhangi bir kılavuz kadar sağlam olduğunu görürsünüz.

Burada kilit unsur, bu kadar hızlı artan şeyin, *dolar başına* düşen işlem gücü olmasıdır. Yani aynı bütçeyle, on sene öncesine kıyasla elli kat, yirmi sene öncesine kıyasla 2.500 kat bilgi işlem gücüne sahipsiniz.

Çeşitli etkilerinin yanı sıra, internetin icadıyla birlikte işlem gücünde gerçekleşen bu patlama sayesinde bilgisayarlar, bilim için daha önce benzeri görülmemiş bir araç türü haline geldi. Bir anlamda bilgisayarlar, güçlendirilmiş bir hayal gücü teşkil eder. Bizim bildiğimiz bilim, bilgi edinme teknolojisindeki eski bir devrimi temel almıştır: Matbaanın icadı. Matbaa, bilginin yayılmasını mümkün kılmış, ayrıca kalkülüsün sağladığı kesin tasarım yeteneğiyle birlikte, on yedinci ve on sekizinci yüzyıllardaki bilimsel devrimi ortaya çıkarmıştır. Bu bilim devrimi ise on dokuzuncu ve yirminci yüzyıllardaki sanayi devrimini tetiklemiştir.

Bilgisayar ve internet, günümüzün matbaası ve kalkülüsüdür. Yeni bilim devrimimiz biz burada sohbet ederken bile devam ediyor. Ardından gelecek sanayi devrimi, yani nanoteknoloji ise henüz emekleme aşamasında. Moore Yasasının eğrisini yirmi otuz yıl uzatırsanız, aksam boyutunun molekül seviyesine inmesi ve performans-fiyat oranının neredeyse astronomik seviyelere çıkması gerekir. Makinelerin güç-ağırlık oranına ait eğriyi geleceğe yansıtırsanız, 2030-2050 yılları diliminde moleküler enerji santrallerinin kurulacağını görürsünüz; ki 1712'den beri buharlı makinelerden jet motorlarına kadar farklı teknolojiler ortaya çıkmış olsa da, bu oran, belirli bir istikrar sergilemiştir.

Bu gidişatın sonucunda, asıl sanayi devrimi esasen tekrarlanacak, geniş kesimlerde üretkenlik ve beceri artışı filizlenecek, buna da maliyetlerdeki düşüş eşlik edecektir. Genel olarak, yüksek teknoloji eseri malların fiyatlarının, tıpkı bilgisayarlardaki gibi aşağı ineceğini

---

[6] K. Eric Drexler, "Rod Logic and Thermal Noise in the Mechanical Nanocomputer," *Molecular Electronic Devices: Proceedings of the 3rd International Symposium on Molecular Electronic Devices, Arlington, Virginia, Ekim 6-8, 1986* içinde, ed. F. L. Carter, R. E. Siatkowski ve H. Wohltjen (Kuzey Hollanda, Amsterdam: Elsevier Science, 1988), s. 39-56.

umabiliriz. Nispeten gönül rahatlığıyla bu öngörüde bulunabiliyoruz, çünkü mevcut uzun soluklu gidişat ve bilimsel model, bu gidişatın süreceği bir hareket alanımızın var olduğunu göstermektedir.

Loş ve kapalı mekânlarda sinsice dolaşan kedi, bıyıkları sayesinde dar geçitlerde sıkışmaktan kaçınabilir. Kedinin bıyıkları, suratından yanlara doğru uzanır ve bıyıkların teması sayesinde kedi, açıklığın eni hakkında karar verebilir. Elinizdeki kitabın geri kalanında göreceğiniz tasarımların ve cihazların pek çoğu, gelecek teknolojisine dair kesinlikli öngörüler değildir. Kedi bıyığı olarak addedebiliriz bunları. Örneğin size makinelerin gelişiminden bahsedebilir, bu eğriye göre 2050 yılı civarında yarım kilogram ağırlık başına bir milyon beygir gücü elde etmemiz gerektiğini söyleyebilirim. Fakat bu tür bir tasarım ortaya çıkarmadan ve durumu tahlil etmeden, acaba fizik yasaları buna izin verecek mi bilemeyiz. Burada anlattığımız çoğu araç gerecin yapılabileceği zamana gelindiğinde, özgül tasarımlarımız, muhtemelen, oldukça eski moda ve hantal görünecek. Fakat tasarımlarımız, fizik bilimindeki hareket alanını hissetmemizi mümkün kılıyor, böylece, Moore Yasası gibi eğilimlerin durması için bir sebep olmadığını anlayabiliyoruz.

Bizim tasarımlarımız bir yönüyle Babbage'ın Fark Makinesi gibidir. Bilgisayar üretimi başladıktan sonra, kimse kastanyolalardan, millerden, dişli çarklardan bilgisayar imal etmeye kalkışmadı. Fakat buna kalkışan çıkabilirdi (Londra'daki Bilim Müzesi bunu kanıtlamak amacıyla 1991 yılında böyle bir cihaz yapmıştır).[7] Bilgisayarı bu şekilde imal etmeyiz, çünkü elimizde daha iyi bir yöntem var. Fakat 150 yılı aşkın süre önce Babbage, kendinden gayet emin olarak, en az kendi tasarımı kadar iyi bilgisayarların yapılabileceğini biliyordu ve aslında haklıydı. Bıyıklarının sığdığı yere, kedi er geç girecektir.

YARINLARDA NESNELERİN ŞEKLİ

Nanoteknoloji, özellikle teknolojik ilerleme gelgit dalgası, atom fiziği (elektronları ele alan kuantum mekaniği; atom çekirdeklerinin değişmediği ve ilkel parçacıklar oldukları varsayılır) kıyısına taştığı zaman hayata geçeceğini öngördüğümüz bir teknolojidir. Gelecekte başka teknolojiler, farklı bilgi kumsallarına taşabilir, örneğin çekirdek ve çekirdek altı parçacık fiziği ve görelilik gibi alanlara da el atılabilir. Fakat bu konular daha ileri zamanlara aittir ve bu kitabın kapsamı

[7] Bkz. http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/babbage/index.asp.

dışında kalırlar.

O halde sırf atomlarla ne yapabiliriz? Kurşunu altına dönüştürmek söz konusu olamaz; elementleri dönüştürmek çekirdeğin değiştirilmesini içerir. Flash Gordonvari uzay gemileri de söz konusu değil; kamyonet boyutunda hiçbir nesne, yardım görmeksizin gezegen yüzeyinden kalkıp başka bir gezegene yolculuk yapacak kadar kimyasal enerji barındıramaz. Psişik güçlere ne demeli? Yok, olmaz; bilinen fizik yasalarının dışında bir alandır bu. Superman'in ve çeşitli bilimkurgu filmlerindeki dev uçan dairelerin yer çekimine karşı koyması hakkında ne diyelim? Maalesef!

Öte yandan, nanoteknoloji sayesinde lağımı kahvaltıya dönüştürebiliriz. Kıtalar arası uçan arabalar net bir olasılıktır. Duyu hücrelerine ya da beyne sinyal zerk edilmesi sayesinde yaratılan, topyekûn tüm duyulara hitap eden bir sanal gerçekliğin hayata geçirilmesi yolunda mesafe kaydedilmiştir. Kilometrelerce değil, yüzlerce kilometre yüksekliğinde kuleler oldukça muhtemeldir. Tezgâh üstü sentez cihazı ya da "madde yazıcısı," ev eşyası ve gıda edinme yöntemlerinde devrim yaratacaktır.

Gözünüzde şunu canlandırın: Atıklarınız, yani çöp ve lağım, çürükçül bakteriler tarafından zenginleştirilmiş toprağa dönüştürülüyor. Bu toprak üzerinde ot bitiyor, ağaçlar yetişiyor. İnekler otu yiyor. Çöpe attığınız atomlar, doğal moleküler makineler sayesinde biftek, süt, odun ve elma olarak yeniden düzenleniyor. Aynı işi yapmak üzere moleküler makineler inşa edebiliriz. Peki, kömürü elmasa çevirebilir miyiz? Yukarıdaki işlere kıyasla bunu yapmak çocuk oyuncağı sayılır.

Hasta bedenleri sağlıklı bedenlere, yaşlı bedenleri genç bedenlere çevirmek, atomların yeniden düzenlenişini gerektiren başka bir dönüşümdür. Bu iş, yukarıda bahsettiğimiz işe nazaran oldukça karmaşık, çünkü molekül seviyesinde gerçekten ne yapılması gerektiğini henüz anlamış değiliz. Fakat nanoteknoloji sayesinde önce bu konuyu aydınlatacak araçlara, sonra da söz konusu işi yapacak aletlere kavuşacağız.

Atomların düzenlenmesi söz konusu olduğu müddetçe, nanoteknoloji, fiziken mümkün olan her türlü şeyi inşa etme becerisine sahip olacak mıdır? Muhtemelen hayır. İlk olarak, bazı atom dizilişleri, var oldukları takdirde fiziken dayanıklı görünebilirler, fakat buradan o noktaya ulaşmak fiziken mümkün olmayabilir.

Kuramda mümkün olan ama uygulama dünyasında bulunmayan yapılar, daha geniş bir yapı kümesi oluşturur. Örneğin Ralph

Merkle'ye göre, kenarları birer metre uzunluğunda, atom seviyesine kadar kusursuz bir kristal yapı teşkil eden elmas küp (yani üç buçuk ton ağırlığında pürüzsüz bir elmas), fiziğe aykırı değildir. Aslında nanoteknoloji böyle bir elmas küp yapabilir (muhtemelen yapacaktır). Gerçi iş fiiliyata döküldüğünde, bu elmas atom seviyesinde kusursuz olmayacak, çünkü kozmik ışınlar pek çok atomu yerinden sökecektir (yüksek enerji yüklü bu iyonlaştırıcı parçacıklar mütemadiyen vücudumuzu delip geçer).

Nanoteknolojinin yapmayacağı şeylerin daha da geniş bir kümesi, uygulanabilir olsa da faydalı uygulama alanı bulunmayan yeni imalat tekniklerinin geliştirilmesini gerektirecek nesnelerdir. Keza, kuramsal olarak, mevcut teknolojimizle pek çok şey yapılabilir, oysa bunlar için gerekli olan özel makineler ve teknikler asla geliştirilmeyecektir. (Örneğin: Yekpare kristalden katışıksız silikon bir kahve kupası gibi; iç yüzeyi, silikona kazınmış devreyle donatılmıştır, tıpkı çiplerdeki gibi. Kuramsal olarak mevcut teknolojiyle bu yapılabilir, fakat uygulamada imal etmek için 10 milyar dolarlık cihaz yatırımı yapılmalıdır.)

Elbette, nanoteknolojinin yapmayacağı şeylerin en büyük kümesi; muhtemel, uygun, faydalı, hesaplı olup, kafamızda canlandıracak kadar zeki olmadığımız şeylerdir.

NE ZAMAN?

> Hemen yanıt verebilecek olmaktan hoşnuttum: Bilmediğimi söyledim.
> Mark Twain

Manhattan Projesi gibi gizli devlet tasarısı olarak nanoteknolojinin hâlihazırda var olması mümkün. Böyle bir tasarının şimdiye kadar başarılıp başarılmadığı pek çok değişkene bağlı. Bu tür bir tasarıyı başlatmamanın artık sorumsuzluğa gireceği noktaya yaklaşıyoruz. Fakat gizli bir askerî tasarıyla nanotek beceriler elde etmek, ticari gelişimin akışında büyük bir fark yaratır mı pek net değil. Kalkınmayı hızlandırmayacaktır, çünkü askerî tasarı sır olarak tutulmalıdır. Keza, muhtemelen kalkınmaya ayak bağı da olmayacaktır, çünkü ayak bağı olabilecek her türlü faaliyet nispeten kısa vadede hem ABD'nin ekonomik rekabet gücü hakkında şüphe uyandırır hem de bu rekabet gücünde tahribat yapar.

O halde, bu teknolojinin, dünyanın başka bir köşesinde kötü niyetli güçlerin beklenmedik bir şekilde geliştirmesine karşı koz olarak

gizli gizli geliştirildiğini umabiliriz. Fakat bu ihtimali göz ardı etmek, büyük olasılıkla, teknolojinin esas gelişimine dair tahlilimizi geçersiz kılmayacaktır.

Drexler'ın *PNAS* dergisinde çıkan makalesinde[8] ve çok daha ayrıntılı bir biçimde *Nanosystems* kitabında[9] betimlediği haliyle nanoteknolojiye uzanan yol, biyoteknolojinin aşağı yukarı dolaysız bir uzantısıydı. Genetik şifreyi zaten biliyoruz, yani, özgül bir amino asit dizilişi olan proteinler yaratması için, hücre içindeki ribozomlara özel DNA dizileri gönderebiliriz. Proteinin katlanıp belirli bir biçime kavuşmasını sağlayan unsur, bu amino asit dizilişidir; proteinin üç boyutlu biçimi ise moleküler makine olarak proteinin işlevini belirler.

Proteinin katlanıp kavuşacağı biçimi belirlemek, yerinde bir ifadeyle "protein katlanma sorunu" olarak nitelenir. Günümüz molekül biyolojisinin kutsal kâselerinden biri bu meseledir (proteomiks olarak bilinen alt dal ilgileniyor bununla). Drexler'ın makalesi 1981 yılında ortaya çıktığı zaman, bu konu esasen ucu açık bir sorundu. Ben bu kitabı yazarken, protein katlanmasıyla ilgili özel vakalar için sağlam teknikler biliniyor, ve bu alanda epey ilerleme kaydedilmiştir.

Fakat 1981 yılında Drexler'ın işaret ettiği gibi,[10] bilim ile mühendislik arasında büyük fark var. Gazeteciler bu ayrıma genelde dikkat etmez. Dolayısıyla, teknolojik bir gelişmenin olasılığına dair beyana ihtiyaç duydukları zaman, daha çok biliminsanlarına sorarlar. Bunu yapmak çoğunlukla hatadır.

Tarihe bakarsak, genelde bilimin, mühendisliğin ardından geldiğini görürüz. Michael Faraday'ın meşhur konferanslarından önce insanlar binlerce yıl boyunca mum yakarak aydınlandı. Louis Pasteur mikropları tanımlamadan önce, şarap ve peynir imalatçıları yüzyıllar boyunca mikroplardan zaten faydalanmıştır. Sadi Carnot'nun, termodinamik ilkelerini açıklamasından yüzyıl önce buhar makineleri zaten kullanılıyordu. Sonunda kimyagerler, monomer bileşenlerin uzun zincirler oluşturmasıyla polimer moleküllerin meydana geldiğini anladığında, selüloit ve bakalit onlarca yıldır kullanımdaydı.

Hem bilim hem mühendislik, doğa kanunlarının keşfiyle ve bu

---

[8] K. Eric Drexler, "Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation," *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 78, no. 9 (Eylül 1981): 5275-78.

[9] K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley, 1992), s. 445-488.

[10] Drexler, "Molecular Engineering," s. 78.

kanunların gerçek dünyada uygulanmasıyla ilgilenir. Farkları şu: Biliminsanı, her durum için geçerli olan, olası en genel yasayı keşfetmeye uğraşırken, mühendis, sadece tek durumda çalışacak, yani tanımlandığı üzere inşa edildiğinde işleyecek makineler yapmaya yarayan tarifler arar.

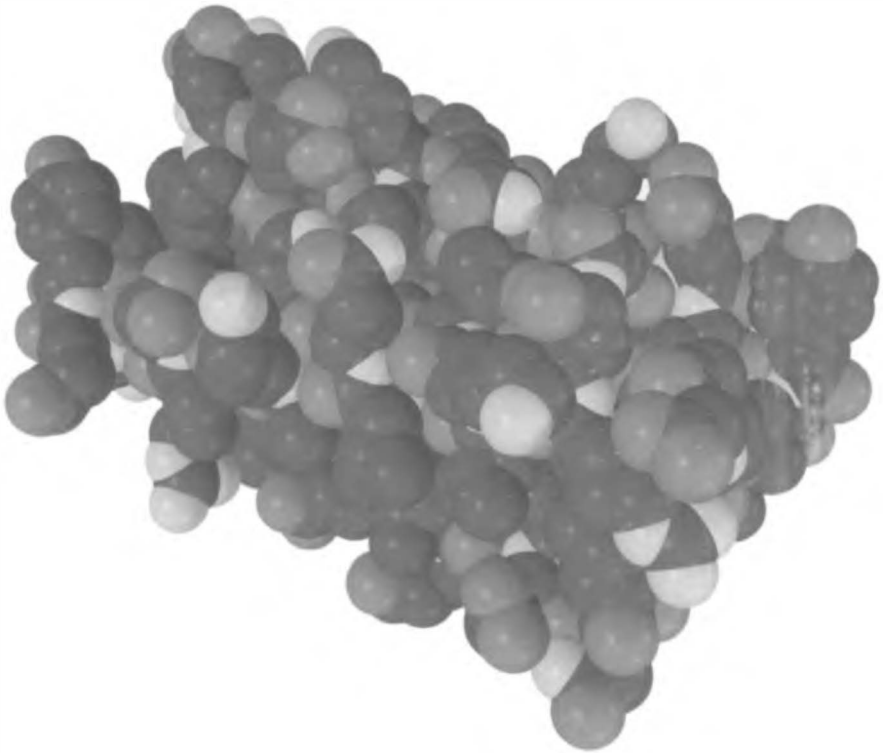
1600'lü yıllarda olduğumuzu hayal edin. Sir Isaac Newton'u o günün bir askerî mühendisiyle kıyaslıyoruz diyelim. Newton'un kütleçekim yasası, insan zekâsının doruğa ulaşan başarılarından biridir ve evrenin her yerinde tüm kütleler için geçerlidir. Mühendis ise, ağırlığı yarım kilogram olan gülleyi bir buçuk kilometre öteye fırlatmakla ilgileniyor. Topa ne kadar barut koyulması ve namlunun ne kadar yukarı kaldırılması gerektiğini size söyleyebilir, çünkü bizzat denemiştir. Oysa Newton'un kuramı bunu söyleyemez, çünkü barut patlayınca ne kadar enerjinin açığa çıktığını ya da o enerjinin gülleye hangi verim oranıyla aktarıldığını ya da güllenin uçuşu sırasında namluda veya havada sürtünmeye maruz kalıp ne kadar yavaşladığını kimse bilmiyor. Mühendis de bunları bilmez, fakat bir buçuk kilometre uzaktaki hedefin ne kadar barutla vurulacağını bilir. Bütün bu etkenlerin ilkelerini belirleyecek olan kimya ve aerodinamik (ses hızının üstünü kapsayan aerodinamik!) bilgisi ise o zamandan yüzlerce yıl sonra ortaya çıkmıştır.

Keza, Drexler'in gözlemlediği gibi, bu işi tersinden yapmak için protein katlanma sorununun genelini çözmeniz gerekmez: Belirli bir şekilde katlanacak protein tasarlamaktan bahsediyorum; bu yaklaşım, *de novo* (yeni) protein tasarımı olarak nitelenir.[11] Dolayısıyla, nasıl katlandığını bildiğiniz amino asit dizilerini kullanırsınız, bilmediklerinizi kullanmazsınız. Drexler konuyu açtıktan sonra on yıl içinde bu iş elbette gerçekleştirilmiştir, günümüzde ise kendi başına muazzam bir daldır.

Bir sonraki adım, öyle atıl durmayan, iş gören proteinler tasarlamaktır. İş gören proteinlere enzim denir. Bu alanda da ilerleme kaydedilmiştir, gerçi henüz bir protein mühendisini arayıp belirli bir tepkimeyi hızlandıracak protein yapmasını rica edemiyoruz.

Peki, tüm bunlar bizi nereye getiriyor? Bir benzetme yapalım. Sir Arthur Conan'ın *Kayıp Dünya* romanındaki gibi, uçağınızla saklı bir yaylaya çakılan kâşif olduğunuzu tahayyül edin. Fakat dinozorların yerine dost bir uygarlıkla, ileri teknolojiye sahip yardımsever insanlarla karşılaşıyorsunuz. İlginç olan nokta, teknolojilerinin ta-

[11] *A.g.e.*



Şekil 2 Alfa-4. 1988 yılında DeGrado ve çalışma arkadaşları tarafından bilinçli tasarlanmış ilk protein.

mamen plastiğe dayalı olmasıdır. Mesela naylon, polietilen ve stiren malzemeleri var. Bu plastik malzemelerle istedikleri her türlü biçimi yaratabiliyorlar ve plastiğe dayalı geniş kapsamlı, oldukça marifetli bir teknolojileri mevcut. Kumaş ve giysi imal edebiliyorlar. Kitap basıyorlar. Aşırı gelişmiş Lego parçalarından oluşan güzel binaları var. Yeldeğirmenlerine, su çarklarına, hatta büyük fakat yeterince güçlü olmayan buharlı motorları bulunuyor. Bu motorlar sayesinde, görkemli teknelerini durgun suyollarında yavaş yavaş yüzdürebiliyorlar.

Fakat eve dönmek istiyorsunuz ve bunun için uçağa ihtiyacınız var. Bu uygarlığın malzemelerini kullanarak uçağın birçok aksamını üretebilirsiniz, fakat motor için metal gerekli: Plastik döküm hiçbir motor, gerekli güç-ağırlık oranına yaklaşmaz. Metalleri yok; fakat

toprağın maden cevheri bakımından zengin olduğunu keşfediyorsunuz, ayrıca bol bol kil mevcut. Sıradaki adım, sanayi mühendisliği kapsamında küçük, eğlenceli bir alıştırmadır. Arkadaşlarınıza inşa ettirdiğiniz plastik kalıplarla kilden kalıplar ve havanlar yapıp, bunlarla metal aksam imal edebilirsiniz. Sonra da çalışmanızı makine işliğine taşıyıp motor için gerekli olan hassas aksamı orada üretebilirsiniz. Mevcut maden cevherlerine bağlı olarak, bu işlem çok farklı yollardan ilerleyebilir, hepsi de nihayetinde metal temelli maden dökümü teknolojisine çıkar.

Plastik teknolojisi elbette hayatı temsil ediyor. Biyoteknolojinin eksiksiz, kendine yeten bir imalat temeli mevcut, hatta bu teknoloji kendini de çoğaltabilir. Tam teşekküllü bir nanoteknoloji elde etmek için tek yapmamız gereken, biyoteknolojiyi öyle kurmaktır ki kendisini mevcut su bazlı, ısıya duyarlı mukavemetinden ve enerji açısından zayıf kısıtlamalarından kurtaracak türde aksam üretebilsin. Bu yaklaşım, nanoteknoloji için tümevarım (dipten yukarı) yaklaşımı olarak nitelenir.

KUŞBAKIŞI

Ana hatlarıyla nanoteknolojiyi öngören başka bir kişi ise, yirminci yüzyılın ikinci en meşhur fizikçisi Richard Feynman'dı. 1959'da yaptığı ve artık ünlenmiş olan konuşmasında "dipte bol bol yer oluşunun" nedenini açıklar. Kırk yıl sonra bugün, bu konuşmanın büyük kısmı artık kulaklara tuhaf ve ilginç gelir: Feynman, günümüzde doğal addettiğimiz, elektronik devrelerin son derece küçülmesinin bilgisayarlara getireceği faydalar gibi şeyleri önceden görmüştür. O zamanlar, ayrık transistörlü bilgisayarların son teknolojik gelişme kapsamına girdiğini ve genelde hâlâ vakumlu tüplerin kullanıldığını unutmayın.

Feynman, moleküler ölçekte geniş kapsamlı becerileri bulunan teknolojiye doğru ilerlemekle ilgili farklı düşüncelere sahipti: Gündelik ölçekte zaten var olan ve geniş kapsamlı beceriler barındıran bir teknolojiyle işe başlayıp bu teknolojiyi küçültmekten yanaydı:

> Şimdi ilginç bir soru sorma vakti: Bu kadar minik bir mekanizmayı nasıl yaparız? Atom enerjisi santrallerinde, radyoaktif hale geldikleri için doğrudan temas edilemeyecek malzemeler ve makineler var. Vida sökmek, cıvata sıkıştırmak vesaire için robot kollardan faydalanıyorlar, böylece, başka yerde duran manivelaları hareket ettirerek, gerekli yerlerde "robot kolları" denetleyebiliyor, döndürebiliyorsunuz ve ıvır zıvırı kolaylıkla idare edebiliyorsunuz...

> Aşağı yukarı benzer bir cihaz inşa etmek istiyorum; elektrikle çalışan robot kol sistemi. Fakat bu robot kolların çağdaş büyük ölçekli tesviyeciler tarafından özellikle öyle yapılmasını istiyorum ki sıradan manevralar yaptırdığınız "robot kolların" dörtte bir ölçeğinde olsunlar. Böylece işleri dörtte bir ölçeğinde yapabildiğiniz bir düzeneğe kavuşursunuz; küçük robot kolları olan servo motorlar, küçük vidalarla ve cıvatalarla oynuyor; küçük delikler açıyorlar; hepsi normal boyutun dörtte biri kadar. Aha! Böylece çeyrek boyutlu bir torna tezgâhı üretebilirim; çeyrek boyutlu alet edevat üretebilirim ve bu çeyrek ölçekte, yine görece dörtte bir boyutunda robot kollar yapabilirim! Benim bakış açımla on altıda bir boyuta inmiş olurlar. Bu işi bitirdikten sonra, büyük ölçekli sistemim üzerinden doğrudan, belki dönüştürücüler aracılığıyla on altıda bir boyutundaki servo motorlara bağlanırım. Böylece, on altıda bir boyutlu robot kollarını şimdi idare edebilirim.
>
> Pekâlâ, çalışma ilkesini anlamışsınızdır. Bu nispeten zor bir çizelge, fakat yine de bir ihtimaldir.[12]

Buna tümdengelim (yukarıdan aşağıya) yaklaşımı denir (sürpriz!). Hayatın kendisi gibi otojenözdür (kendiliğinden çoğalan). Otojenöz teknoloji, illaki kendini çoğaltan makine anlamına gelmez. Daha genel anlamı, üretiminin altkümesi olarak kendi türünden teçhizat yapmak için gerekli her şeyi kapsayan bir imalat donanımıdır. Bu özellik olmaksızın hiçbir sanayi üssü hayatta kalamaz: İmal edilemeyen kimi makineler bozulduğunda tüm işler durma noktasına gelir.

Nanoteknolojiye açılan, katışıksız bir Feynmanvari yolun nasıl göründüğünü kafamızda canlandıralım. Esasen, artık hangi makro ölçekli teknoloji için elimizden geliyorsa, o ölçekte otojenöz bir sistem kurarız, sonra da bunu, kendisini tekrar tekrar inşa etmesi amacıyla kullanırız, fakat her defasında daha küçük bir ölçekte inşa etmelidir.

Göründüğü kadar ya da uzun zaman önce göründüğü kadar basit bir iş değildir. Kendi aksamı kadar hassas nesneler yapan freze makinesi imal etmek yeterince zor, kaldı ki aksamının hassasiyetini dört kat geliştirsin. Sonrasında, ölçek değişse de kendisi değişmeyen bir tasarım yaratılması gerekmektedir ya da ölçekleme yasaları yüzünden teknikler geçersizleşince, tasarımları değiştirmenin bir yolu bulunmalıdır. En başta kabiliyetin, ikinci olarak da boyutun önemli olduğu bu yaklaşımın faydalarından biri, ölçekten etkilenen teknikler su koyuverdiği zaman, başka teknikler üzerinde deney yapabilecek

---

[12] Richard Feynman, "There's Plenty of Room at the Bottom," http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html, konuşmanın yaklaşık yüzde altmış beşi.

geniş kapsamlı beceriler barındıran bir sisteme sahip olmanızdır.

Bu sistem hem iş görmeli hem montaj yapmalı hem de imal etmelidir, çünkü bu işlemler makro boyutlu makine işliğindeki gibi insanlar tarafından yapılamaz. Aynı sebepten ötürü, sistem, kendisinin ne yaptığını "görebiliyor" olmalıdır. Feynman, günümüzde "waldo" denen (Heinlein'ın öyküsüne ithafen; uzaktan kumanda anlamında) aletleri kullanmayı önermiştir.[13] Bu günlerde robotbilim ve uzaktan kumanda daha ileri durumda, dolayısıyla daha incelikli bir düzenek tahayyül edebiliriz, gerçi o kadar incelikli de olmayabilir; sonuçta işe yaracak ne varsa o kullanılmalı.

Elbette işin püf noktası, olabildiğince sade robotlar yapıp sistemin karmaşıklık oranını azaltmaktır. Bu işin üzerindeyken, ölçeği mümkün mertebe küçültecek teknikleri seçmeliyiz. Görerek değil dokunup hissederek çalışan robotlar inşa etmek bir çözüm olabilir, gerçi bu sistem makro ölçekte daha verimsiz ve yavaş işler: Görüş yetisi nanoölçekte işe yaramaz ama dokunma duyusu işe yarar. Elektrostatik motorlar nanoölçekte çalışır, oysa elektromanyetik motorlar bu ölçekte çalışmaz.

Kendisini eşlemeye çalışan bir makine ya da makinelerle dolu bir işlik için zorluklardan biri şudur: Tasarımda verilen tüm ödünler, hassas aksamın yapılmasına yardımcı olsa da, imalatı yapan makineye kıyasla daha küçük aksam imal edilmesini dayatırlar. Bu sorunun etrafından dolaşmanın yollarından biri, küçük aksam yapan büyük imalat cihazlarından ve imalat cihazları ile robotları bu aksamla oluşturan montajcı robotlardan meydana gelen iki evreli sistemdir. (Bir bakıma, standart makine işlikleri böyle çalışır, yani robotların yerine insanları düşünebiliriz, gerçi işlikteki parçalar bir araya getirilip insan yapılıyor değildir.) Böyle bir mimari, ölçekten oldukça bağımsız olacaktır.

O halde molekül seviyesine inmek için kaç adım gerekir? Anlaşılması gereken ilk nokta şu: Üretilen aksam, atom boyutuna ulaştığı zaman değil, hata payınız atom boyutuna indiği zaman molekül seviyesine ulaşırsınız. Yirminci yüzyılın büyük kısmında hassas tesviyelerin hata payı bir santimetrenin dört binde biri kadardı (2,5 mikron); hata payını bir mikrona kadar düşüren uzman işlikler de vardır. Atomik hata payı ise bir angstrom kadardır (nanometrenin onda biri), yani bu işin on bin kat geliştirilmesi gerekiyor. Feynman'ın ileri sürdüğü gibi, eğer her adımda hata payını dörtte bir oranında düşü-

[13] Robert A. Heinlein, *Waldo: Genius in Orbit* (New York: Avon, 1950).

rürsek, molekül seviyesinden yedi adım uzaktayız demektir. Ödenek bakımından eksiği olmayan bir projede her adım için ne kadar zaman harcamamız gerekir? Belki bir yıl, belki de iki.

Gerçi mevcut teknolojiyle epey ileri sıçranabilir. Günümüzde nanolitografi için kullanılan elektron ışını makineleri, yaklaşık 2,5 nanometrelik hata payıyla şekiller yontabiliyor. Bu oran, makine işliklerinin standartlarından bin kat ileri. E-ışın makinesi adı verilen bu cihazla, atomik hassasiyete sadece 25 kat uzaktasınız: İki kat iyileşme ile beş adım ya da üç kat iyileşme ile üç adım uzakta. Sorun şu ki bu ölçekte tam teşekküllü bir makine teknolojisi bulunmuyor. Dolayısıyla, yonttuğunuz parçaları alıp makine haline getirmek çok daha zor. Eldeki tercihlere bakarsak, işe makine işliğiyle ya da nanolitografiyle başlamak aşırı uç bir manevra sayılır; bunların arasındaki bir seviyeden başlanabilir. Başlangıç seviyeniz ne kadar küçükse, atom ölçeğine o ölçüde az adımda ulaşabilirsiniz, fakat en başta mekanik müdahale kabiliyetiniz de o ölçüde kısıtlı olur.

Nihayetinde, ne zaman sorusu, hangi yola ne kadar çaba sarf edilecek meselelerine gelip takılıyor. Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifinin (UNİ) yılda harcadığı milyarlarca dolar, düzgün bir şekilde moleküler imalata odaklanırsa, on yıl içinde üçüncü aşamaya ulaşmamız herhalde kaçınılmaz olur, bunun da on yıl ardından beşinci aşamaya geliriz. Apollo Projesi'nde gösterilen çabanın aynısı bu alana yönlendirilse, bu süreler beşer yıl daha kısalabilir. Fakat bu adımlardan hiçbiri atılmıyor. UNİ'nin milyar doları çeşitli bilim ve teknoloji alanlarına dağıtılıyor ve bu alanların tek ortak noktası, üzerinde çalışılan parçaların nanometre büyüklüğünde olmasıdır. Siyaset ödenekleri işte buna yaramaktadır.

Paranın her halükarda boşa harcandığını söylüyor değilim. Umut vadeden alanlarda iyi ve değerli araştırmalara gidiyor diyebiliriz. ABD hükümeti her sene milyarlarca doları boşa harcıyor, fakat söz konusu ödenek için aynısı söylenemez. Düzgün tasarlanıp gayet odaklanmış bir çaba sayesinde, daha az parayla başarının daha hızlı geleceğini belirtiyorum sadece.

NEREDE?

On dokuzunu yüzyılın şafağında Fransa'da bilim öylesine gelişiyordu ki D. S. L. Cardwell şöyle yazar: "1790-1825 yılları arasında Fransa'nın seçkin biliminsanı ve teknoloji uzmanı sayısı, aynı uzunlukta bir za-

man dilimi içinde herhangi bir ulusunkinden fazlaydı."[14] Sadi Carnot, Antoine Lavoisier, Pierre-Simon Laplace, Joseph ve Jacques-Étienne Montgolfier, Pierre Dulong, Alexis Petit, Jean-Baptiste Biot, Augustin Fresnel, Joseph Gay-Lussac, André Ampère, Félix Savart, Joseph Fourier, Gaspard-Gustave Coriolis, Augustin Cauchy ve Jean Lamarck gibi isimleri sayabiliriz; bunlar da, günümüze ulaşmış bilimsel yasalara ve icatlara ismini vermiş olanlardır sadece.

Dahası, bilimin ve teknolojinin ilerlemesi Fransa'da ulusal bir politikaydı ve bu işe sağlam para akıtılıyordu. Carnot, École Polytechnique (Politeknik Okulu) mezunuydu; o zamanlar bu okulun bir eşi ne İngiltere'de ne de başka yerde vardı. Bunun aksine İngiltere, biliminsanlarını desteklemediği gibi, yüksek kalibreli insanlarının dinî sebeplerle ya da başka sebeplerle kovalanmasına izin veriyordu. Fransa'nın önde gelen biliminsanlarına École'de ya da öteki kurumlarda kürsüler verilirken ve geleceğin Fransız biliminsanı nesillerine bildiklerini öğretmeleri istenirken, oksijeni keşfetmiş olan Joseph Priestley, dinî inançları yüzünden İngiltere'den kaçmak zorunda kalmış ve yaşamını Amerika'da sürdürmüştür.[15]

Saydığımız isimlerin yanında, Fransa'nın ders kitapları ve teknik yazını da kayda değer oranda üstündü. Bilgisayarın atası ve Cambridge'de Lucas kürsüsü sahibi (Newton'un doldurduğu profesörlük makamı) Charles Babbage, Fransız kalkülüs kitaplarını tercih ettiğinden ve zahmetli Newton işaretlerinin yerine Leibniz'in işaret sisteminin benimsenmesinden bahsetmiştir.[16]

Fransa'nın önderliği akademiyle sınırlı değildi. Güncel teknolojinin çoğu alanında Fransa'nın üstünlüğü kabul ediliyordu. Otomatik denetimin ilk örneklerinden biri olan Jacquard dokuma tezgâhından, balon un ve paraşütün icadına kadar Fransızlar ilerideydi. Yolların, köprülerin, katedrallerin en iyileri onlardaydı. O zamanlar inşa ettikleri gemiler bile Britanya gemilerinden ileriydi. Fransa'nın siyaseti, bilimsel ve teknik buluşların kamu tarafından kabul görüp ödüllendirilmesini içeriyordu, ayrıca yeni icatların yapılması amacıyla ayrılmış kamu ödenekleri mevcuttu.

Teknoloji falcısı olsaydınız, sonrasında işlerin nasıl geliştiğini düşünürdünüz acaba? Elbette gerçekte, sanayi devrimi Fransa'da

---

[14] Cardwell, *Turning Points*, s. 122-27.

[15] Bernard Jaffe, *Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fusion* (New York: Simon & Schuster, 1930), s. 37-54.

[16] Cardwell, *Turning Points*, s. 140.

değil Britanya'da gerçekleşmiştir. 1850'ye gelindiğinde Britanya'da demir yolları, buharlı gemiler, dünyanın önde gelen makine, imalat tezgâhı ve tekstil sanayileri vardı.

1500'den 2000'e kadar bütün dünyada yapılmış savaşların miktarına dair bir grafik çizseniz, tuhaf bir olguyu fark edersiniz. Bütün bu dönem boyunca pek değişmeyen ortalama bir seviyede kalmıştır, ancak on dokuzuncu yüzyıl istisnadır. 1800'lü yıllarda savaş miktarı istikrarlı ve muazzam bir düşüş göstermiştir. Bu, Britanya'nın sağladığı bir barış dönemiydi: Küresel Britanya imparatorluğunun teknolojisi o kadar ileriydi ki karşısına meydan okuyacak kimse çıkmıyordu. Britanyalıların özellikle barış yanlısı olduğunu söyleyemeyiz: Yüzyıla, Napolyon Savaşları'nın sancılarıyla girdiler, Boer Savaşı'yla bitirdiler. Gerçi genel ortalamaya kıyasla daha savaşçı da değillerdi. Fakat üstünlük onların elindeydi, böylece dünyanın büyük bölümü, göreli barışın yaşandığı bu yüzyılın keyfini sürdü.

Bunun nasıl olduğunu anlama çabası, akademik ilginin ötesindedir. Nanoteknolojinin doğuracağı sanayi devriminin toplumu değiştirme potansiyeli, buharın yarattığı sanayi devrimininkinden büyük. Bu küçük tarih dramasını tekrar sahnelemek için oyuncular sahneye girerken, Amerika Birleşik Devletleri'nin, Fransa rolünü oynadığı açık.

Tarihçiler bu meseleyle ilgili sonu gelmez tartışmalara girmiş ve sürüyle kuram geliştirmişlerdir. Ancak, İngiltere'ye bir nevi üstünlük biçen kuramları doğrudan göz ardı edebiliriz. Hızla ileri sarıp 1900 yılına gelelim; Britanya'nın teknolojik üstünlüğü düşüştedir, Amerika ise yükselişe geçmiştir. Fransız biliminin ve teknolojisinin merkezî yapısını imleyen çözümleme ise daha gerçekçi. Paris, harika bir eğitim merkeziydi, hem de ülkenin her yerinden en iyi beyinleri kendisine çekiyordu. Fransız sistemi âdeta bir sırça köşk yaratıp, bu yapıyı yaşamın fiilî sorunlarından yalıtmıştı. Dolayısıyla, kuramsal bilimde koca adımlar atılmış, fakat eğitimli kesimin alkışını almayan uygulamalı teknikler pek ilgi çekmemiştir. İngiltere'de resmî yetkililerin bilime neredeyse inadına kayıtsız kalması sayesinde en sağlam beyinler gerçek dünyayla temas halinde kalmıştır.[17]

---

[17] *A.g.e.* Ayrıca Terrence Kealey, *The Economic Laws of Scientific Research* (New York: St Martin's, 1996). Elbette, Fransa'da "fildişi kule" hep var olmamıştı; yoksa, sanayi devriminden önce, teknoloji alanında liderliği ele geçiremezlerdi. Fransız Devrimi ve Napoleon'la birlikte Fransa'nın ulusal politikaları ve kurumları tümüyle değişmiştir.

Bugün Amerika'da merkezî bir bilim finansmanı sistemi var ve bunun etkileri, nanoteknolojiye verilen ödeneklerin siyaseten bölüştürülmesinde görülebilir. Bu işin klasik, malum ve beklenen bir etkisi, nanoteknoloji için ayrılmış ödeneklerin çoğunun, her zaman yaptıkları işi yapmaya devam eden köklü biliminsanlarına aktarılmasıdır. Bu laboratuvarlarda bir sürü faydalı, güzel iş yapılacaktır ve nihayetinde bu işler, bizim ilgilendiğimiz türdeki nanoteknolojiye giden yolu açacaktır. Fakat doğrudan nanomakine sistemlerine odaklanmış aynı miktarda çabayla, bu iş daha hızlı gerçekleştirilebilirdi.

1995 yılında, Asya üniversitelerinden alınan mühendislik doktoraları, ABD üniversitelerinden alınan mühendislik doktoralarını sayıca geçti; ayrıca Amerikan üniversitelerindeki mühendislik doktora programlarını bitiren öğrencilerin yarısından fazlası Asyalı. Asya üniversitelerinin verdiği mühendislik doktoralarının sayısı her sene yüzde on artıyor, fakat Amerikan mühendislik doktoraları esasen düşüşte.[18] Hindistan'ın, Çin'in, Hong Kong'un, Singapur'un, Tayvan'ın, Güney Kore'nin, Japonya'nın nanomakine inşası konusunda birbirleriyle rekabet ettiği, bu esnada ABD'de ödenek dağıtan makamların, genetiği değiştirilmiş gıdaların gördüğü tarzda tepkiden korktukları için bu araştırmaları frenlemeye çalıştığı bir senaryoyu hayal etmek ne kadar da kolay.[19] Amerikalılara kıyasla Asya halklarının kazanacağı daha çok, kaybedeceği daha az şey var ve çoğunun, maddeten kaybedecekleri de az.

Amerikalılar bilimde buna benzer bir düşüşü daha önce yaşadı. Başlarının üzerinde sakince seyreden *Sputnik*'in oluşturduğu manzara sayesinde sarsılıp kendilerine gelmişlerdi. Fakat nanoteknoloji yarışında geri düşersek, yetişme şansımız çok düşük. Üçüncü aşamada yapılacak bir buluşun, uyanıp kendimize gelmemiz için bir çağrı olduğunu hayal edelim; diyelim ki birisi, ribozomun mekanik versiyonunu yaptı ve bu makine, moleküler yapı taşları kullanarak hem kendisini hem de başka nanomakineleri çoğaltabiliyor. Elinde böyle bir makine tutan taraf, günümüzün nanoteknoloji araştırmacıları gibi her nanomekanizmayı hâlâ sıfırdan inşa eden kesimlere karşı büyük üstünlük kurar. Üçüncü aşama sistemleri; nanoölçekli ölçüm aletleri, test amaçlı donanımlar ve yeni makinelerin deneysel prototiplerini üretebilir; bunlar, dördüncü aşama sistemlerinin üze-

---

[18] National Science Foundation (Ulusal Bilim Vakfı), http://www.nsf.gov/sbe/srs/seind00/c4/fig04-23.htm.

[19] Bkz. örneğin: http//www.frankenfoods.org/.

rine kurulacağı teknoloji zeminini teşkil ediyor.

Nanoteknolojiye giden yol, beş kilometrelik bir yarış gibidir. İlk kilometreyi yüzerek geçmeniz gerekir. İkinci kilometrede koşarsınız. Koşunun bittiği noktada bisiklet bulursunuz. Üçüncü kilometrenin sonunda sizi araba beklemektedir ve dördüncü kilometrenin sonunda ise uçak. Şu an için Amerika Birleşik Devletleri'nin suda sürüyle insanı var, fakat geniş bir kesim olarak gelişigüzel istikametlere yüzüyorlar, çoğunlukla kısa vadeli hedeflerin peşinden koşup bir sonraki aşamaya geçmeye çalışmıyorlar. Eğer yarışta fark atan birisi olursa, onu yakalamak zor olur.

HAYAL GÜCÜNÜN KUSURU

> Seçkin fakat yaşlı başlı bir biliminsanı, bir şeyin mümkün olduğunu iddia ettiği zaman, kuvvetle muhtemel haklıdır. Bir şeyin imkânsız olduğunu söylüyorsa, büyük olasılıkla yanılıyordur.
>
> Arthur C. Clarke, *Geleceğin Çehresi*

Biliminsanları genelde berbat fütüristlerdir. Biliminsanının işi, özenli deneylerle, belgelemeyle ve mükerrer testlerle, insan merakının doğrulayabildiği ölçüde gerçekleri belirlemektir. Eğer fütüristlerden, biliminsanlarının istediği tarzda kanıtlar beklenseydi, o zaman tarihçi olurlardı.

Aslında tarihçiler, özellikle de teknoloji tarihçileri biliminsanlarına kıyasla daha başarılı fütüristlerdir. Bugün laboratuvarlarda olup bitenlerin ivedi ufkunun ötesinde, geleceği şekillendiren güçler, geçmişe şekil verenlerle aynıdır ve geçmiş, öngörü yapmak için en iyi kılavuzumuzdur.

Geleceğin teknolojisi, insanların istekleri uyarınca şekillenir. Elbette olasılıklar dahilinde de şekillenir. Fakat insanların, bilhassa da biliminsanlarının fark ettiğinden çok daha fazlası mümkündür. Bunun sebebi, belirli bir sonuca ulaşmanın pek çok farklı yolunun oluşudur. Bir biliminsanı size, özgül bir görüngüden faydalanan özgül bir yaklaşımın işe yaramayacağını anlatabilir ve gayet haklıdır. Fakat kendi dar uzmanlık alanının dışında başka bir yolun aynı hedefe ulaşmakta işe yarayacağını bilemez.

Tam da nanoteknolojiyle ilgili bir örnek, atomların resminin çekilmesidir. Atom resmi çekmek için sıradan mikroskoplar kullanamazsınız, çünkü atomlar öyle küçüktür ki ışık dalgalarının doğası atomları odaklamamıza imkân tanımaz. Diyelim ki yüzyıl önce bir

mikroskopçuya atomların resmini çekmek hiç mümkün olacak mı diye sorsaydınız, size hayır derdi ve optik kuralları uyarınca haklı olurdu.

X ışınlarının dalga boyu ise bu iş için uygun, fakat bazı sorunlar teşkil ediyor: Bu ışınları odaklayacak bir imkânımız yok ve x ışınları, atomlardan düzgün bir şekilde sekmek yerine içlerinden geçer ya da onları ittirir.[20] Yüzyılın ortasında insanlar, moleküllerin yapılarını keşfetmek amacıyla x ışını kullanıyordu. Bu zekice yöntem, milyonlarca molekülün muntazam bir düzen içinde kristalleştirilmesini ve bu kristallerden seken x ışınlarının kırınım şablonlarının yorumlanışını içeriyordu. Fakat bu tekniği uygulayanlar, sorsanız, tek tek moleküllerin elektron yüzeylerinin yuvarlak kavislerini dahi gösteren düzgün fotoğraflarının çekilemeyeceğini haklı olarak söylerlerdi.

Neden sonra, 1986 yılında Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer, sırf bu işi yaparak Nobel Ödülü kazandılar.[21] Fakat aslında atomlara bakıyor değillerdi; atomları dokunarak hissetmişlerdi. İcat ettikleri taramalı tünellemeli mikroskop (TTM), atomik hassasiyetli iğne ucunu denetleyen bir bilgisayar kullanıyor ve bu iğne ucu, çok kısa menzilli bir elektrik etkileşimi sayesinde atomları "hissediyordu." Bilgisayar da sonuçları birleştirerek bir resim ortaya çıkartıyordu.

TTM terkedilmiş bir alandan gelmişti; kimse bunu beklemiyordu. Çalışma ilkesi anlaşıldıktan sonra, benzer taramalı sondaların pek çok çeşidi icat edildi ve bugün atom resmi çekmek sıradan iştir. Taramalı sondaları yapmak oldukça basit; lise öğrencileri bilim fuarı projesi olarak bu sondalardan yapabilir ve yapmışlardır. Fakat burada ilgilendiğimiz nokta, atomları görüntülemek için, insanların tahmin edeceğinden çok farklı fizik ilkelerin kullanılmasıdır. Böyle bir şey mümkün mü diye fikir yürüten biliminsanı, komik ama, sırf önceki görüntüleme tekniklerinin çalışma tarzları hakkında çok fazla şey bildiği için muhtemelen yanılırdı.

Keza, günümüz laboratuvarlarında çalışan biliminsanları, mevcut imalat teknolojisiyle elmastan moleküler makine aksamının yapılamayacağını gayet haklı olarak söylerler. Fakat teknoloji tarihçileri,

---

[20] Bu tam anlamıyla doğru değil. Örneğin x ışınları, eğimli bir kuartz parçasında hafif yakınsak atom düzlemleriyle etkileşime girmeleri sayesinde odaklanabilir. Tayf oluşturmak için bu kadarı yeterli, tıpkı prizmanın görünür ışık için yaptığı gibi, fakat görüntüleme amacıyla kullanılamaz.

[21] Binnig Almandır, Rohrer İsviçreli. Bkz. http://www.nobel.se/physics/laureates/1986/.

bu istikamette yol alan üç yüzyıllık çok güçlü eğilimlere işaret edebilir. Fütüristler ise bu görüşe özenli çözümlemeler ve bilgisayar benzetimleri (simülasyon) ilave edip daha kesin öngörülerde bulunabilir. Sonuçta, bizim de sanatımız bu.

1869 yılında, Jules Verne *Denizler Altında Yirmi Bin Fersah*'ı yazdığında, denizde seyreden denizaltılar bilimkurgu kapsamına giriyordu. 1900 yılında uçan makineler bilimkurgu ürünüydü. 1950 yılında, uzay yolculuğu bilimkurgu sayılıyordu. 1963 yılında, Robert Heinlein'ın kitabında karakterlerden biri, parkta yürürken arkadaşını aramak için "cebinden telefonunu çıkarmıştı."[22] Günümüzde, moleküler imalatı ve nanomakineleri kapsayan bir geleceğe dair anlatılar, bilimkurgu olarak nitelenebilir; fakat bunların var olmadığı bir gelecek resmi, fanteziden ibarettir.

[22] Robert, A. Heinlein, *Podkayne of Mars* (New York: Putnam, 1963).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MEVCUT NANOTEKNOLOJİ
Laboratuvar ve Yaşam; Buradan Esas Meseleye Nasıl Ulaşırız

Nanoteknoloji aleyhtarı savların çoğu, yaşam aleyhtarı savlardır.
Marvin Minsky, *Prospects in Nanotechnology*'den

Moleküler imalat nanoteknolojisine balıklama dalmadan önce, mevcut duruma bakalım. Bugünün nanoteknolojisini iki ana bölüme ayırabiliriz: Biyoloji ve mevcut laboratuvar nanobilimi. Sonra her vaka için, mevcut durum ile yarının teknolojisi arasındaki farkları tanımlayacağız.

NANOPARÇACIKLAR

Giriş bölümünde açıklandığı gibi, nanoteknoloji diye etiketlenmiş birçok süreç aslında mevcut imalat ve malzeme biliminin uzantıları olan tekniklerdir, sadece 100 nanometreden küçük, kısa ve ince olan maddelerle ilgilenirler. Buna gösterebileceğimiz klasik örnek ve piyasadaki malzemeler arasında en yaygın olanı, çok ince taneli tozlardır.

Kahvenize şeker karıştırdığınızda, şeker çözülür. Birçok madde gibi şeker de moleküllerden, yani kovalent bağların bir arada tuttuğu atom kümelerinden oluşmuştur. Bizzat moleküller, zaman zaman van der Waals bağları zaman zaman da bağ harici etkileşimler denen kuvvetler sayesinde bir arada durur; bu kuvvetler, kovalent bağlardan çok daha zayıftır. Şeker çözüldüğü zaman, moleküller birbirlerinden kopar (bireysel bütünlüklerini kaybetmezler), kahve içinde serbest, bağımsız şekilde yüzerler. Şimdi de kahveye biraz süt ekleyelim. Süt, kolloit nitelikli bir asıltıdır, çünkü sütte bulunan yağ öbekleri gibi kimi maddeler suda çözülmez. Bu öbekler, en üstte sıvı yağ gibi bir tabaka oluşturamayacak kadar küçüktür, fakat sıvı içinde dağınık

durur, aşırı büyük moleküller gibi davranırlar.

Şeker moleküllerinden milyar kez büyük bakteri boyutlu parçacıklar, bunun gibi asıltılar oluşturabilir. En ince un ancak bu boyuta kadar öğütülebilir. Unun bu kadar ince öğütülüşünün sebebi, teknik olarak suda çözülmeyen bir maddenin, eşit dağılımlı karışımlar oluşturmasının birçok işlemde faydalı olmasıdır. Tozu ne kadar inceltirseniz, karışım da o ölçüde eşit dağılır ve birçok uygulama için özellikleri o ölçüde uygun hale gelir.

Örneğin tenis topu yapımında kullanılan kauçuk, "fırınlanmadan" önce kille karıştırılır ki uygun ağırlığa ve kıvama kavuşsun. Eğer bu kil, mikron ölçekli parçacıklar yerine nanoölçekli parçacıklardan oluşuyorsa, ortaya çıkan kauçuk, içinden hava sızmasına daha büyük direnç gösterir, tıpkı barajlarda çakıl yerine kum kullanmanın daha iyi sonuç vermesi gibi.

Çok ince taneli tozların dahil olduğu pek çok uygulama, günümüzde nanoteknoloji diye pazarlanıyor. Genelde bu uygulamaların vaatleri, tozların "sadece" mikroskobik incelikte olduğu eski uygulamalara kıyasla lekeye daha dayanıklı olan, daha kolay temizlenen ve benzeri gelişmeler sergileyen malzemeler sunmaktır.

Nanoteknoloji diye reklamı yapılan son ürünlerden biri, radyasyon kalkanı malzemesi demrondur. Bu malzeme, poliüretan ve polivinil klorit polimeridir, ayrıca içine ince taneli çeşit çeşit toz da katılmıştır. Bunlar, ağır atomlar barındıran maddelerin tozudur ve çeşitli dalga boylarında gelen ışınımı (radyasyonu) birlikte hareket ederek soğurur ve sektirirler. Sonuçta ortaya çıkan ürün, x ışınlarını ve benzerlerini durduran ince, kauçuk benzeri bir tabakadır On yıl önce hiç kimse bunun mümkün olabileceğine inanmazdı.[1]

Demron, yaratıcı bir icat, gerçek bir teknolojik ilerlemedir. Parçacıkların boyutu, daha eşit dağılmalarına imkân tanır, böylece x ışınları belirli bir hacim içinde farklı farklı maddelerle muhatap olmak zorunda kalır. Farklı maddelerden faydalanmak burada kilit unsurdur; ayrıca parçacıkların boyutu, malzemenin giyilebilecek kadar ince olmasını sağlıyor.

Nanoölçekte kaplamaların da özellikleri değişebilir. Titanyum dioksit, boyalarda pigment olarak kullanılan ve bembeyaz renk veren bir maddedir. Fakat, kalınlığı sadece 15 nanometre olan titanyum dioksit tabakası şeffaftır. Bu tabaka, cam yüzeyine uygulanırsa, camın kendi kendini temizlemesini mümkün kılar. Malzemenin foto-katali-

[1] Bkz. http://www.radshield.com/

tik etkisi sayesinde güneş ışığı kirleri parçalar, su tutma özelliği sayesinde ise yüzey üzerindeki su, düz katmanlar oluşturup kiri uzaklaştırır.[2] Dolayısıyla, yağmurla gelen ya da hortumla püskürtülen su, camı sanki deterjanla yıkanmış gibi temizler.

KARBON NANOTÜPLER

Popüler basında nanoteknolojiyle bir tutulan yapılardan biri karbon nanotüp, yani "bucky" tüptür. Nanotüp esasen silindir şeklinde yuvarlanmış grafit yaprağıdır. Grafit inanılmaz güçlüdür ve yüksek randıman beklenen savaş uçakları ve golf sopası gövdesi gibi pahalı ürünlerde yıllardır kullanılıyor, fakat nanotüp bundan da güçlü olabilir; yekpare silindir olduğu için, yırtılmanın başlayabileceği bir ek yeri yoktur.

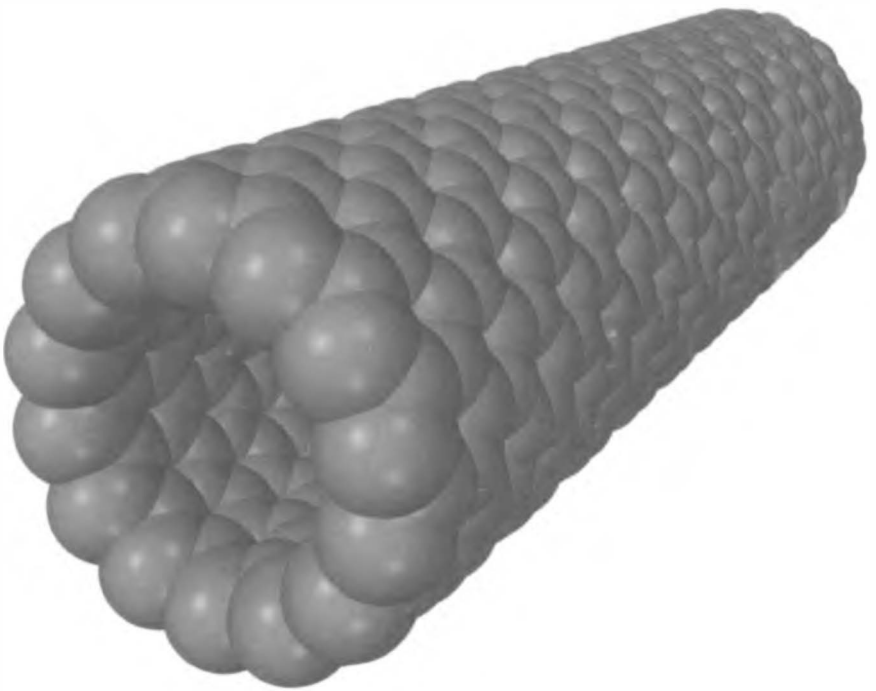
Nanodünya için nanotüpler önemli haber kapsamına giriyor, çünkü günümüzde bunları üretmek mümkün. Şişe şişe nanotüp satın alabilirsiniz. Sentez süreci hâlâ kaba bir teknolojidir; ne tür nanotüp elde edeceğinizi önceden belirleyemezsiniz, normalde farklı nanotüp türlerinin karışımını elde edersiniz. Nanotüp türleri, çap ve kiralite bakımından farklılık gösterir. Eğer nanotübün, grafit tabakasından yontulmuş bir grafit şeridinden yapıldığını hayal edersek, kiralite, şeridin, grafit tabakasının yüzey çizgisine göre kesildiği açı anlamına gelir. (Kimya biliminde kiralitenin anlamı farklı.)

Şu an yapıldığı şekliyle nanotüpler, araştırma yapmak için birebir. Laboratuvar bilimcilerinin, taramalı sondalar kullanarak belirli özelliklere göre nanotüp seçmek gibi bir derdi yoktur ve bu nanotüplerin özellikleri o kadar çeşitlidir ki, bu alan araştırma yapmak adına alabildiğine geniştir. Bilhassa elektrik özellikleri çok farklılık gösterir; bazı nanotüpler iletkendir, bazıları ise yarıiletken. Nanotüplerden transistörler ve diyotlar yapılmaktadır.

Nanotüplerin temel özelliklerinden bir tanesi, doğal hallerinde kaygan olmalarıdır. Nanotüpler çoğunlukla ağsı bir yapı oluşturur, buna zaman zaman ÇDKNT denir, yani Çok Duvarlı Karbon Nanotüpleri. İç ve dış duvarları teşkil eden nanotüpler birbirleri üzerinde rahatça kayar ve döner, tıpkı bisikletin fren kablosundaki teller ve kılıf gibi. Bu özellik, pek çok uygulama için faydalı olabilir, fakat kayganlık, kompozit malzemelerde nanotüplere özgü mukavemetten yararlanılmasını zorlaştırmaktadır. Ancak matrisin (kompozit malze-

---

[2] Bkz. http://www.pilkington.com/international+products/activ/default.htm



Şekil 3 Bir buckytüp. Aynı zamanda karbon nanotüp de denir.

mede lifleri bir arada tutan tutkal), tüpleri daha sağlam "kavramasına" yardımcı olmak için özel katkı maddeleri geliştirilmiştir.[3]

MİKRO VE NANOLİTOGRAFİ

Nano diye nitelenen başka bir teknoloji de, elektronik mikroçip yapmak amacıyla kullanılan litografi tekniğidir. Günümüzün mikroişlemcileri üzerindeki transistörlerin boyutu ve kabloların genişliği genelde 100 nanometrenin altındadır. Temel süreç, aslında, püskürtücü ve kalıp kullanarak boya yapmaktan farklı değil. Sürecin öteki kısımları, fotoğraf banyo etmeye benzer, çünkü ışık, çipin kimi aksamında kimyasal bir değişimi tetikler. Bunlar için kullanılan kalıplar normalde büyüktür ve mercekler aracılığıyla çip üzerine odaklanır. Kimyasal değişimler gerçekleştikten sonra, bu şekilde hazırlanan

[3] Bkz. http://www.zyvex.com/Products/additives.html

kalıplar uyarınca malzeme tabakalarını inşa etmek ya da bu tabakalara ayar yapmak amacıyla kimyasal süreçlerden faydalanılır. Bu teknikler sayesinde, bu ölçeklerde çalışan bir makineden milyonlarca kopya üretilebilir (son yirmi otuz yılın bilgisayar devriminin temelini bu teknikler teşkil etmiştir).

Söz konusu litografi teknikleriyle, bu ölçekte hareketli aksama sahip makineler de yapılabilir. Bahsettiğim makineler, kitabın geri kalanında anlattığımız nanomakinelerden iridir ve daha önemlisi, onlar kadar hassas değiller. Yine de bunlara genel olarak mikromakine denir. Yapım süreçlerinden ötürü, iki boyutlu bir nitelikleri var. Köpük panolardan yonttuğunuz şekillerle makine inşa etmeye çalıştığınızı düşünün. İsterseniz bu parçaları uhuyla yapıştırabilirsiniz. Buradaki güçlük, her parçanın yere serilmesinin gerekmesidir.

Başka bir güçlük ise, sürtünmeyecek olmalarıdır. Mikromakinelerde "yapışkan-sürtünme" denen bir olgu var: yapışkanlık ve yüksek sürtünme özelliklerinin birleşimi. Yapışkanlığın sebebi, van der Waals bağlarının çekim gücüdür, sürtünme ise parçaların atom seviyesinde pürüzsüz olmamasından kaynaklanır. Bu yüzden mikromakineler için rulman, sürgü vesaire imal etmek zor, dolayısıyla, bu durum, yapabileceğiniz makine çeşitlerinde büyük bir kısıtlamaya yol açar.

Yine de, mikromakineler konusunda epey ilerleme kaydedilmiştir. Örneğin Zyvex adlı Teksas menşeli nanotek şirketi, mikromakineleri kavrayıp montajlayabilen uzaktan kumandalı aygıtlar inşa etmek amacıyla litografi tekniklerinden faydalanır.[4]

Mikrolitografinin ardından gelen adım, elektron ışınlı nanolitografidir. Işık litografisi, mikron boyutlarıyla sınırlıdır, çünkü ışığın dalgaboyu daha küçük boyutlara odaklanmaya yetmez. Mor ötesi ışığa varana kadar git gide daha kısa dalga boylu ışık kullanma esnekliği bulunur, fakat bu noktadan sonra x ışını kullanmayı deneyebilirsiniz ki bununla baş etmek zor. Oysa elektronlarla çalışmak daha kolay; dalgaboyları kısa olsa da bunları manyetik alanlarla yönlendirmek mümkün. Dolayısıyla, elektron mikroskopları, optik mikroskoplara kıyasla çok daha ince ayrıntıları görebilir.

Yeterli enerjiyi taşıyan elektron ışınları, malzemelere şekil de verebilir. Örneğin, normal mikroçip litografisi için kalıp yapmak üzere elektron ışınlarından faydalanılır. Mevcut elektron ışını makinelerinin en kalitelileri, on atomluk hassasiyetle şekiller yontabilir. Elbette bu makineler pahalıdır ve her seferinde tek parça üretebilirler, dola-

[4] Bkz. http://www.zyvex.com/Products/Grippers.html

yısıyla, ticari ürünler bu şekilde imal edilemez. Yine de, eğer bu aksamı işlemenin yolları yaratılabilirse, bu aksam, atom ölçeğine epey yakın mesafeye gelmiş olacaktır.

NANO-İŞLEME

Malzemelerin işlenmesi konusunda aşılması gereken engel, üçüncü boyuttur. Atomların ve moleküllerin iki boyutta işlenmesi, on yılı aşkın süredir düzenli bir şekilde yapılıyor. Taramalı sonda mikroskobu esasen kuartzdan ya da başka piezoelektrik malzemeden oluşan bir madde öbeğidir; voltaj uygulandığı zaman bu malzeme hafifçe genişler ya da büzüşür. Bu öbekten geçirdiğimiz voltajı özenle denetleyebiliriz, böylece uzak ucunun hareket etmesini sağlarız ve bu hareketin hata payı tek atomun eni kadar bile değildir.

Atom keskinliğinde bir uç üretmek için sayısız teknik bulunur. Biraz beceriyle, ince bir metal folyoyu makasla belirli bir açı tutturarak kesmek işe yarayabilir. Böyle keskin bir ucu alıp piezoelektrik malzeme öbeğinizin üzerine oturtursanız, atomları ve molekülleri hem "görmenizi" hem de hareket ettirmenizi sağlayan bir alet elde edersiniz. Moleküller, yüzeye van der Waals kuvvetiyle yapışır; epey özen ve çaba göstererek bunları hareket ettirmek mümkün.

Bal kaplı bezelye taneleriyle dolu bir tabak düşünün. Tabağı döşemenin üzerine koyun, üst kata çıkın, üst katın tabanında bir delik açıp, aşağıya bir olta sarkıtın. Bu şekilde bezelye tanelerini ne ölçüde yönlendirebilirseniz biz de atomları taramalı sondayla o ölçüde idare edebiliriz. Oltanın ucu yapışkandır, dolayısıyla, bezelyeleri ittirebildiğimiz gibi sürükleyip bir yere de yığabiliriz. Fakat bu, çetin ve zaman alan bir süreçtir. Bezelye taneleriyle iki boyutlu desenler yaptığınızı kolaylıkla tahayyül edebilirsiniz, fakat üç boyutlu makineler inşa etmek, sizin de takdir edeceğiniz gibi, oldukça zor.

Öte yandan, bütün işi sizin için yapacak olan robot kolunu montajlayabileceğiniz bir tabak dolusu yapışkan makine aksamınız olsaydı, epey çaba sarf etmeye ve çok sayıda deneme yapmayı göze almaya hazır olurdunuz. Özellikle de, çalışır haldeki ilk makinenin değeri milyar dolar olsaydı.

Ayrıca, oltanızı ucuna tüy kalem takıp tabağın yanına mürekkep hokkası da koyabilirsiniz. Böylece yazı yazabilir, resim çizebilirsiniz, falan filan. Mürekkebiniz kuruyunca sertleşip katılaşıyorsa, bir nevi yapı bile inşa edebilirsiniz. Bunu taramalı sondayla yaptığınızda, o işleme "dolma kalem nanolitografisi" denir. Görüyorsunuz işte, "li-

tografi" terimi "nanoteknoloji" sözcüğü kadar esnetilir. Bu terim, herhangi bir baskı ya da yazı süreci anlamında kullanılır oldu, oysa özgün anlamı, temas yoluyla icra edilen belirli bir baskı yöntemidir.[5]

Özgün litografiye benzeyen bir süreç, zaman zaman yumuşak nanolitografi olarak adlandırılır. Bu sürece, "nano kauçuk damga" dersek daha betimleyici olacaktır. Bir yüzünde desen çizili olan bir blok alın, mürekkebe batırın ve bir yüzeye dokundurun. Bu desenin baskısını elde edersiniz. Kalıbın boyutu birkaç nanometre olsa bile, bu yöntem işe yarar.

Döküm tekniği, yani bir şeyi eritip kalıba dökerek o kalıbın şeklini alması için sertleşmeye bırakmak da nanoölçekte işe yarayan bir yöntemdir.

MOLEKÜLER IŞIN EPİTAKSİSİ

CD ya da DVD oynatıcınız varsa, atomik hassasiyete sahip bir aletiniz büyük ihtimalle var demektir; aslında bu aygıtların atomik hassasiyeti tek boyutta mevcut. Bu diskleri okumak için yapılan pek çok katı hal lazeri, moleküler ışın epitaksisi tekniğiyle üretilir. Bu teknikte nesneler, epey seyreltilmiş atom gazlarına maruz bırakılarak oluşturulur; bu gaz atomları ise boşluklu ortamda kimi maddelerin (genelde katı maddeler) buharlaştırılmasıyla elde edilir. Bu teknik, üretilen tabakaların kalınlığını oldukça sıkı denetleyebilir, aslında tek atom kalınlığında tabaka oluşturması bile mümkün. Tabakaları istediğiniz sırayla dizmek için, oluşturduğunuz nesneyi sırayla farklı gazlara maruz bırakırsınız. Hareketli aksamı olmayan çeşit çeşit katı halli cihaz, örneğin transistör gibi, tabakaların ince oluşunun doğurduğu kuantum özelliklerinden faydalanılarak yapılabilir.[6] Lazerler, sıradışı transistör türleri, Fabry-Perot etalonları (transistöre benzer

---

[5] Alois Seinfelder tarafından yaklaşık 1800'de icat edilmiş olan özgün litografi, cilalı kireç taşı üzerine mumsu mürekkeple yazı yazmayı gerektirir, sonra da yazının etrafı asitle dağlanır; böylece, bir baskı kalıbı oluşturulur. *Litho*, "taş" anlamına gelirken, "*grafi*" yazı anlamına gelir.

[6] Kuantum mekaniğine göre, küçük bir kutuya elektron koyarsanız, elde edebileceği enerjiyi, bir avuç belirli enerji miktarıyla kısıtlamış olursunuz. Bu da yayabileceği ya da soğurabileceği ışığı belirli dalga boylarıyla kısıtlar. Pek çok atom ve molekül, bu olguyu kendi elektronlarına etkin şekilde uygular; maddelerin renkli oluşunun sebebi budur. Bu kutulardan istediğiniz boyutta inşa etme becerisi, lazerler gibi ışıkla uğraşan cihazların tasarlanmasında faydalı olur.

fakat ışık kullanır) ve benzeri cihazlar bu şekilde üretilebilir.

NANOELEKTRONİK

Günümüz laboratuvarlarında rastlayabileceğimiz en ileri marifetler, nanoelektronik alanına dahildir. Molekül ölçekli, transistör benzeri çeşit çeşit şalter icat edilmiş, farklı görüngülerden faydalanan kablolar ve bellek öğeleri üretilmiştir. Dahası, bunları işe yarar cihazlara dönüştürmeye giden yol, hareketli aksama sahip makineler yapmaya giden yoldan belki çok daha kısadır. Aynı sebepten ötürü, mikroteknolojinin ana uygulama alanı elektroniktir: Mikroçiplerin hareketli aksamı olması gerekmez.

Nanoelektroniğe açılan kısa yol, otomontajdan (*self-assembly*) geçer. Örneğin, şalterleri ve kabloları kimyasal olarak sentezleyebilirsiniz ki nihayetinde bunlar havalı birer moleküldür. Bu aksamı da kimyasal yollarla DNA moleküllerine yapıştırabilirsiniz. DNA molekülü öyle itinalı ayarlanmış olmalıdır ki otomontajcı DNA, moleküler elektronik cihazları yanında sürükleyip, çalışan bir devre halinde toparlayabilsin. Siz bu satırları okurken, muhtemelen laboratuvarın birinde bu işlem gerçekleştirilmiş olacaktır, fakat henüz ticari işlerlik kazanacak kadar verimli şekilde yapılacağını sanmıyorum.

NANOBELLEKLER

Kısa vadede ortaya çıkacak gibi görünen başka bir ürün ise, moleküler yoğunlukta veri yazıp okumak için taramalı sonda tekniklerini kullanan cihazdır. Eğer hiç kendi başınıza radyo yaptıysanız (radyo yapma seti yardımıyla değil, sıfırdan), muhtemelen taramalı sonda da yapabilirsiniz; aynı zamanda bu cihazın girdisini çıktısını da anlayabilirsiniz.

Nihayetinde, taramalı sondalar IBM laboratuvarlarında icat edilmiştir. Neredeyse son yirmi yıldır, atom çözünürlüğünde yazılmış bilgiyi okuma becerisi gösteriyorlar. Nanometrekareye düşen tek bit bilgiyle, bu kitabın bütünü, bir bakteri için banyo paspası büyüklüğünde olurdu. İşin püf noktası, güvenilir ve hızlı yazmaktan geçer; ayrıca, taramalı sondayı, vasıflı teknisyenlerin kullandığı laboratuvar aygıtı olmaktan çıkarıp kutuya tıkıştırarak, bir köşede unutabileceğiniz kadar bütünüyle otomatik bir alete dönüştürmek de en az o kadar mühim. Ekseriyetle bu gelişme, taramalı sondaların daha hassas şekilde ve bol miktarda üretilmesi sayesinde gerçekleşecektir.

NANOPİLLER

Fakat bilgisayar teknolojisinin en yavaş ilerleyen kısmı pillerdir. Yıllar içinde pil teknolojisi bir parça ilerlemiştir, fakat işlemcilerden ekranlara kadar her şey o kadar hızlı gelişmiştir ki piller geriye gidiyor gibi görünüyor. Pil boyutunda ve ağırlığında yakıt hücreleri üretilene kadar bu gidişat değişecek gibi değil, ancak o zamana değin günümüzün nanoölçekli teknolojisi birtakım mütevazı iyileşmeler sunabilir. Örneğin, bir pilin üretebileceği enerji miktarı, elektrotları ile elektrolitleri arasındaki yüzey etkileşiminin miktarıyla sınırlıdır. Nanoölçekte yapılandırılmış bir yüzeyin hayata geçirilmesiyle birlikte, küçük bir mekânda çok daha fazla alan elde edebileceğiniz gibi pilin ağırlığını da hafifletebilirsiniz.

Örneğin, nanoçim gerçekten şık bir düzendir. Bu yapı, topraktan çıkan çimler gibi bir yüzeyden dikine baş veren silikon nanoçubuklardan meydana gelir. (Bu nanoçubukların hepsi aynı boydadır ve düzgün bir şekilde sıralanırlar, yani Hint fakirlerinin çivili yatakları daha doğru bir imge olabilir.) Elektrolit damlacıkları normal şartlarda çubukların ucunda durur ve yan taraflara temas etmezler. Bu durum, fiilî arayüz alanını esasen sıfıra indirir, böylece pil, kullanımda olmadığında enerji kaçağı ve pilin tükenmesi söz konusu olamaz. Pil kullanılırken, voltaj ya da başka bir itici güçle, damlacık, çubuklar arasından aşağı inmek zorunda bırakılır, böylece temas yüzeyi muazzam oranda artar. Nanoçim pil, silikon bazlı olduğu için, elektronik çipin parçası olarak üretilmeye uyumludur, böylece yoğun enerjili olmayan uygulamalar için kendinden enerjili çipler imal edilmiş olur.

Mevcut nanoölçekli teknolojinin muazzam ilerleme kaydedebileceği başka bir alan ise yakıt hücreleridir. Günümüzde oldukça farklı teknolojilere göz dikilmiş durumdadır. Temel fikir, ters elektroliz yapmanın yolunu bulmaktır. Suya iki telin sokulduğu ve bu tellerden elektrik akımının geçirildiği o deneyi belki görmüş, belki de bizzat yapmışsınızdır. Tellerin birinden hidrojen kabarcıkları çıkarken, ötekinden oksijen kabarcıkları yükselir; akım sayesinde su, doğrudan bileşenlerine ayrılır. Tersini yapmak da mümkün: Yani, hidrojen ve oksijeni doğrudan suya dönüştürüp akım üretmek. Proton-değişimli zarı (*proton-exchange membrane*, PEM) olan yakıt hücrelerinde gerçekleşen şey budur.

PEM yakıt hücreleri, bugünün teknolojisidir; bunlardan çeşit çeşit boylarda satın alabilirsiniz, evinize jeneratör olacak büyüklükte olanları da var, dizüstü bilgisayarınızda kullanılan mikro boyutlu-

ları da. Şimdilik öteki enerji kaynaklarına nazaran pahalılar. Sanayi çevrelerinde şu şaka yapılır: "Mikro yakıt hücresi satın al, dizüstü bilgisayarın bizden."

Nanoölçekli teknolojide, örneğin elektrotlar için üretilen karbon nanotüpler gibi ilerlemeler, yakıt hücrelerinin süregiden gelişiminde rol oynayabilir. Aynı zamanda, gerçi böyle bir proje kulağıma çalınmış olmasa da, yakıt hücrelerini çalıştırmak için mitokondrilerin şeker sindirimi mekanizmasından faydalanan biyoteknoloji temelli bir tasarı duysam şaşırmazdım. Artık hangisi işe yararsa!

OTOMONTAJ

Nesneleri nanoölçekte bir araya getirmenin başka bir yolu ise otomontaj ya da Brownvari montaj denen yöntemdir. Hücre içindeki moleküler makineler bu şekilde oluşur. Burada işin püf noktası, bir araya getirilecek aksamın atomik hassasiyete sahip olma zorunluluğudur (yani hemen hemen). Sonra bu aksamı bir sıvıda, çoğunlukla suda çözüp sıvı içinde sürüklenmeye bırakırsınız. Birbirine uyan parçalar şans eseri bir araya gelince, yapışkanlıkları (van der Waals kuvveti ve benzeri kuvvetler) sayesinde birbirlerine tutunurlar. İki tuğla alın ve her birini yarıya bölün. Kırık yüzeylere ince bir tutkal tabakası sürün. Birbirine uyan yarıların, uymayan yarılara göre daha güçlü yapıştığını göreceksiniz.

Atomik hassasiyeti olan aksamı nasıl elde ederiz? Şu an için kimyadan ya da moleküler biyolojiden faydalanmamız gerekiyor. Örneğin, ne şekilde olursa olsun, DNA molekülü üretebiliyorsak, hücresel mekanizmaların bir kısmını kullanarak bu molekülü büyük miktarlarda çoğaltabiliriz. DNA'nın, otomontaj sürecini gerçekleştirmek için uygun bir molekül olduğu malum. Biliminsanları, bilhassa da Nadrian Seeman ve New York Üniversitesindeki ekibi, DNA sayesinde oldukça karmaşık yapılar, hatta bazı hareketli makineler inşa ediyorlar.

Elinizdeki kitap yazıldığı sırada bu ekibin son marifeti, bir çift yürüyen bacaktı. Bu bacaklar denge kurmak ya da benzeri bir iş için değil. Ekibin inşa ettiği şey, bir parça gevşek bacak çifti ve bir DNA yoludur. "Ayaklar," yolda art arda dizilmiş "ayak izlerine" yapışırken, son bağlandıkları ayak izinden ayrılıp bir sonrakine geçerler; bu esnada ortamı farklı kimyasallarla doldururlar, bunlar da kimyasal özellikleri uygun şekilde değiştirirler. Bu, zahmetli bir makinedir; denetim altındaki her küçük devinim için kimyasallarla yıkanmayı ve

karıştırılmayı gerektirir, fakat işler makine elde ederseniz, bu makine sayesinde, sonraki makineyi daha hızlı inşa edebilirsiniz.

NANOÖLÇEKLİ TEKNOLOJİDEN NANOTEKNOLOJİYE

Şu an için, satın alabileceğiniz ürünlerdeki nanoteknoloji uygulamaları, yeni (ve faydalı) malzeme özellikleri yaratan nanoölçekli tozlar gibi şeylerdir. Kimyasal hızlandırıcılarda ve kimyasal tahlillerde bir parça ilerleme mevcut; çoğunlukla özelleşmiş uygulamalar için geçerli bu. Yakın gelecekte piller, yakıt hücreleri ve veri depolama işlemi, bugünün nanoölçekli biliminin faydasını görebilir. Fakat nanoimalatın gerçekten etkileyici hünerlerine kavuşmak için, nanomakinelerin inşa edilmesi gerekiyor. Şu an laboratuvarlarda, nanomakinelerde yer alacak, örneğin rulman gibi tekil parçaların prototiplerine yönelik kimi deneyler yapılıyor (Bkz. Beşinci Bölüm). Tüm aksamı ürettikten sonra, bunları bir araya nasıl getireceğimizi belirlememiz gerekecek.

Makine inşa etmek için bir araya getirmeniz gereken bir dizi aksam düşünün. Belirli bir sırayla belirli bir konumda dizilmeleri gerekir. Diyelim ki, her aksamı üzerinde yarı esnek bir çubukla üretebildiniz ve aksam, bu çubuğun aracılığıyla, iki tarafında da karmaşık birer yüzey bulunan bir nevi bagaj etiketine bağlıdır. Etiketin alt yüzeyi, bir önceki parçanın etiketinin üst yüzeyine uyar; üst yüzeyi ise, bir sonrakinin alt yüzeyine uyacaktır. Etiketler, ancak tek bir dizi halinde sıralanacaktır ve etiketler bu sıraya göre kümelenirken, çubuklar da aksama uygun şekilde yapılanmayı ve doğru düzenlenişe kavuşmayı dayatacaktır. En son aşamada çubukları ortamdan uzaklaştırıp, makinenin montaj sürecini tamamlayabilirsiniz.

Bugünün ilkel nanoteknolojisi ve geleceğimize şekil verecek tam teşekküllü, olgun teknoloji arasındaki büyük fark basittir. Bugünün uygulaması, nanoölçekli ürünler yapan fabrikalardır. Olgun nanoteknoloji, nanoölçekli fabrikaları kapsayacak: Nesneler imal eden, atomu atomuna planlanmış faal makineler.

YAŞAM: DOĞANIN NANOTEKNOLOJİSİ

Elbette, dünyada zaten montajlanmış, çalışan, hem de nesneler üreten nanomakinelerin sürüsüne bereket denebilir. Her canlı hücre, moleküler makinelerle tıka basa dolu inanılmaz bir fabrikadır. Bu makineler ekseriyetle proteinlerden, yani top halinde yuvarlanmış boncuklu kolyeler gibi sıkı şekiller oluşturan uzun amino asit zincir-

lerinden meydana gelir.

Protein moleküllerine işlevini kazandıran unsur, bu özgül şekilleridir. Özgül bir makine, yani enzim, çoğunlukla birden fazla molekülden oluşur ve moleküllerin şekilleri (ve elektrik yükünün dağılımı), birbirlerine uygun biçimde yapışmalarını sağlar.

Moleküllerin birbirlerine uygun biçimde yapışması, hücre içindeki her işlev için kilit unsurdur. Hücre, farklı bölmeler barındırır, böylece çeşitli molekül türleri ayrı yerlerde tutulabilir, fakat bölmelerin sayısı molekül çeşidinin toplam sayısına asla yaklaşmaz. Dolayısıyla, A molekü ile B molekülünden meydana gelen makine inşa etmek için, mekanizma, A ve B molekülleri üretir, birbirlerine tesadüf edip yapışana kadar bu moleküllerin etrafta sürüklenmesine imkân tanır. Bir makinenin parçalarını birleştirmek söz konusu olduğu zaman, bu sürüklenme ve yapışma sürecine otomontaj denir.

Oluşan bu protein makinesi, bir işlev yerine getirir, mesela enzim olarak çalışır. Enzim, en az bir adet girdi molekülünü alıp, kimyasal bir tepkimenin gerçekleşmesini mümkün kılar, böylece en az bir adet çıktı molekülü üretir. Girdi molekülüne (ya da moleküllerine) rahatlıkla uyan protein bölmesi, molekülü öyle bir konumda tutar ki tepkimenin gerçekleşmesini kolaylaştırır; bu yüzden enzim, o tepkimenin kimyasal hızlandırıcısıdır. Bu tepkimeler, küçük moleküllerle amino asit yapmaktan, enerji için şeker oksitlemeye, yedek parça üretmek için eski proteinleri parçalamaya kadar herhangi bir tepkime olabilir.

Eğer tepkime "yokuş aşağı gidiyorsa," yani tükettiğinden fazla enerji üretiyorsa (örneğin şeker oksitlemek gibi), enzim bu işlemi yardım almadan gerçekleştirir. Yokuş yukarı gidiyorsa, örneğin büyük moleküller inşa etmek söz konusuysa, enzimin bir yerlerden enerji alması gerekir. Genelde enerji, yakıt olarak hizmet veren ATP molekülü gibi özel moleküllerden gelir. O surette, tepkime karmaşıklaşır, çünkü istenen esas tepkimenin yanı sıra ATP molekülünün de parçalanması gerekir. Bunun gibi mekanizmalar sayesinde enzimler, ürünlerine enerji ekleyebilir. Peki bu ATP nereden geliyor?

ATP (adenozin tri-fosfat), ADP (adenozin di-fosfat) ve bir fosfat grubundan oluşturulur. Parçalanırken, hem ADP hem de fosfat grubu ortaya çıkar; tepkimeden tepkimeye enerji nakletmek için aynı parçalar defalarca kullanılır. Yüksek canlılarda enerji, mitokondride şekerin ve yağın oksijenle yakılmasından elde edilir. (Bakterilerin şekerden enerji elde etme yolu farklı; oksijen kullanmazlar, şekeri yakmak yerine mayalarlar.) Mitokondri, hücre içinde bulunan çift duvarlı bir bölmedir. Oksijenli yakma işlemi iç duvarın dahilinde

cereyan eder, burada gerçekleşen karmaşık tepkimeler döngüsü, iç duvar boyunca bir voltaj farkı tesis eder. Buradaki işleyiş, PEM yakıt hücresinin işleyişine ilkesel olarak benzer, gerçi ayrıntılarda büyük farklar mevcuttur.

Mikroskopla çekilmiş fotoğraflarda mitokondrinin iç duvarı, bir ormanın havadan çekilmiş fotoğrafına benzeyen bir dokuyla kaplı görünür. Burada ağaçlar, ATP sentaz denen moleküler makinelerdir. (Biyoloji dilinin şifresini kırarsak, "ATP yapan makine" anlamına gelir.) ATP sentaz makinesinin üç ana parçası var: Elektrik motoru, mil, ve mekanik güç kullanarak ilave fosfat grubunu ADP moleküllerine ekleyen işlik.

Hücredeki moleküler makinelerin çoğu, bu kadar bariz bir mekanik işleve sahip değildir, fakat ATP sentaz, bunun mümkün olduğunu ispatlamaktadır. Bu enzim, hücresel elektrik motorlarına emsal teşkil eder: Hücrede oldukça az sayıda motor bulunur, bunlardan bazıları devirlidir. (Hücre içi motorların genelde elektron iletimi yerine proton iletimiyle çalıştığına dikkat edin, fakat bu teknik bir mesele.) Makinenin mili, motora bağlıdır ve mil, mekanik tork (dönme momenti) ve güç aktarımı gerçekleştirir. En önemlisi, mekanik gücün ittirdiği özgül bir "yokuş yukarı" nitelikli kimyasal tepkimeye yol açan sürece örnek teşkil etmesidir.

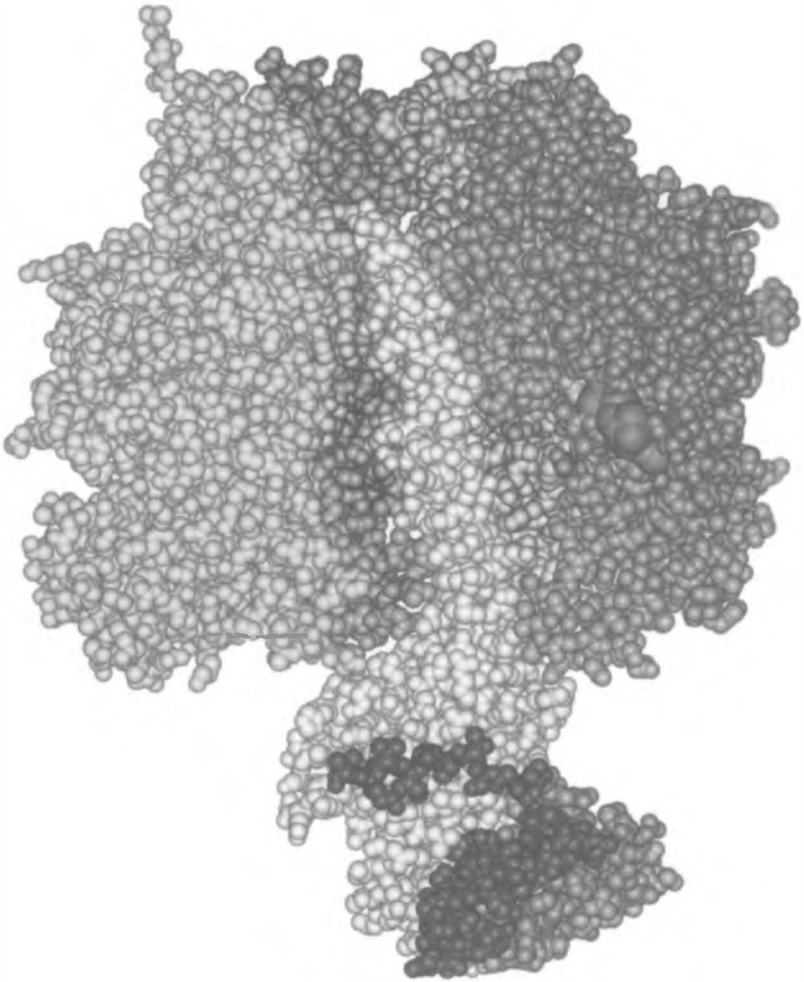
Tek ATP sentaz makinesi, saniyede yaklaşık yüz ATP molekülü üretebilir.

TÜM MAKİNELERİN ANASI

Hücredeki binlerce makine arasından bir tanesine şimdi etraflıca bakalım. Ribozomdan bahsediyorum. Hücredeki tüm moleküler makineler için kilit öğe ribozomdur, çünkü proteinleri imal eden molekül budur.

Protein, sıkıştırılmış bir amino asit zinciridir. Doğada yirmi farklı amino asit bulunur ve her birinin özellikleri farklı farklıdır. Bazıları serttir, bazıları esnek. Bazıları büyüktür, bazıları küçük. Bazıları elektrik yükü taşır ve suyla etkileşime girer; bazıları yağsıdır ve suyla karşılaşınca topaklanır. Protein molekülünün aldığı nihai şekil, proteinde amino asit türlerinin dizilişine bağlıdır. Dolayısıyla, belirli bir molekül üretmek için, özgül bir amino asit dizisini tanımlamanız gerekir, sonra da tanımınıza uygun amino asit zincirini inşa etmelisiniz.

Protein dizilerinin bilgisi, hücre DNA'sında saklanır. DNA, dört altmolekülden (nükleotit denir) meydana gelen çifte zincirli bir mole-



Şekil 4 ATP sentaz. Kesit görüntü. Mili ve ışığı görebiliyoruz, fakat motor görünmüyor. Marianna Max'ın izniyle.

küldür; üç nükleotit yan yana gelince bir amino asit türüne tekabül ederler. Nükleotitler herkes tarafından A, C, G, T diye adlandırılır. Elimizdeki DNA parçası GCATGCAACCCA diye okunuyorsa, bunu GCA, TGC, AAC, CCA diye parsellere böleriz, bu da alanin, sistein, asparajin, prolin aminoasitlerinin yine bu sırayla dizilmesinden oluşan (minik bir) protein anlamına gelir. Belirli nükleotit üçlülerinin



Şekil 5 Ribozom, protein yapıyor. Bu çizimler, taneli meyvelerde bulunan tatlı proteini *brazzein*'in ilk yedi amino asidinin ribozom tarafından bir araya getirilişini gösteriyor. Proteinin tamamlanmış hali elli dört birim uzunluğunda olacaktır. Alttaki koyu renkli şerit mRNA'yı temsil ediyor. Aminoasitleri tutan molekül ise tRNA'dır. Marianna Max'ın izniyle.

belirli amino asitlere tekabül etmesi, genetik şifre olarak nitelenir.[7]

Protein yapmak için, DNA'da kalıcı olarak depolanan bilgi, bir "çalışma direktifine," yani RNA molekülüne kopyalanır; RNA, çifte DNA ipliklerinden bir tanesine benzer. Sonra RNA, ribozom tarafından "okunur" ve protein üretilir. Çalışma direktifi yerine geçen RNA'ya mesajcı RNA ya da kısaca mRNA denir. RNA'dan meydana gelen başka bir molekül ise "taşıyıcı RNA," yani tRNA'dır. tRNA, üzerinde amino asit taşır, yani yirmi farklı biçimi mevcuttur. Bu biçimlerden her biri, farklı bir amino aside tekabül eder, aslında her tRNA, uygun amino asit molekülüne tam da bu iş için yaratılmış olan özel bir enzim sayesinde bağlanır. tRNA'nın bir ucunda asit (örneğin alanin), öteki ucunda ise bu asitin genetik şifresini tümleyen nükleotit üçlüsü (örneğin CGT) bulunur. tRNA'lar amino asit vestiyeri olmanın ötesindedir, onlar *etiketlenmiş* amino asit vestiyerleridir.

Ribozom, iki parçalı bir makinedir. Her parça, birkaç protein molekülünden ve omurgayı teşkil eden bir iki RNA molekülünden meydana gelir (adını illa bileyim diyorsanız rRNA). Bu iki parça, yarılmış bir kalıbın iki yarısı gibi bir araya gelir ve tRNA şekilli girintiler oluştururlar. Protein sentez işlemi sırasında, ribozom bir uçta mRNA iplikçiğini tutar, böylece nükleotit üçlüsü, girintinin bir köşesini meydana getirir. Bu da, sırf o nükleotit üçlüsüne denk gelen amino asit molekülünü taşıyan tRNA'nın girintiye sığmasını mümkün kılar. Hücre içinde, bir nesne ve nesnenin sığabileceği bir oyuk varsa, kısa süre içinde bu nesnenin o oyuğa girdiğini görürüz. Otomontajın büyüsü işte bu.

Bu iki ribozom parçası, birbirleri üzerinde karşılıklı ileri geri hareket ederler; bu devinim, otomatik tabancalarda sürgü ve gövdenin birbirleri üzerinden kaymasına benzemiyor değil. Bu hareket her tekrarlandığında yeni bir tRNA, bir dizi odacıktan geçer, mRNA "şeridi" bir nükleotit üçlüsü boyunda ilerler, son giren tRNA molekülünün taşıdığı amino asit, bir önceki amino aside (yani amino asit zincirine) bağlanıp tRNA'dan kopar. tRNA, ribozomdan dışarı atılır ki yeniden amino asit yükleyebilsin. Protein "zinciri" her adımda bir amino asit "halkası" kadar uzar.

Ribozomda bu sentezin her adımının enerjisi, GTP (Guanozin

---

[7] Aslında durum bundan biraz daha karmaşık. İki DNA iplikçiği, yani iki sarmal var; iplikçiklerden birinde C varsa karşısındaki G, birinde A varsa karşısındakinde T bulunur; dolayısıyla, birbirini "tümleyen" harf dizileri söz konusu.

Trifosfat) molekülünün GDP'ye yıkılmasıyla sağlanır. Bu işlem, hücre faaliyetlerinin çoğuna enerji veren ATP'nin ADP'ye yıkım sürecine benzer.

İnsan hücrelerinde ribozomlar, yaptıkları protein zincirine saniyede iki amino asit ekleyebilir, bakteride ise bu hız yirmi amino aside kadar çıkabilir.

BİYOLOJİDEN NANOTEKNOLOJİYE

Hücre içindeki moleküler makineler, nanoteknolojinin çekirdeğini teşkil edecek makinelerle pek çok benzerlik taşır. İlk ve en önemlisi, ikisinin de belirli bağ kurma ve bağ koparma tepkimelerini denetleyerek atomik hassasiyete sahip ürünler inşa etmesidir. Ribozom örneğindeki gibi sayısal denetim altındadırlar; yani, ayrık simgelerden oluşan bir dizi halinde şifrelenmiş talimatlar alırlar. Elektrik motorları, devirli miller ve piston mekanizmaları kullanabilirler.

Hücre içindeki sentez süreci, bugüne kadar tasarlanmış nanotek süreçlerle koşutluklar barındırır. Hammadde nitelikli moleküller, bir dizi özgül tepkimeyle yıkılır. Bir ürüne monte edilecek işlevsel gruplar (molekül parçaları), yine bir dizi özgül tepkime aracılığıyla taşıyıcı öğelere tutturulur. Sonra bir mekanizma bunları sırayla alır ve montaj sürecindeki ürüne ekler.

Fakat büyük bir fark da mevcut. Nanotek makinelerin içi genelde boşlukla doldurulacaktır, suyla değil. Yer aldıkları süreçlerde, daha reaktif moleküller, hatta boş değerliği (valens) olan moleküller kullanabileceklerdir. Boş değerliği olan moleküllere serbest radikal denir ve bunlar, rast geldikleri moleküllerde tahribata yol açar. Bir nanomakinede, moleküler aksam belirli yollar üzerinde taşınır, böylece zarar verebilecekleri şeylerle karşılaşmalarına imkân tanınmaz. Taşıyıcı bantlar ya da robot kollar sayesinde belirli yollar üzerinde hareket etmek, aksamın yerine daha hızlı ulaşması ve gideceği yere daha muntazam erişmesi anlamına gelir. Dolayısıyla, gelen moleküllerin akışı üzerinde belirli bir tepkimeyi gerçekleştiren nanotek makine bu işi saniyede milyon kere yapabilmelidir, oysa ATP sentaz saniyede yüz civarı tepkime gerçekleştirir.

Enerjiyi tek kullanımlık şarjörler (ATP molekülleri) halinde dağıtmak yerine, nanomakine sistemleri, enerji dağıtımını kablolarla, millerle, tellerle, biyellerle yapmaya yanaşacaktır. Hücrenin girift denetim süreçlerini kullanmak yerine, ki bu süreçlerde hâlâ tamamen anlaşılmamış kimyasal sinyaller yer alır, nanomakineler genelde ka-

meralardan, mekanik kollardan, rölelerden, bilgisayarlardan faydalanacaktır.

Nanomakinenin aksam montaj mekanizması, bilgisayar programı bunu yapmasını söylediği anda çalışmaya başlayacaktır; boş gezinen ribozoma rast gelmiş mRNA molekülü misali çalışacak değildir. Mekanizmanın kendisi daha çok robot kol gibi görünecektir. Kol, nakliyat bantlarından molekül taşıyıcılarını alacaktır, yoksa sürüklenen bir molekül taşıyıcısının kendisine tesadüf etmesini bekleyecek değildir.

Bir başka büyük fark ise nanomakinenin, üç boyutlu ortamda üç boyutlu aksam inşa etmesidir; kendi kendine katlanan bir boncuk zinciri örmeyecektir. Bu, nanomakine aksamının proteinlere kıyasla çok daha sert olabileceği ve daha az yapıtaşı türüyle inşa edilebileceği anlamına gelir. Robot kol, yirmi farklı taşıyıcı yerine, molekül taşıyıcı getiren beş ya da daha az nakliyat bandıyla idare edebilir. Gelen amino asidi ancak zincirin sonuna takma seçeneği olan ribozoma kıyasla, nanomakinenin, yeni işlevsel grubu yapıştıracağı yere dair seçenekleri çok daha fazla olabilir.

Su içinde yüzmeyen, daha sert, sabit aksama sahip olması, nanomakinelerin yaşayan hücrelere nazaran çok geniş bir sıcaklık aralığında iş görebileceği anlamına gelir (örneğin donma derecesinin altında). Makinelerin daha hızlı çalışması ve yüksek enerji tepkimelerini kullanması, makineler ile canlılar arasında olmasını beklediğimiz normal farklardır. Ancak nanomakineler söz konusu olduğu zaman, yaşamın moleküler makine temeli üzerine kurulmuş pek çok unsurunu makinelerde de sürdürmeyi umuyoruz: Karmaşık, verimli bir metabolizma; güçlü fakat sessiz bir devinim; incelikli yapılar; kendi kendini onarma; büyüme; kısacası, yaşamı harika ve gizemli hale getiren tüm nitelikler nanomakinelerde de olmalı.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

NANOMAKİNELERİN TASARIMI VE ÇÖZÜMLEMESİ

Kuram, Mevcut Araç Gereç ve Gelecek

Gelecekte inşa edebileceğimiz makine türleri hakkında bugünden kesin edayla konuşabilmemizin ana sebeplerinden biri, bu makineleri şimdiden tasarlayıp benzetimini yapabilmemizdir. Kimyagerlerin emrine amade olan çeşitli bilgisayar programları, atomların ve moleküllerin davranış şekilleri hakkında pek çok bilgi barındırıyor.

O TUHAF KUANTUM DÜNYASI

Kimyayla alakalı en temel kuram, kuantum elektrodinamiğidir, yani KED. Basitçe anlatmak gerekirse, KED bize fotonların, ve elektron ya da atom çekirdeği gibi elektrik yüklü parçacıkların nasıl davrandığını anlatır. Elbette fizikçiler daha derin konularla ilgilenir, örneğin atom çekirdeğinin kendi içinde nasıl davrandığı gibi, fakat bu kadarı da bize pekâlâ yeter.

Aslında, KED'nin büyük kısmını görmezden gelsek de idare edebiliriz. Böyle olması iyi, çünkü KED'nin matematiği oldukça zorludur. Yoksa, beyzbol topunun nereye gittiğini hesaplarken görelilik kuramına başvuruyormuşuz gibi olurdu. Oysa bu vakada, Isaac Newton'un çok daha basit bir matematiği olan devinim yasalarından elde edilen sonuçlarla, zorlu görelilik kuramından elde edilen sonuçlar arasında fiilî bir fark bulunmaz. Aynı şekilde, kimyasal etkileşimler söz konusu olunca, Schrödinger denklemini kullanarak yakayı sıyırmamız mümkün. Her halükârda bu denklem, kuantum etkilerinin çoğunu kapsar.

Kuantum dünyası tuhaftır, anlaşılması zordur. Nesnelerin devinim şekillerine dair içgüdülerimiz, nesnelerin var olduğu, dalgaların

da havadaki ses ya da su yüzeyindeki dalgalar gibi olduğunu görebildiğimiz dünyada oluşmuştur. Kuantum dünyasında, bu iki tanım bir ölçüye kadar her şey için geçerli. Bu dünyada, örneğin elektron gibi bir varlık, nesne gibi görünür, fakat aynı anda pek çok yerdeymiş ya da farklı yönlerde hareket ediyormuş ya da farklı enerji seviyelerine sahipmiş gibi davranır. Bu tuhaf özellik, üst üste binme ilkesi (*superposition of states*) olarak adlandırılır ve kuantum bilgisayarlarının aynı anda birçok farklı şeyi hesaplamasını, dolayısıyla sıradan bilgisayarlara kıyasla çok daha güçlü oluşlarını mümkün kılar.

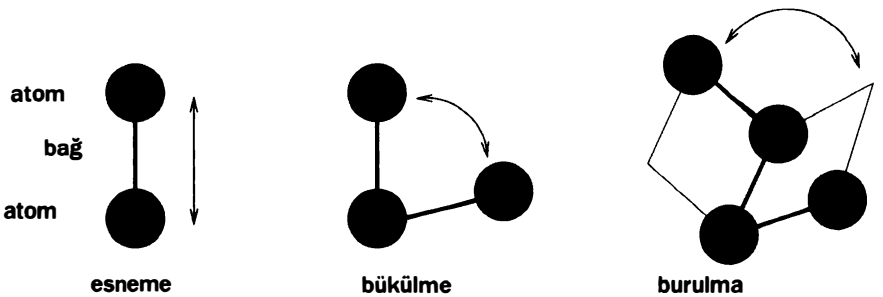
Aynı sebepten ötürü, sıradan bir bilgisayar alıp kuantum dünyasına dair şeyleri taklit etmeye çalıştığınız zaman, hesaplar kolayca çığırından çıkabilir. Üst üste binme ilkesini ve parçacıklar arasındaki hiçbir etkileşimi gözden kaçırmamanız gerekir. Yapılması gereken işin miktarı, parçacık sayısıyla birlikte geometrik olarak hızla artar. Dolayısıyla, kimyasal bir etkileşimin kuantum mekaniğini incelerken, bu tahlil az bir atom sayısıyla sınırlı kalır ve Born-Oppenheimer kestirimi denen yöntemden faydalanılır. Bu kestirim, atom çekirdeklerini sıradan nesneler olarak ele alır ve çekirdeğin çevresinde dönen elektronları kuantum mekaniği açısından hesaplar. Genelde, atom çekirdeklerinin sıradan nesneler gibi hareket edecek kadar ağır olduğu anlaşılmaktadır.

Böyle bile olsa, Robert Freitas ve Ralph Merkle tarafından yapılmış, elmas aksam oluşturmak için karbon atomlarını istiflemeyi kapsayan tepkimeleri ele alan çalışma ve benzerleri, 50.000 CPU-saat hesaplama gerektirir.[1]

Born-Oppenheimer kestiriminin her zaman geçerli olmadığını biliyoruz. Fizikçiler, koca koca atomların aynı anda iki farklı yerde bulunduğu ya da atomların üst üste binip Bose-Einstein yoğunlaşması diye adlandırılan durumu yarattığı deneyler yürütebilir. Fakat bilim ile mühendislik arasındaki farkın önemli olduğu yer, bu gibi noktalardır. Bu tarz deneyleri yapmayan, sadece (nispeten) doğrudan tahlil edebildiğimiz işleri gerçekleştiren makineler tasarlayabiliriz. Çoğu normal koşulda atomların, sıradan nesneler gibi hareket ettiğini biliyoruz; atomları taramalı sondalarla görüntüleyebiliriz, itip kakabiliriz, bir yerlere tıkabiliriz ve geriye dönüp baktığımızda onları yine aynı yerde görebiliriz.

---

[1] Ralph C. Merkle ve Robert Freitas Jr., "Theoretical Analysis of a Carbon-Carbon Dimer Placement Tool for Diamond Mechanosynthesis," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 3 (August 2003): 319-24.



Şekil 6 Moleküler mekanik. Kovalent bağların üzerindeki ve arasındaki güçler. Bunlar, tipik moleküler mekanik güç alanlarıyla açıklanır.

MOLEKÜLER MEKANİK

Eğer otomotiv mühendisiyseniz, motorunuzun pistonlarındaki yakıt-hava patlamalarının kimyasını tahlil etmeniz gerekir, fakat aracın yapısında kullandığınız çeliğin daima çelik olarak kaldığını görmek amacıyla bunun kimyasını incelemeniz gerekmez. Ağırlığını, gerilme kuvvetini, esneklik katsayısını vesaireyi irdeleyerek daha genel bir kestirimle bu malzemenin çelik olduğunu anlarsınız. Nanomakinelerin aksamını incelemek için uygun olan ve kimyanın işe karıştırılmadığı genel kestirim, moleküler mekaniktir.[2]

Moleküler mekanik, atomları nesne olarak ele alır, elektronların çevredeki ve kendi aralarındaki eylemlerine dair betimlemeleri basit kuvvetlere indirger. İlki van der Waals kuvvetidir. Bu kuvvet, bir yere kadar atomlar arasında zayıf bir çekim, ve bunun ötesinde birbirlerine doğru itilmelerine direnç gösteren büyük bir kuvvettir. Van der Waals kuvveti, atomların nesneler gibi bir parça yumuşak ve esnek ama belirli boyuta sahip olarak hareket etmesini sağlar.

Sırada iyon kuvvetleri var. Atomlar elektron kazandığında ya da kaybettiğinde bu kuvvetler devreye girer (yani molekülün kısmi elektron kaybı ya da kazancında). Ortaya çıkan elektrik yükünden ötürü atomlar birbirlerini uzak mesafelerden çeker ya da iter. Örneğin, bildiğimiz sofra tuzu, sodyum ve klor iyonlarının kristalleşmiş halidir; sodyumlar elektron kaybetmiştir, klor atomları ise elektron kazanmıştır. (*İyon*, en az bir elektron kaybetmiş ya da kazanmış atom anlamına gelir.) Ortaya çıkan elektrostatik kuvvetlerden ötürü atomlar,

---

[2] Andrew, R. Leach, *Molecular Modelling: Principles and Applications* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2001), s. 165-252.

kristal içinde hep aynı sırayla dizilir. Su molekülü H_2O'da, oksijen atomu, yakınındaki her hidrojen atomunun elektronunu kendisine çeker, böylece hidrojenin çekirdeği (tek proton) bir parça çıkıntı yapar. Sonuçta hidrojenler artı yüklüymüş gibi hareket eder, oksijenler de eksi yüklüymüş gibi; gerçi elektron tamamen oksijene çekilmiş olsa, daha güçlü iyonlar gibi davranırlardı. Dolayısıyla su molekülleri hem birbirlerine, yani hidrojen oksijene, hem de tuz iyonlarına yapışır. Tuzun suda o kadar iyi çözünmesinin sebebi budur.

Son olarak, kovalent bağlarla ilişkili kuvvetten bahsedebiliriz. Burada, bir atomun elektron kazanıp ötekinin elektron kaybetmesinden ziyade, iki atom da elektronlara aşağı yukarı eşit şekilde tutunur. (Aslında elektronlar çifter çifter paylaşılır.) Kovalent bağ, atomlar arasında güçlü bir zemberek varmış gibi davranır, van der Waals kuvvetinin izin vereceğinden çok daha yakın durmalarını mümkün kılar, çünkü atomlar aslında elektronlarını paylaştıkları yerde örtüşür.

Kovalent bağlar, iyon kuvvetlerinden çok daha güçlüdür; iyon kuvvetleri ise van der Waals kuvvetlerinden çok daha güçlü. Örneğin elmas, kovalent bağlar sayesinde bir arada duran bir kristaldir, tuz ise iyon kuvvetiyle bir arada durur. Van der Waals kristali görmek için, katı ksenon maddesine bakmalısınız; bu kristal -112 santigrat derecede erir. Sağlam katı maddeleri, moleküller arasındaki van der Waals kuvvetleri bir arada tutar, fakat molekülleri kovalent bağların bir arada tutuyor olması, maddenin sağlamlığını pekiştirir. Sıradan buz, bir kristaldir; farklı moleküllerdeki hidrojen atomları ile oksijen atomları arasındaki zayıf iyon bağları (bunlara genelde hidrojen bağı denir) sayesinde bir arada durur.

Moleküler mekanik, moleküller arasında ve içinde neler olup bittiğini bu ayrıntı seviyesinde betimler. Kuvvetlerin ve bağların, güçlerini ve davranışlarını betimleyen belirli parametrelere moleküler mekanikte genelde alan kuvveti ya da "potansiyel enerjinin" kısaltması niyetine zaman zaman potansiyel denir. (Aralarında kuvvet çekimi olan iki atomun potansiyel enerjisi, aralarındaki uzaklıkla değişir, tıpkı ağır bir nesnenin zeminden yükselmesiyle potansiyel enerjisinin artması gibi.) Potansiyel ve kuvvet, aynı madalyonun iki yüzüdür; kuvvet, potansiyelin türevinden (eğimin dikliği) başka bir şey değildir. Aynı molekülü inceleyen kimyager, muhtemelen potansiyele ilgi gösterirken, makine mühendisi ise kuvvetle ilgilenir.

Van der Waals ve iyon kuvvetleri hem ikilidir hem de ışınsaldır; yani iki atom arasında oluşturdukları kuvvetler, atomları ya birbirine çeker ya da birbirinden uzaklaştırır. Kovalent bağlar daha karmaşık-

tır. Bir bileşenleri yine hem ışınsal hem de ikilidir; bu bileşene genelde "esneme" denir. "Bükülme" diye nitelenen bileşen ise, belirli bir atom üzerindeki iki bağın oluşturduğu açıya bakar. "Burulma" adlı bileşen, üç bağın oluşturduğu düzlemlerin (dört atomu birbirine bağlarlar) arasındaki açıya bağlıdır. Kuvvetin gerçek büyüklüğü, hangi elementlerin işe dahil olduğuna bağlıdır, bazen de bu elementlerin başka hangi elementlerle bağ kurdukları önem kazanır. Örneğin, karbon-karbon bağının uzunluğu, bir karbon atomunun, grafitteki gibi üç karbon atomuna ya da elmastaki gibi dört karbon atomuna bağlı oluşuna göre değişir. Alan kuvvetlerine dair çeşitli formülasyonların başka nitelikleri ve ayrıntıları da var, fakat ana özellikler yukarıda bahsettiklerimizdir.

Çoğu alan kuvveti, kimyagerler tarafından farklı sebeplerle geliştirilmiştir ve bu kuvvetlerin parametrelerini tutturmak için farklı yöntemlerden faydalanırlar. Pek çoğu, hücre içinin sıvı ortamında en düzgün çalışacak şekilde ayarlanmıştır ve DNA, protein, ilaç vesaire çözümlemesi yapmak için kullanılırlar. Başka alan kuvvetleri ise, kristal, metal, plastik ve benzeri maddelerin incelenmesi için uygun hale getirilmiştir. Bu ayarların önemli olmasının sebebi, nihayetinde alan kuvvetinin, kuantum mekaniğine ilişkin gerçek durumun bir kestirimi olmasıdır ve farklı durumlarda farklı bir kestirim gerçeğe biraz daha yakın olabilir.

Kimyager için, kestirimin gerçeğe "biraz daha yakın" olması büyük farklılık demektir. Örneğin, A şekline katlanan bir proteinin potansiyeli ile B şeklindeki potansiyeli arasındaki çok küçük fark, hücrede ya da deney tüpünde tüm protein moleküllerinin A şekline gireceği ve neredeyse hiçbirinin B şekline girmeyeceği anlamına gelir. Protein molekülleri gevşektir, moleküle bir bağın eklenebileceği pek çok mevkileri mevcuttur. Bu bağın belirli bir yöne dönmesine yol açacak gerekli enerjinin miktarı aslında çok küçüktür. Fakat nanomakine mühendisleri, bilim ile mühendislik arasındaki farkı iyiye kullanabilir. Bükülme direnci öyle yüksek moleküller tasarlayabiliriz ki her atomu durması gereken yerde en az üçlü bağlar sabitler. Böyle bir molekülün şeklini değiştirmek için gerekli olan enerjinin miktarı çok daha büyüktür. Yani, alan kuvvetinde küçük bir yanlışlık bile olsa, molekülün şeklini değiştirmez, oysa aynı durumda proteinler tamamen farklı şekillere bürünürdü.[3]

---

[3] K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley, 1992), s. 87.

Örneğin, moleküler makine mühendisleri, ön çalışma olarak sadece bağ esnemesini ve bükülmesini betimleyen bir alan kuvveti kullanabilir. Bağ burulması, yaklaşık yüzde birlik düzeltmeye denk gelir, dolayısıyla ilk kestirimde göz ardı edilebilir. Bağ burulmasının önemli fark yaratacağı herhangi bir molekül, moleküler makinelerde aksam olarak kullanılacak kadar bükülmez değildir. Bunun aksine, çözelti kimyagerleri çoğunlukla bağ esnemesinin hesaba katılmadığı bir kestirim kullanır, fakat bağ esnemesi sanki bütünüyle değişmezmiş gibi, bunun için ortalama bir uzunluk belirlerler. Çözelti içinde ortalama uzunluğu büyük oranda değiştirecek kuvvetler olmadığı için, bu çareye başvurmalarında sakınca yoktur.

Kafanızda çelikten bir zincir canlandırın. Diyelim ki kimyagersiniz ve çelik zinciri yere düşürdüğünüzde yığının alacağı şekli tahmin etmeye çalışıyorsunuz. Zincirin halkaları arasındaki sürtünmenin miktarını tam olarak bilmeli, şakırdayan zincirde halkaların birbirleri üzerinden nasıl sekeceğini kestirebilmelisiniz. Çelik halkaların boyut ve şekil bakımından değişmeyeceğini varsayıp etraflarındaki daha küçük kuvvetlerle ilgilenebilirsiniz. Fakat diyelim ki molekül mühendisisiniz ve on ton ağırlığındaki yükü kaldırmak amacıyla kullanılan zincirin davranışlarını öngörmek istiyorsunuz. Halkaların vinçle ağırlık arasında düz bir çizgide sıralanacağına bahse girebilirsiniz; ancak, ağırlık halkaların taşıma kapasitesine yaklaştıkça halkaların nasıl gerilip şekil değiştirdiği konusuyla ilgilenmenizde de fayda var.

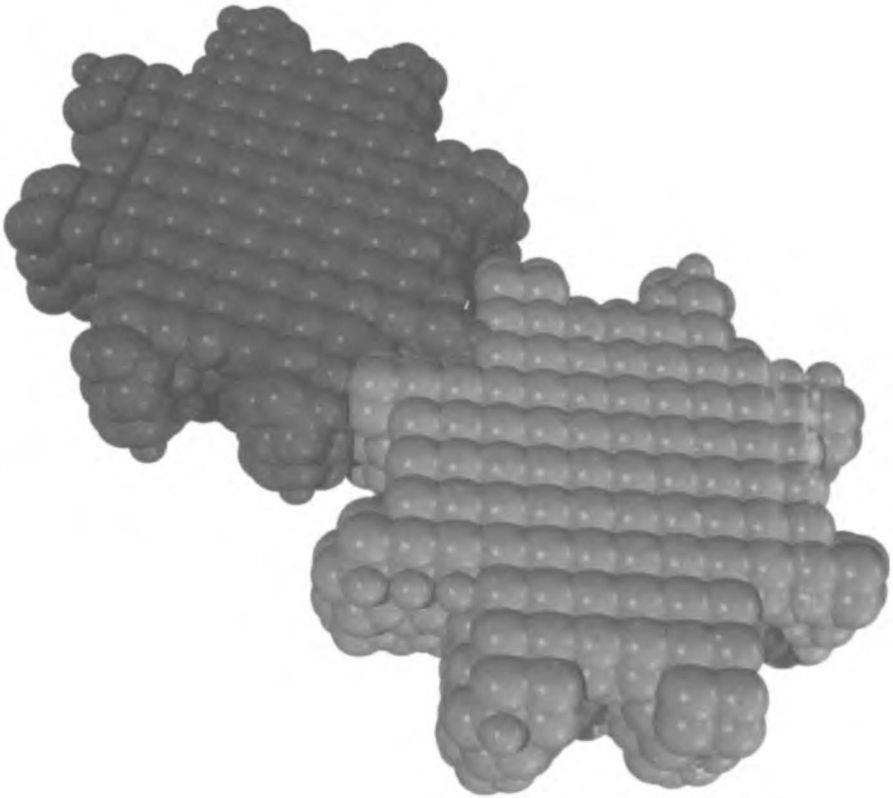
Moleküler mekanik kuvvet alanı, ilgilendiğiniz molekülün tasvirinin yanı sıra, o moleküle ilişkin pek çok şeyi hesaplamanızı da sağlar. Hangi şekli alacağını, bükülmesinin ne kadar zor olacağını, titreşim sıklığının ne olacağını bulabilirsiniz. Yapabileceğiniz başka bir şey ise, moleküler dinamik yöntemiyle molekülün bir benzetimini yapmaktır.[4]

Moleküler dinamik yaklaşımında bir molekül ya da birtakım moleküller alıp her atoma rastgele seçilmiş bir hız verirsiniz, böylece, mesela oda sıcaklığında ısıdan ötürü kavuşacakları hızı taklit edebilirsiniz. Sonra, her birine etki eden kuvveti hesaplamak için alan kuvvetini kullanırsınız ve femtosaniyede ya da daha kısa sürede nereye gideceklerini belirleyebilirsiniz. Her sahne için tüm bu hesaplamaları yaparak bir film ortaya çıkarabilirsiniz.

Bu filmi izleyerek, tasarlanan makine istenilen işi yapacak mı anlarsınız. Protein faaliyetlerini kestirmek gibi kullanıldığı pek çok

---

[4] Leach, *Molecular Modelling*, s. 353-400.



Şekil 7 İnşa etmeden önce sınamak gerekir. Moleküler dinamik benzetimi, bu çarkların pürüzsüz bir şekilde çalışmayacağını gösteriyor. Bu çarkları inşa edeceğimiz zaman geldiğinde, bu benzetim sayesinde ne inşa edeceğimiz hakkında daha düzgün bir fikrimiz olacaktır. Bilgisayar destekli molekül tasarımı ve benzetim yazılımı Nanorex şirketine aittir. (www.nanorex.com).

uygulamanın aksine, moleküler dinamik, nanomakinelerin benzetimi için özellikle uygundur. Bunun sebebi, nanomakinede işlerin çok daha hızlı gerçekleşmesi ve benzetimle elde ettiğiniz görüntünün kısa olmasıdır.

Femtosaniye, tahayyül edilemeyecek kadar kısa bir süredir. Ardışık her sahnenin bir femtosaniyeyi temsil ettiği bir film yapmış olsanız, benzetimini yaptığınız zaman aralığının tek saniyesini izlemek milyon yıl sürerdi. Gerçi elmas içinde sesin hızı, saniyede on milden hızlıdır, dolayısıyla bir nanometrelik alandan geçen titreşimin görüntüleme zamanı ancak iki saniye sürerdi.

Moleküler dinamik ve tatbik ettiği alan kuvvetleriyle ilgili mevcut yazılımların çoğu, kimyagerlere ve malzeme bilimcilerine yöneliktir. Yani bu yazılımlar, benzetimini yaptığı atom grubuna, miktarı bol bir malzemeymiş gibi muamele eder, ayrıca ısı kapasitesi, basınç-hacim-sıcaklık ilişkileri vesaire gibi şeyleri belirlemek için kullanılırlar. Fakat nanomakinelerin benzetimini yapmak için moleküllere aksam muamelesi yapmak ve bükülme direnci, dönme momenti ve enerji gibi şeyleri ölçmek isteriz. Moleküler mekanikle ve dinamikle ilgili yeni yazılımlar, özellikle mekanik nanomakinelerin benzetimini yapmak ve bunları çözümlemek amacıyla geliştirilmektedir.[5]

NANOTASARIM

Nanomakineler, insanoğlunun yarattığı en girift tasarımlar arasında yer alacak. Kum tanelerinin boyutu, 100 mikron ila bir milimetredir. Küçük kum tanesi boyutundaki nanomakinenin beş trilyon aksam içermesi işten değildir ki bu aksamın pek çoğu hareketli olacak. Makineyi toparlamadan önce aksama göz atmak için masa üzerine serseniz ve bu aksamı sadece kum tanesi boyutunda büyütseniz, masanızın 45 metrekareden büyük olması gerekir. Eğer bu parçaları normal araba aksamı boyutuna büyütseniz, masanız yüz dönümden büyük olmalı.

VLSI (*very large scale integration*; çok büyük ölçekli entegrasyon) çipler, örneğin mikroişlemciler, günümüzün en karmaşık tasarımlı makineleri arasındadır, işleyen milyonlarca aksama sahipler. Bu makineler bile, büyük ve örgütlü bir mühendislik ekibinin dahi el emeğiyle tasarlayamayacağı kadar karmaşıktır. Bunun yerine, mühendislik ekipleri büyük oranda tasarım ve benzetim yazılımlarına bel bağlar. Mikroçipler ve nanomakineler arasında güçlü koşutluklar mevcuttur. İlk olarak, bunları pek çok farklı ayrıntı ve gerçeğe uygunluk seviyesinde taklit edebilirsiniz; bu benzetimde gerçeklik payı ne ölçüde artarsa, bilgi işlem bakımından o kadar pahalıya gelir. Çip üzerinde, transistörlerin ve tellerin üç boyutlu malzemeler olarak benzetimini yapıp bunlardan geçen elektron yoğunluğunu da hesaba katabilirsiniz. İstediğiniz şekilde çalışan transistörlere kavuştuktan sonra, transistörler ve teller için daha basit modeller elde etmeye çalışırsınız. Akım geçişiyle ortaya çıkan elektromanyetik dalgalarını benzetiminize katabilir ya da görmezden gelebilirsiniz. Transistörleri

[5] Örneğin Nanorex, Inc. tarafından.

basit aç/kapa şalterleri olarak ele alabilir ve bunlardan geçen sinyallerin gecikme zamanını benzetiminize ister katar ister katmazsınız. Benzetime basit mantıksal işleyişi dahil edebilirsiniz; küçük transistör grupları, VE ve VEYA gibi Boole fonksiyonlarını temsil eder, ki bilgisayar mantığı, bu fonksiyonların tek bitlik ilkel işlemleri üzerine kurulmuştur. Bu aşırı basitleştirilmiş seviyede bile, mikroişlemcinin karmaşıklığı âdeta zalimcedir.

Tüm bu benzetim seviyeleri, eğer bilim/mühendislik ayrımı gözetilirse, makineyi uygun bir şekilde temsil edecektir. Başka bir deyişle, benzetimde her seviye, altındaki seviyelerin tasarımına dair kimi varsayımlarda bulunur ve o varsayımlar doğru olduğu müddetçe, benzetim geçerli sonuçlar verir. Bu varsayımların doğru olmasını temin etmek tasarımcının sorumluluğuna girer.

Elektronik tasarımında, varsayımların sağlaması birkaç şekilde yapılır. Bir defa, tasarımcılar, önceden tasarlanıp alt seviyelerde özenle tahlil edilmiş aksamdan yararlanır. Örneğin, mantık tasarımı yapan kişi, sinyalin yükselişiyle ve alçalışıyla, iletim gecikmesiyle vesaireyle ilgili kesin sınırlar barındıran elektronik devreler olarak, dikkatlice sınanmış mantık kapıları kullanacaktır. Böylece mantık tasarımcısı sadece Boole mantığıyla ilgilenir, elektronik mühendisliğiyle ilgili kaygılar taşımasına gerek kalmaz.

İkincisi, tasarımcıların kullandığı bilgisayar destekli tasarım yazılımının içerdiği kimi altsistemlere tasarım-kuralları denetçileri denir. Bu sistemler, metin düzelten yazılımların dilbilgisi denetleme fonksiyonlarına çok benzer. Eğer ekranınızda bir devreyi resim olarak çiziyorsanız, tasarım kuralı, iki teli belirli bir mesafeden yakın yerleştirmemenizi söyleyebilir. Teller çok yakın olursa, birinden geçen akımın öteki telde voltaj farkı yaratacağını belirleyen alt kademeli çözümlemeyi bilmeniz gerekmez ya da imalat sürecinin kırılım sınırı yüzünden tellerin o yakınlıkta yerleştirilemeyeceğini bilmeseniz de olur. Tüm bilmeniz gereken, telleri haddinden yakın çizerseniz, program tarafından kırmızı kutu içine alınacakları, bu yüzden aralarındaki mesafeyi açmanızın gerekeceğidir.

Tek tek her aksamın hazır ambalajlarının erişilebilir olması ve tasarım kurallarının otomatik denetimi sayesinde, oldukça soyut bir seviyede tasarlanmış devrelerin istendiği gibi çalışacağı konusunda içiniz rahat olabilir. Nanomakineleri tasarlamak için de kesinlikle aynı teknikler kullanılacaktır.

Günümüzde insanlar fiziksel mekanik makineler tasarlarken,

her türlü aksama, makinenin işlevini en elverişli duruma getirmeye, imal edilme kolaylığına ve masrafına çok dikkat eder. 1960'larda, 1970'lerde entegre devreler aşağı yukarı bu şekilde tasarlanmıştır. En ince ayrıntısına varana değin özen gösteriliyordu ve her parçanın öteki aksam üzerindeki etkisine dair tonla çözümleme yapılıyordu. Sonra devreler git gide karmaşıklaşmaya başladı, entegre devreler (*integrated circuit*; IC) önce büyük ölçekli entegrasyona (LSI; *large scale integration*), sonra da çok büyük ölçekli entegrasyona (VLSI; *very large scale integration*) dönüştü. Çiplerin karmaşıklığı, insan beyninin bunları anlayabileceği sınıra çabucak ulaşıp, ardından bu sınırı aştı. O zamanlar bu sanayi kolunda anlatılan yarı ciddi bir şakaya göre, tüm elektronik mühendislerinin içinde iki çip varmış, mühendis iki çipi tasarladıktan sonra yıpranır, sadece yöneticilik yapmaya uygun hale gelirmiş.

Makinelerin karmaşıklığıyla ilgili üç geniş saha var. İlki, kendi yatak odası, gardırobu, mutfağı, garajı ve arabası olup tek başına yaşayan bir insan gibidir. Her şey basit ve kolaydır: Araba gerekli olduğu zaman, arabayı sürersiniz; yemek pişirmeniz gerektiğinde mutfağa gidersiniz. İkinci aşama, aynı ortamda yaşayan büyük bir aileye sahip olmaya benzer. Şimdi her şey daha verimli bir şekilde kullanılır, gerçi bu tarzın, karşılıklı ödünleri ve münasebetleri kaydetmek gibi bir bedeli bulunur. Mutfakta daima birisi vardır ve öğünler arasında evin küçük oğlu lavaboda kimya deneyleri yapar. Birisi babayı arabayla işe bırakmalıdır, çünkü araba gün içinde anneye gereklidir. Tuvaleti kullanmak için hani neredeyse rezervasyon yaptırmak gerekir.

Üçüncü aşama büyük bir şirkete benzer. Herkes, kendi görevine uygun imkânlara sahiptir. Personel arası paylaşım ve karşılıklı münasebetler planlanmıştır ve ailedeki gibi kim kime dum duma değildir. Büyük israf gibi görünen uygulamalar da mevcuttur. Şirket binası tüm gece boş durur, kafeterya günün büyük kısmında kullanılmaz, oysa ailede ev ödevleri yatak odalarında ve mutfak masasında yapılır. Yine de her şey yeterince düzgün çalışır.

Elektronikte, ilk aşama kendi halindeki transistördür. Makine mühendisliğinde ise, tek alet yapan zanaatkârdır. İkinci aşama, 1970'lerin entegre devreleri ya da günümüzün mekanik sistemleridir. Her şeyi sınırlı bir kaynağa mahkûm etmek ve öğelerin birlikte çalışmasını sağlamak büyük hüner ister. Bugünün devasa VLSI çipleri ve yarının astronomik karmaşıklığına sahip nanomekanik sistemleri üçüncü aşamayı temsil eder. Üçüncü aşamada aşılması gereken dar-

boğaz, sistemin fiziki olanakları değil, tasarlama ve yönetme becerileridir. Bir şirkette, kıt olduğu düşünülen malzemeleri satın almak yerine mevcut malzemelerin nasıl verimli şekilde paylaşılacağına karar veren bir müdür tutarak ilave oda, makine vesaire elde etmek daha ucuza gelir. VLSI sisteminde, bölmeler buna göre tasarlanır ve kullanılır, gerçi her bölme kendi özgül işlevine daha da uygun hale getirilebilir. Çip mizanpajı otomatik programlar tarafından düzenlenir ve hayata geçirilir, her ne kadar özenli (ve zaman alan) bir insan ilgisiyle, bu iş biraz daha iyi yapılabilecek olsa da. Aslında günümüzün çip tasarımları, çip resminden çok VHDL ve Verilog gibi bilgisayar dilleriyle yazılmış programlara benzer.

Nanomakinelerin üçüncü aşaması da aynı yolu izleyecek. Günümüzde gelişmiş bir nanomakineye (herhangi bir küçük aksamına) bakan makine mühendisleri, bu makinenin tasarımının oldukça baştan savma ve yavan olduğunu düşünür. Bunun sebebi, engin bir sistemin parçası olarak otomatikman yaratılmış olmasıdır; muhtemelen, üç boyutlu çizim yerine program dili gibi bir şeyle betimlenmiştir. Tasarımcı, esasen makinenin ne yapmasını istiyorsa onu yazacaktır, makineyi imal edecek olan temel mekanizmayı betimlemeye çalışmayacaktır.

Aslında tasarımcı, donanımı mı betimliyor yoksa yazılımı mı yazıyor, onu bilmeyebilir bile (ya da umursamayabilir). Diyelim ki belirli bir devinimi gerçekleştirecek makine tasarlıyor. İstediği devinimi betimler, tasarım yazılımı da akıllı bir robot kol mu kullanacak, kameraların hareket ettirdiği düz bir kol mu kullanacak, mikroişlemcinin denetlediği step motorlar tarafından hareket ettirilen genel bir kol mu kullanacak, yoksa bunların kombinasyonunu mu oluşturacak, ona karar verir.

Mevcut yazılımların bazı türleri, büyük nanomekanik sistemler için ihtiyaç duyacağımız tasarım becerileri yolunda umut vadeden kabiliyetlere sahip. Mesela VLSI tasarım sistemleri mevcut. Daha yaygın olan başka bir örnek ise yazılım geliştirme sistemleridir. 1970'lerde, bilim ve iş amaçlı yazılım oluşturan pek çok programcı sırasıyla Fortran ve Cobol bilgisayar dillerinden faydalanıyordu, fakat işin ağırlıklı kısmı hâlâ çevirici dilinde yapılıyordu, yani alt seviyede makinelere verilen talimatlar tek tek belirleniyordu. Günümüzde, yazılım sentezi tekniklerinde geniş bir yelpaze mevcut. Neredeyse her türlü amaç için özelleşmiş, program yapmak için yapılması gereken işi çevirici diline kıyasla kat kat azaltan programlama dilleri var. Belirli bir üsluba sahip uygulamalar söz konusu olduğunda, esasen otomatik anket

nitelikli sistemler ihtiyaç duyduğunuz uygulamayı size tarif ettirir ve bu uygulamayı otomatikman yaratır. Bu iki uç arasındaki hemen hemen her noktada kullanılabilecek bir yöntem mevcut.

BENZETİM VE SINAMA

Günümüzde, nanomekanik bir tasarımı sınamanın en iyi yolu benzetimini yapmaktır. Ancak, gelecekte, trilyon aksamlı o kum tanesi gibi hatırı sayılır ölçüde karmaşıklığa sahip sistemleri saniyeler içinde yaratıp sınamak mümkün olacak. Bilgisayarlar ucuzlayıp hızlandıkça, son yirmi otuz yılda tasarım uygulamaları, fiziki testlerden benzetimlere kaymaya başladı. Fakat önümüzdeki yirmi otuz yılda nesneleri fiziken yaratmak da aynı yolda ilerleyecek. Her halükârda, belirli uygulamalar ters istikamete savrulacak.

On dönüm yüzölçümüne sahip bir binada eksiksiz bir makine işliği, fabrika ve mühendislik laboratuvarı olduğunu hayal edin. Her türlü inşa ve test teçhizatı, yük vinci, hareketli robotlar burada bulunur, yani tam teşekküllü bir tesistir. Bunu nanomakinelerin ölçeğine indirgersek, bu tesis 40 mikronkareye sığar. En ince insan saçının tıraşlı ucuna sığacaktır. Nanomühendislik tasarım bilgisayarınız, işlemcisi içinde bunun gibi binlerce tesis barındırabilir. Tasarımınızı tanımladıktan sonra, bilgisayar, *return* tuşuna basmanızla birlikte anında binlerce küçük nanomakine varyantı inşa edip sınayabilir.



BEŞİNCİ BÖLÜM

GİRDİSİ ÇIKTISI
Olgun Nanoteknolojinin Esasları

Mucit, (cins isim). Çarklardan, manivelalardan, zembereklerden yaratıcı bir düzenek ortaya çıkartıp bunun uygarlık olduğuna inanan kişi.
Ambrose Bierce, *Şeytanın Sözlüğü*

Nanoteknoloji birtakım tekniklerden, cihazlardan ya da ürünlerden ibaret değildir. Bunun yerine, teknolojimiz atom fiziğinin belirlediği sınırlara yakınlaştığında sahip olacağımız bir dizi marifettir. Bu noktaya nasıl ulaşılacağına dair hususları bilmeksizin de böyle bir teknoloji hakkında öngörülerde bulunabiliriz. Örneğin, belirli bir maddeyi oluşturan süreci bilmesek de o maddenin atom ve kovalent bağ şablonuna bakarak gücünü anlayabiliriz.

Fakat atomların ve bağların şablonunu bilmemiz şart. Fizik yasaları, genelde, malzemelerin ne ölçüde güçlü olabileceğini bize doğrudan söylemez, belirli bir malzemenin ne ölçüde güçlü olacağını söyler. Teknoloji uzmanlarının ilgilendiği başka konularda da benzer bir durum geçerli. Fizik yasası, genelde, motorların ne kadar güçlü olabileceğini anlatmaz; belirli bir motorun ne kadar güçlü olacağını söylemeyi mümkün kılar. Dolayısıyla, birtakım tasarımları tahlil ederek nanoteknolojiye ait marifetlerin ancak ana hatlarını kavrayabiliriz. O halde, ortaya kimi tasarımlar koymamız gerekiyor.

Bu tasarımlar yeterince basit olmalı ki onları şimdiden çözümleyebilelim. Görünüşleri ve faaliyetleri zaten bildiğimiz makinelere ne ölçüde benzerse, o kadar az öngörüde bulunuruz ve haklı çıkma ihtimalimiz o nispette artar. Dikkatinizi çekerim, pek çok nanomakine illa ki bizim burada irdelediğimiz şekilde inşa edilecek değil ve o makineleri yapmanın en verimli, güçlü ve hesaplı yöntemi de kesinlikle bu olmayacaktır. Fakat nanomakineleri mevcut makroskopik makineler gibi tasarlayabilirsek, yapısal dayanıklılıktan sürtün-

me kaynaklı ısıya kadar çözümlenmesi gereken her şeyi biliriz ve bu makinelerin çalışacağına inanmak için sağlam bir gerekçemiz olur. Bunun anlamı, gelecekte tasarlanacak gerçek nanomakinelerin buradaki tasarımlarımızdan herhalde daha iyi olacağıdır. En az bunlar kadar iyi olacaklarına eminiz.

Gelecek teknolojimizde olmasını istediğimiz başka bir özellik de kendiliğinden oluşma (otojenözlük) vasfıdır. Otojenöz teknolojinin imalat üssü, yani makine yapan makineler, buradaki makinelerin her aksamını üretme becerisine sahiptir. Bizim bağlamımızda bunun anlamı, kendilerine benzeyen makinelerden bol bol yapabilen tasarımlardır, tabii eğer böyle tasarımlar vücut bulursa. Günümüzün imalat tezgâhı sanayisi buna örnektir: Dört binde bir santimetrelik hata payıyla şekil verilen çelik makinelerden meydana gelir ve aynı hata payıyla yontulan çelik makineler imal edebilir. Makine yapımına dair olasılıkların manzarasında, bu sanayi bir kerteriz noktasıdır.

ÖLÇEKLEME YASALARI

Karıncalar fillere benzemez. Normalde karınca, kendi ağırlığının yüzlerce katını kaldırabilirken, fil boyutundaki karınca ayağa bile dikilemez.

Bunun sebebi, ölçekleme yasalarıdır. Karınca/fil meselesinde geçerli olan yasa, kare/küp yasasıdır. Bir nesnenin ağırlığı, hacmi oranıyla, yani uzunluğunun kübüyle değişir, oysa bacaklarının gücü kesit alanıyla değişir, yani uzunluğun karesiyle. Başka bir deyişle, fil boyutundaki bir karınca bin kat uzun olur, dolayısıyla bacakları milyon kat güçlenir, ama ağırlığı milyar kat artmıştır.

Ters istikamete girip nanomakineler boyutuna inersek, ağırlığı bütünüyle göz ardı edebileceğimizi görürüz.[1]

Cam pencerenin gözünü elinizle bükmeye çalışmayın. Büküldüğünü fark etmezsiniz ve cam kırılırsa bir tarafınızı kesersiniz. Fakat optik lifler ve araba-tekne onarım takımlarında bulunan fiberglas dokuların lifleri kolaylıkla bükülür. Fiberglas yalıtımın çok ince liflerine küçük düğümler atarsanız nasıl büküldüğünü görebilirsiniz. Aslında bunların hepsi aynı malzemedendir: cam. Daha ince cam, daha esnek cam demektir; işte size bir ölçekleme yasası daha. Nanomakine aksamı akıl almaz inceliktedir, dolayısıyla bunu telafi etmek için

[1] K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley, 1992), s. 25.

mümkün mertebe en sert malzemeyi kullanmamız gerekir, örneğin elmas gibi.

Kolunuzu tam bir daire çizecek şekilde çevirmek bir saniye falan sürer. Eliniz saniyede bir ila iki metre hızla hareket edecektir. Kolunuzun milyonda biri kadar küçük robot kolunun çizdiği daire sizinkinin milyonda biri kadardır, dolayısıyla, aynı hızda hareket ettiği zaman, saniyede milyon kez daire çizecektir.

Kolunuzu kendi etrafında saniyede milyon kez çevirmeye kalksaydınız, elbette fırlayıp giderdi. Kemikleriniz ve kas kirişleriniz böyle bir güce dayanacak kadar sağlam değil. Fakat ölçekleme yasalarına göre, minik robot kolu sizin kolunuzla aynı hızda hareket ettiği zaman, birim alan başına tecrübe edeceği baskı, kolunuzunkiyle aynı olacaktır (genelde). O halde kolun boyutu küçülürken frekansının artması mümkün. Aynı görüngüyü hayvanlar âleminde de iş başında görebilirsiniz. Pelikanların ve kazların kanatlarını çırpma hızı, kollarınızı sallama hızınızdan fazla değildir. Serçeler ve çalıkuşları, kanatlarını çok daha hızlı çırpar, fakat sinekkuşu kanatlarını çırptığı zaman sadece bir karaltı görürsünüz. (Uçan bir sineğin etrafında karaltı görebiliyorsanız, gözleriniz benimkinden keskin demektir.)

Masanızda bir noktada duran küçük nesneleri alıp başka bir noktaya makul bir doğruluk payıyla yerleştirme hızınız saniyede bir nesne civarındadır, fakat nanoölçekli robot kolu aynı işi saniyede bir milyon nesneyle yapabilmeli. Araba motorları dakikada binlerce devirle dönerken ve küçük elektrikli motorlar on binlerce devirle çalışırken, nanomakineler ve motorlar, tutucu tasarım parametreleri dahilinde bile dakikada milyarlarca ya da on milyarlarca devirle çalışabilecek.

YAPILAR

Bugünün makroskopik makineleri çoğunlukla metalden yapılmadır, gerçi son elli yıldır plastik makine çeşitlerinin payı gittikçe artıyor. Çelik kraldır, alüminyum alaşımları ise prens rolünü oynar. Fakat nanomakineleri çelikten, alüminyumdan ya da plastikten yapamayız. Yine ölçekleme yasaları yüzünden.[2]

Fiberglasın esnekliğini açıklayan biçim matematiği, nanoölçekli çelik kirişlerin, ancak gündelik dünyadaki oyun hamurları kadar faydalı olacağını söylüyor. İşe yarar kirişler, çerçeveler, kılıflar, miller

[2] *A.g.e.*, s. 24-28.

yapmak için sahip olduğumuz en sert, en katı malzeme olan elması kullanmamız gerekir. (Bazı kuramcıların iddiasına göre karbon nitrit yapılar daha serttir, fakat şimdiye kadar bu malzemeyi imal edebilen çıkmadı.) Nanoölçekte elmas bile bir parça kauçukumsudur. Daha sert bir malzememiz olması hoş olurdu ama elmas da iş görür.

Ben bu satırları yazarken, elmasın ellinci yılına girdik, yani sentetik elmasın. Elmas, bildiğimiz gerçek elmas, doğal mücevherlerle aynı molekül yapısına sahip bir malzeme olarak laboratuvarda ilk kez yalnızca elli yıl önce üretildi.[3] Bugün fabrikalarda tonla üretiliyor; her sene yaklaşık bir milyar dolar değerinde sentetik sanayi elması satılıyor.

Doğa, aşırı sıcakta ve basınçta karbon moleküllerini sıkıştırarak elmas üretir. Elmas sentezi için kullanılan ilk sanayi yöntemi aşağı yukarı aynı ilke uyarınca işliyordu; yüz tonluk devasa hidrolik pres makinelerinden bir kaşık dolusu elmas tanesi elde ediliyordu. Fakat günümüzde elmasların çoğunluğu, kimyasal buhar yoğunlaştırma (CVD; *chemical vapor deposition*) yöntemiyle imal ediliyor. Bu yöntem sayesinde, nispeten düşük ısı ve basınçlarda, metan (doğal gaz) ya da asetilen gibi karbonlu gazlardan elmas kristalleri üretilebiliyor. Bu işlemde alkolün bile kullanıldığı olur.

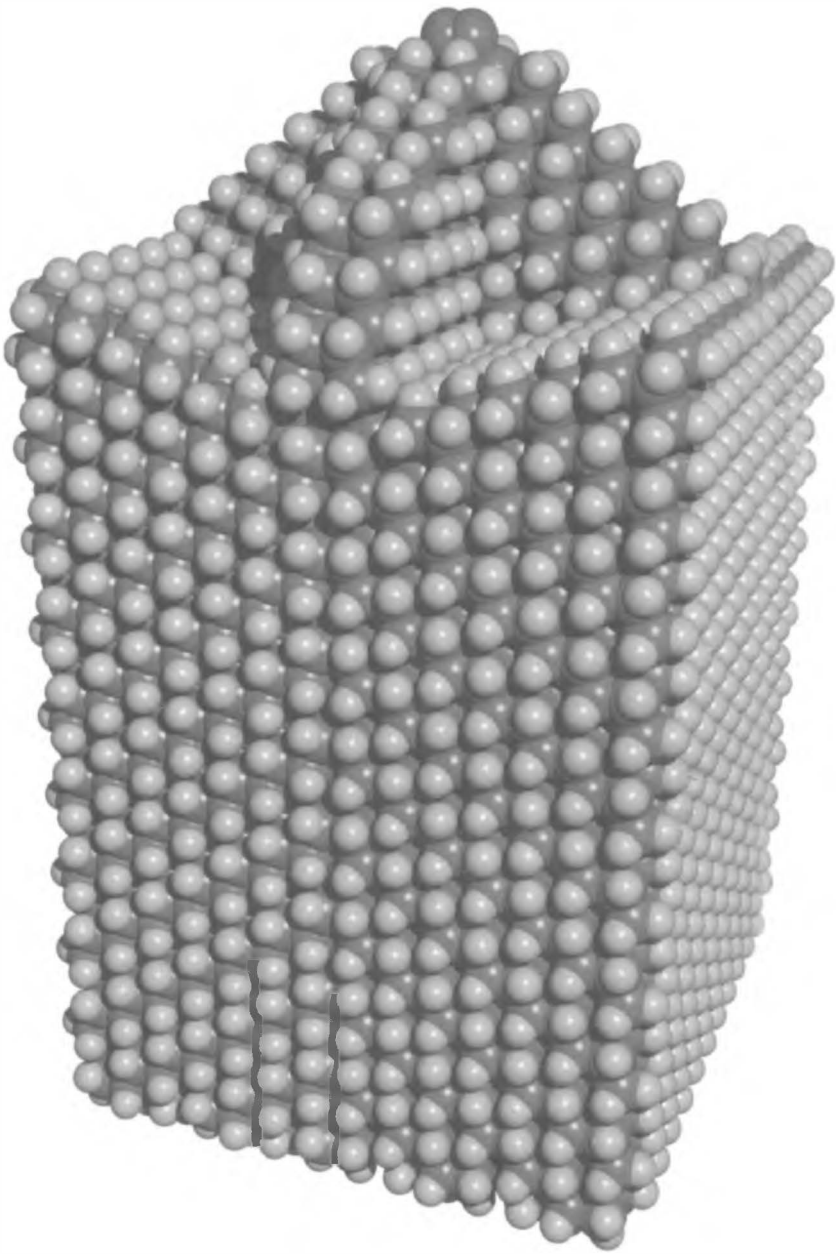
Bazı tepkimeler hayli titizlik gerektirir. CVD ise öyle değil. General Electric şirketinden emekliye ayrılmış olan elmas araştırmacısı Robert deVries şakayla karışık, "hani bu işlemi kendi evinizde mikrodalga fırınla bile yapabilirsiniz," der.[4] Kendi garajlarında bu sentez sürecini tekrarlamaya çalışan amatörler olmuştur. Her türlü kimyasal süreçte, şartları ancak ortalamada denetleyebilirsiniz. Esasen bu tepkime, gaz molekülleri arasındaki gelişigüzel çarpışmaları ve elmasın bu şekilde oluşmasını kapsar. Fakat nanomakineler söz konusuysa, her şey kati suretle denetim altında olmalı. Hangi molekülün hangi molekülle ne zaman, ne sertlikte temas edeceğini belirleyebilirsiniz. Robert Freitas ile Ralph Merkle, bu süreci kapsamlı şekilde incelemişlerdir.[5] Gelişigüzel gaz molekülü çarpışmalarıyla elmasın ne

---

[3] Geçmişi için Bkz. Robert Hazen, *The Diamond Makers* (Cambridge, Cambridge University Press, 1999).

[4] Alıntı olarak yer aldığı eser: Ivan Amato, *Stuff: The Materials the World Is Made Of* (New York: Basic Books, 1997), s. 154.

[5] Robert A. Freitas Jr. ve Ralph C. Merkle, *Diamond Synthesis and Diamond Mechanosynthesis* (Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2005) ve kişisel görüşmeler.



Şekil 8 Elmas alet. Robert Freitas tarafından tasarlanmış olan bu elmas sentezleme aleti, tepede iki karbon atomlu bileşik barındıran bir elmas öbeğidir. Bu bileşik, sentezlenmekte olan elmas parçanın üzerine yerleştirilir. Robert A. Freitas Jr.'ın izniyle (http://www.rfreitas.com).

kadar kolay yapıldığı düşünülürse, nanomakinelerde basit bir şekilde yapılacağını tahayyül etmemek mümkün değil.

Elmas harika bir inşa malzemesidir. Çelikten beş kat sert, yirmi kat güçlüdür. (Yüksek alaşımlı çelikten bahsediyorum. Elbise askılarının yapıldığı "yumuşak çelikten" ise yüz kat güçlü.) Teflon kadar kaygandır. Isıyı iyi iletir ve elektrik iletiminde sağlam bir yalıtkandır. Bu iki özellik de yapı malzemesi için mükemmel niteliklerdir. Isıyla genleşme payı ise ufaktır. Dolayısıyla, nanomakinelerimizde bol bol elmas kullanıyor olacağız (başka mücevherleri ya da mücevher benzeri malzemeleri de: safir, tungsten, karbit, boron nitrit vesaire). Silindir şekilli elmas öbekleri, millerde gayet işe yarar ve elmas levhalar ise duvarlarda ve payandalarda pekâlâ iş görür.

RULMANLAR

Günümüz makine teknolojisinin en önemli öğesi rulmandır. Bir makine parçasının yapabileceği en basit iş sürekli dönmektir ve rulman bir taraftan bu devinimi mümkün kılarken öte yandan bir kuvvetle aksama destek sağlar. Arabanızda krank mili, kam mili, aks ve tekerlekler hep dönen aksamdır ve bunlara rulmanlar destek olur. Rulmanlar işini yapamazsa, motor gücü, devinime dönüşmek yerine sürtünme tarafından ısıya dönüştürülür, araba da ya tutukluk yapar ya da alev alır.

En basit rulman türü, silindirik rulmandır; bir halka içinden geçen milden ibarettir bu. Mili ve halkayı oluşturan malzeme ne kadar sertse, o kadar iyidir; hassas saatlerde bilyalı rulman kullanılışının gerekçesi budur. Kapı menteşesi, silindirik rulmanlar için bilinen bir örnektir. Tüm makroskopik rulmanlar gibi, birkaç damla yağ sayesinde menteşe daha rahat hareket eder.

Nanoölçekte, yağ molekülleri, kayganlaştırıcı malzeme olarak iş görmekten ziyade gevşek aksam gibi davranır. Öte yandan, makro ölçekte mümkün olmayan bir şey yapabiliriz, yani rulman yüzeylerini atomik hassasiyete kavuşturabiliriz. Fizik yasalarının elverdiği ölçüde pürüzsüz olurlar. Tek tek atomlar yüzünden yine de yüzey "tümsekli" olacaktır, fakat atomlar yumuşak ve kaygandır. Makroskopik ölçekte yaygın kullanılan bir kayganlaştırıcı, grafittir. Grafit, katman katman olan bir karbon biçimidir, her katman aslında tek moleküldür ve atomik açıdan pürüzsüzdür. Katmanlar birbirleri üzerinde rahatlıkla kayar. Nanoölçekte, katmanları yuvarlayıp yekpare bir tüp yapabiliriz. Birbiri içine yuvalanmış bu tarz iki tüp çok hoş bir rulman meydana

getirecektir.

Gerçekten de öyle. Bucky-tüp ya da fullerene nanotüp denen bu tüpler artık laboratuvarlarda üzerinde deney yapılabilecek miktarda, bir parça tesadüfi bir yöntemle üretilebiliyor. Tüplerden biri ötekinin içine yuvalanmışsa, bu yapıya çift duvarlı nanotüp (ÇDNT) denir. Bu gibi nanotüp rulmanların varlığı laboratuvar ortamında ispatlanmıştır; iç tüpün üzerinde yer alan dış tüp hem devir yapar hem de yük taşır.[6]

Nanomakinelerde bol bol grafit rulman kullanılacağından eminim. Fakat grafit rulmanın birkaç sakıncası var. Birincisi, grafit rulmanlar, eksen kuvvetine dirençli değildir: Tüpler kendi etraflarında dönerken düz bir eksen üzerinde kaymaktan kendilerini alamazlar. Bazı uygulamalar için biçilmiş kaftan bir özelliktir bu. Bisikletlerin fren kablolarını düşünün. Kimi uygulamalara ise uygun değildir. Arabanızda aksın ileri geri kaymasını istemezsiniz.

Öteki sorun grafitin yumuşak olmasıdır. Makinelerdeki pek çok uygulama için, rulmanların ve aslında her şeyin mümkün mertebe sert olmasını istersiniz. Kapı menteşeleriniz kauçuktan yapılmış olsaydı, kapı bel verir, zemini çizer ve pervaza çarpardı. Rulmanlar (ve aksam) ne kadar sert olursa, bu parçaların istenilen yere gitme ihtimali o ölçüde yükselir.

Elmastan ve benzer sert kristallerden rulmanlar tasarlayabiliriz (henüz nanoölçekte inşa edemiyoruz), gerçi bilyalı rulmanlar yüzyıllardır hassas saatlerde kullanılıyor. Yüzey atomlarının dizilişine dikkat edilirse, bu rulmanlar dönüşle birlikte epey kayganlaşabilir, fakat grafit rulmanlara göre yatay ve dikey güçlere daha çok direnirler.[7]

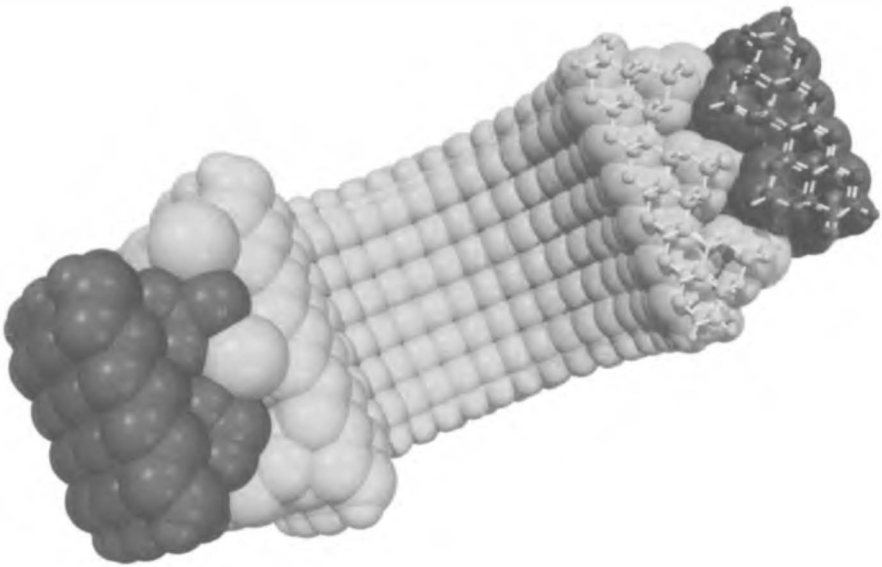
Makroskopik silindirik rulmanlar ucuzdur ve bunları her yerde bulmak mümkün, fakat daha zorlu uygulamalar için bundan daha incelikli rulmanlar kullanılır. Ana sebeplerden biri sürtünmedir. Atom ölçeğinde sürtünme olmaz, fakat sürtünmenin yarattığı sorunlardan bazılarına yol açan etkiler mevcuttur.

Makro ölçekte sürtünme, aşınmaya sebep olur. Uygun şekilde tasarlanmış nanomakineler aşınmayacaktır. Makroskopik aksamın ya da tanelerin yüzeyleri, devinim sırasında birbirleriyle temas ettiği zaman, bu yüzeylerdeki pürüzler malzemeyi yerinden söktüğü

---

[6] Carlo Montemagno (http://www.cnsi.ucla.edu/faculty/montemagno_c.html), bunu yaparak Feynman Ödülünü kazanmıştır (http://www.foresight.org/FI/2004Feynman.html).

[7] Drexler, *Nanosystems*, s. 293-300.



Şekil 9 Moleküler bir silindirlik rulman. Drexler'ın bu bükük-elmas tasarımı hem dikey hem de yatay eksenlerde hatırı sayılır bir bükülme direnci sergiler. Büyük toplar, atomların van der Waals yüzeylerini temsil ediyor; küçük toplar ve çubuklar bağ yapılarını temsil ediyor.

için aşınma gerçekleşir. Düzgün tasarlanan ve üretilen nanomakine, yüzey pürüzleri ya da çıkıntıları barındırmaz. (Bu, nanomakinenin sonsuza kadar dayanacağı anlamına gelmez. Makineye isabet eden kozmik ışın, nanomakineyi tuzla buz etmeye yeter.)[8]

Sürtünmenin bir başka etkisi olan ısınma, endişelenmeniz gereken bir konudur. Atomik pürüzsüzlük, matematiksel bir pürüzsüzlük anlamına gelmez. Dolayısıyla, atomlardan oluşmuş iki yüzey birbiri üzerinde kaydığı zaman, yüzeylerden birinin atomları, öteki yüzeyin atomlarına ve aralarındaki boşluğa dönüşümlü olarak baskı uygulayacaktır. Atomlar birbiri üzerinde hareket ederken bir sürtünme kuvveti oluşmaz; bizzat atomlar eksiksiz bir pürüzsüzlüğe sahiptir. Fakat tümsekli bir yüzeyde ilerleyen atom, aşağı yukarı zıplar ve

[8] Bu durumun, mevcut teknolojiyi ve hayatı etkilediği aklınızda olsun: Kozmik ışınlar, bilgisayarınızın belleğindeki herhangi bir biti silebilir. Fakat bellek, birbirinin yerini tutan öğelerden oluşur ve hataları düzeltme sistemine sahiptir, böylece keşmekeş haline gelen bitler otomatikman hale yola sokulur. Aynısı hücrelerinizdeki DNA molekülleri için de geçerli.

bu zıplama ısı üretir. Parmak boğumlarınızı değdirerek, iki yumruğunuzu birbirine sürtün. Titreşimi kollarınıza kadar hissedersiniz. Bu titreşim, nanomakinelerin enerji kaybını temsil eder.

Temas halindeki yüzeylere farklı bir eğim vererek bu titreşimi epey azaltabilirsiniz, öyle ki yüzeylerden birinin nanometre başına düşen atom sayısı öteki yüzeyinkinden farklı olur. Birkaç makine vidasını birbiri üzerinde kaydırırsanız, bu eğim farkına dair sezgisel bir hisse kavuşabilirsiniz. Aynı eğime sahip iki vida, girintileri birbirine uyunca kilitlenecektir; farklı eğimlere sahip vidalar birbiri üzerinden kayacaktır. Buna rağmen, birbiri üzerinde kayan yüzeylerden de bir parça enerji kaybı yaşanır.

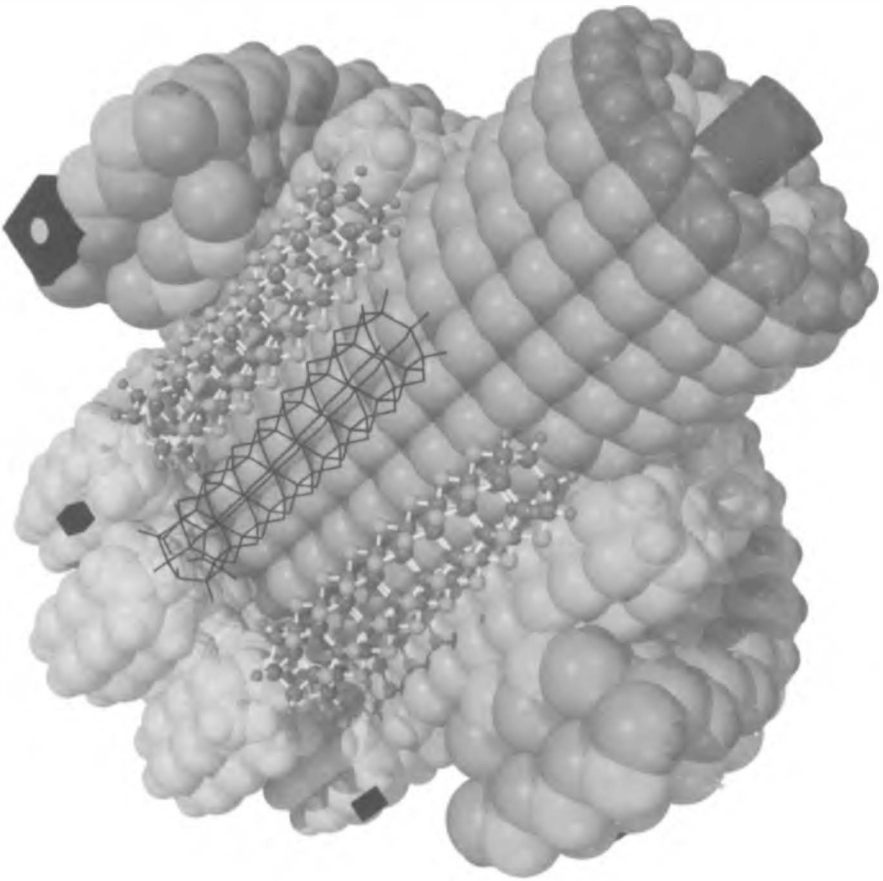
Makro ölçekte, incelikli rulmanlar, bilye ya da makara kullanır. Yüzeyler kaymaz, yuvarlanır. Aynı teknikler nanoölçekte de pekâlâ çalışacaktır. Nanoölçekte elmasın bile kauçukumsu olduğunu unutmayın; o ölçekteki elmas üzerinde yuvarlanmak, somya üzerinde yuvarlanmaya benzer. Tüm düzeneğin titreşmesine yol açarak enerji kaybedersiniz. Fakat bu kayıp da asgariye indirilebilir, özellikle rulmanlar belirli bir hızda hareket etmek üzere tasarlanmışsa. Makine aksamının doğal titreşimi öyle ayarlanır ki bu enerji tekrar mekanik devinime dönüştürülür, böylece ısı olarak kaybedilmez.

Bize gereken bir sonraki makine öğesi dişli çarktır. Burada, atomların tümsekli yapısı fayda getirir. Dişlileri atom ya da atom dizileri olan çarklar yapmak gayet mümkün. Bu uygulamada önemli olan şey, tıpkı makroskopik çarklardaki gibi, dişliler arasındaki eğimin eşleşmesini sağlayıp çarkların birbiri üzerinden kolaylıkla kaymasını engellemektir.

Atomlar yumuşak, elmas kauçukumsu olduğu için, nanoölçekli dişli çarkları sıkıştırabilirsiniz, aslında bunu yapmak zorundasınızdır; oysa makro ölçekli makinede bu hareket, tutukluğa yol açardı. Fakat nanomakinede bu önlem, dişli çarkların desteklenmesini sağlar ve gerekli rulman sayısını azaltır. Aslında kimi tasarımlar söz konusu olduğunda, bir ayrımdan bahsedemeyiz. Nanoölçekte, gezer dişli ile makaralı rulman aynı şey olabilir.

MOTORLAR

Yakıtlı motorlar konusu, kitapta tek başına bir bölüm oluşturmayı hak ediyor diyebiliriz, fakat burada elektrikli motorlardan bahsedeceğiz. Makro ölçekte elektrikli motorlar manyetizma sayesinde çalışır. Tellerden geçen akım manyetik alan yaratır ve manyetik alan, bu



Şekil 10 Gezer dişli. Drexler tarafından tasarlanmış olan bu erken dönem gezer dişli çeşitlemesi, moleküler dinamik tekniği kullanılarak benzetimi yapılmış ilk nanomakine sistemidir.

teller ile akım taşıyan başka teller ya da mıknatıslar arasında fiziksel bir kuvvet uygular.

Maalesef bu yöntem, nanoölçekte işe yaramıyor; yine ölçekleme yasaları yüzünden. Ölçek küçüldükçe, manyetik etkinin gücü azalır. Ama şanslıyız ki elektrik etkisi güçlenir, dolayısıyla manyetizma yerine elektriği kullanacağız. Elektrik etkisi, makro ölçekte bile devinim yaratacak kadar güçlüdür; elbiselerde statik yapışkanlığa yol açan etmen, elektriktir. Nanoölçekteki gücü ise muazzamdır. Aslına bakacak olursanız, atomları ve molekülleri bir arada tutan şey elektrik etkisidir.

Elektrostatik motor tasarlamanın en basit yolu, aşağı yukarı su çarkı tasarımına benzer: Elektronlar yukarı pompalanır, çark üzerindeki kovaları doldururlar, dipte de emilirler. Onları aşağı çeken güç yerçekimi değil, elektronları düşük voltajlı alandan yüksek voltajlı alana iten elektrik kuvvetidir (düşük voltajdan yüksek voltaja doğru, çünkü elektronlar eksi yüklüdür; hep Benjamin Franklin'in marifetleri bunlar).

Motorun gücü, dönme momenti (dönüş kuvveti) ile hızının çarpımına eşittir. Bu tür bir elektrikli motor için, sürtünmeyi falan göz ardı edersek, güç aynı zamanda voltaj çarpı akıma da eşittir. Aslında dönme momenti, voltajla orantılıdır ve hız, akımı belirler: Bu küçük kovalar ne ölçüde hızlı hareket ederse, saniyede o kadar çok elektron taşınır.

Drexler, *Nanosystems* adlı kitabında bu tür bir motoru irdeler.[9] Çarkının çapı 390 nanometre, kalınlığı ise 25 nanometredir. 800 megahertzle (48 milyar devir/dakika) döner. Elektron kovaları yaklaşık Mach 3 hızıyla hareket eder (saatte 3220 kilometreden fazla; motorun iç kısmı boşluklu bir ortama sahip olmalı). Motor, 10 voltta 110 nanoamper akım çeker ve 1,1 mikrovatlık güç üretir.

Ürettiği güç fazla gibi görünmeyebilir, zira motor hayli miniktir. Milyar tanesi 1,1 kilovat üretecek, tükenmez kalem ucuna sığan bir küre boyutunda olacaktır. Büyük bir yolcu uçağı motoruna denk 100.000 beygir gücü üreten motor ise elinizin ayasına sığacaktır.

Bu arada, Drexler'ın tasarımı haddinden fazla iridir, çünkü kombine motor ve volan tasarlıyordu. Düzgün çalışan bir motor on beş kat küçük hacme de sahip olabilir. Sonuçta, nanoteknolojiden faydalanan makroskopik cihazlarda motorlar asla görünür olmayacaktır. Mikroskobik motorlar, tasarımın tüm dokusuna dağılıp, ihtiyacı çok aşan bir fiziksel kuvvet ya da güç üretebilir.

Yüksek hız ve güç yerine hassas konumlamanın gerekli olduğu uygulamalar için, saat motoruna benzeyen step motorlara işaret edilmiştir. Öteki motorlar gibi makroskopik step motorlar da elektromanyetiktir, oysa nano boyutlu step motorlar elektrostatik olacaktır. Böyle bir motoru inşa etmenin yolu, rotordaki elektrik yüklerini ayrıştırmak olacaktır (bunu yapmak kolay; hatta su gibi yaygın bir molekül kendi bünyesinde yük ayrımı vasfı barındırır), böylece rotorun çeperinde artı ve eksi yüklü değişken alanlar belirecektir. Sonra da alternatif akımla yükleyip boşalttığınız elektrotları rotorun çev-

[9] Drexler, *Nanosystems*, s. 336-41.

resine dizin. Bu tür bir motoru çalıştırmak öbür türlü motorları çalıştırmaktan çok daha karmaşıktır, fakat motoru ileri, geri sarabilir, durdurabilir, belirli bir açıda dönmesini sağlayabilirsiniz falan filan. Bugünün robotbilim alanında step motorlar yaygınlıkla kullanılır.

BULUNDUĞUMUZ NOKTADAN OTOJENÖZLÜĞE

Artık motorlara, millere, çarklara ve rulmanlara sahip olduğumuza göre robot kol yapabiliriz. Robot kol esasen, menteşeler üzerinde yer alan bir dizi kutudan oluşur ve her eklemi motorlar hareket ettirir. Genelde motorlar düşük devirde çalıştırılır, böylece tek başına çalışmaya kıyasla daha fazla kuvvet ve daha yüksek hassasiyet (ve dayanıklılık) üretirler. Kavrayıcılara sahip robot kollar (parmak sadece minyatür bir koldur) nesneleri alıp taşıyabilir ve bilhassa, robot kollar da inşa edebilirler.

Fakat gerekli aksamı nereden bulacak?

Makroskopik aksam pek çok farklı şekilde yapılır, dökümden dövmeye (döverek şekil verme), mekanik imalata kadar. Mekanik imalat en pahalı, çoğunlukla da en yavaş yöntemdir, fakat aynı zamanda en düşük hata payı onundur ve yapabilecekleri konusunda en az kısıtlı olandır. Freze tezgâhı ve torna tezgâhı neredeyse her türlü makine parçasını imal edebilir (vida ve dişli çark üretmek için özel ilave aksam gerekir).

Freze ve torna tezgâhları, hayli uzmanlaşmış robot kollar olarak düşünülebilir. Yaptıkları iş, onlara verdiğiniz malzeme öbeğinden istediğiniz şekli bir tür bıçak ağzıyla yontmaktır. Şekli doğru vermeleri için bıçak ağzını çok sıkı tutmaları gerekir. Bunun teknik adı bükülme direncidir; bu direnç, belirli bir güçle karşılaşan bıçak ağzının (ya da her neyse) yerinden ne ölçüde oynayacağını söyler. Bükülme direnci ne ölçüde yüksekse, o kadar iyidir.

Freze tezgâhı, kol gibi görünmez. Tüm eklemler, mekanik hassasiyete sahip, büyük, ağır metal yığınlardır ve hiç titreşmezler. Eğer freze tezgâhı planı üzerinden nanomakine inşa edersek, üretilen parçanın durduğu konuma istinaden aletin çalışırken aldığı konum tam olarak denetlenebilir. Narin robot kollarının monte edeceği aksamı inşa etsin diye yapacağımız makine türü işte budur.

Ancak, arada büyük bir fark var. Klasik freze tezgâhı (ya da torna tezgâhı), malzeme öbeğini alıp istediğiniz aksama benzemeyen her türlü malzemeyi yontarak çalışır. Nanoölçekte, en iyi strateji bunun tam zıddıdır: İstediğiniz aksam atomu atomuna, molekülü molekülü-

ne inşa edilmelidir. Nihai üründe her atomun nerede bulunduğunu böylece tam olarak denetleyebilirsiniz.

Tepkimeyi hassasiyetle denetim altında tutmanın bu yöntemine konumsal kimya ya da mekanosentez denir.[10] Mekanosentez sayesinde milyon atomlu aksam yapıp her atomu doğru konuma yerleştirebileceğiz. Böylece moleküler freze makineleri inşa edip mekanosentez yapabileceğiz. Bizim otojenöz teknolojimiz işte budur.

POMPALAR

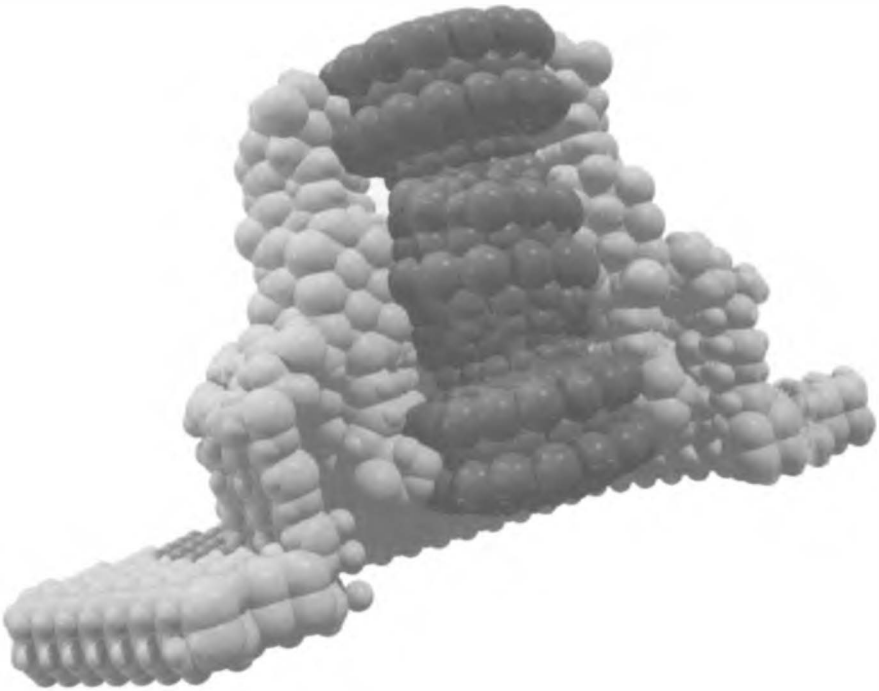
Eski model bir çiftlikte yaşamıyor ve ineklerden sütü kendi ellerinizle sağmıyorsanız, içtiğiniz süt, süt makinesindeki ve müteakip imalat ve işleme aşamalarındaki pek çok pompanın huzurundan geçerek gelir. Artezyen kuyunuz yoksa, içtiğiniz su ya yeraltından pompalanır ya da su yataklarından borular aracılığıyla getirilir. Yaygın kullanılan yakıtlar çoğu zaman rafinerilerden çıkan boru hatlarıyla pompalanıp, depodan depoya aktarılarak benzin istasyonu üzerinden arabanıza ulaşır, arabanın yakıt deposundan da motora pompalanır.

Düşük basınçlı uygulamalarda hava basmak için kullanılan pompalara fan denir. Muhtemelen bilgisayarınızda aleti soğutan fanlar mevcut; evinizin ısıtma sistemindeki fanların görevi sizi ısıtmak ve serinletmektir, ayrıca arabanızda da bir sürü fan bulunur. Tipik bir hidronik ev ısıtma sistemi hem fanlar hem de pompalar içerir.

Sıvı nakletmek ve basıncını ayarlamak, çağdaş teknolojinin önemli bir uygulaması ve zorunluluğudur. Nanomakinelerin de bunu yapması gerekecek.

En azından, makro ölçekli pompa tasarımları nanoölçekte daha iyi çalışacaktır. En basit pompa fandır. Fanlar gürültülü ve verimsiz çalışır, çünkü türbülans yaratırlar. Nanoölçekte türbülans yaratmayacaklardır, çünkü ölçek ne oranda küçülürse, sıvılar o kadar kıvamlı olur. Gazlar söz konusu olduğunda, moleküllerle aşağı yukarı tek tek etkileşime giren fanlar yapılabilir. Gaz molekülleri, birbirleri üzerinden bilardo topu gibi seker ve başka bir moleküle çarpmadan önce belirli bir mesafe uçarlar. Belirli bir basınçta belirli bir gaz için ortalama uçuş mesafesine, ortalama serbest yol denir. Eğer molekülün fan içinden geçen yolunun uzunluğu, ortalama serbest yoldan kısaysa, fan içinde geçen moleküller birbirleri yerine fanla etkileşime girer. Eğer fan kanatçıkları moleküllerden hızlı hareket edebiliyorsa,

[10] *A.g.e.*, s. 191-249.

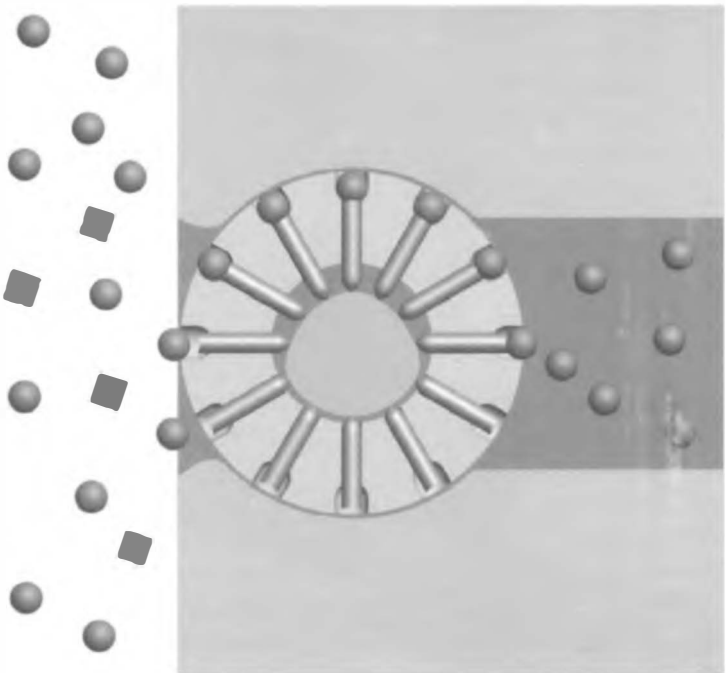


Şekil 11 Neon gazı için pompa. Kesiti gösterilen şey, Drexler ve Merkle tarafından tasarlanmış bir vidalı pompadır.

bir rotor ve sabit bobinle birlikte fan (ya da ters yönlere dönen bir çift fan), on civarında bir sıkışma oranına erişebilir. Sıradan havanın ortalama serbest yolu yaklaşık 60 nanometredir ve ortalama hız, ses hızına yakındır; bir nanofanın kolaylıkla ulaşabileceği rakamlardır bunlar.[11]

Merkezkaç pompası sıvılar için yaygınlıkla kullanılır, ancak ölçekleme yasaları yüzünden nanoölçekte bu pompa tavsiye edilmez. Fakat *pompa* dendiğinde muhtemelen aklınıza gelen pompa türü olan piston ya da pozitif yer değiştirmeli pompa, nanoölçekte işe yaramalıdır.[12] Pozitif yer değiştirmeli pompa, çoğunlukla iki adet tek yönlü kapakçıktan ve içinde bir pistonun yukarı aşağı hareket ettiği bir silindirden meydana gelir. Makro ölçekte bu kapakçıklar genelde

[11] *A.g.e.*, s. 330.
[12] *A.g.e.*, s. 329.



Şekil 12 Tasnif rotoru. Bu çizim, karışımdan belirli bir sıvıyı çıkartan tasnif rotorunu göstermektedir. Her pompa gibi çalışması için enerji gerekli. Küpler, rotor ceplerine sığmayan molekülleri temsil ediyor. Gina Miller'ın izniyle (www.nanoindustries.com).

yaylı kapakçıktır, fakat nanoölçekte bu kapakçıkları pistonla birlikte zaman sıralı bir şekilde mekanik olarak devreye sokmak tercih edilecektir, tıpkı araba motorlarındaki vanalar gibi.

Sıvılarla molekül molekül etkileşime giren pozitif yer değiştirmeli pompalar yapmak mümkün mü? Evet, oldukça şık bir tasarımla bu mümkün. Molekül şekilli oyuklara sahip bir silindir tahayyül edin. Döner kapılar gibi duvara gömülü olsun. Silindir dönerken moleküller içinden geçer, tıpkı insanların döner kapılardan geçmesi gibi. Fakat burada işin püf noktası, her oyuğun dibindeki küçük pistonun, duruma göre molekülü ya oyuktan dışarı itmesi ya da geri çekilip yeni molekülü içeri bırakmasıdır.

Belirli bir molekülün tam sığacağı oyuklar yaparak, oyukları o molekül türü için çok daha cazip hale getirmek mümkün. Bedeninizdeki moleküler makinelerin büyük kısmı bu şekilde çalışır; örneğin, hemoglobin molekülleri oksijen moleküllerini bu şekilde yakalayıp kırmızı kan hücrelerinizde taşır. Belli bir molekül türünü kuvvetle

tercih eden oyuklar sayesinde, istenen sıvı çözeltiden dışarı pompalanabilir; örneğin havadan oksijen, deniz suyundan tatlı su uzaklaştırılabilir. Bu tarz bir seçici pompaya, moleküler tasnif rotoru denir.[13]

NANODEVRELER

Radyo yayını ve ışık, elektromanyetik alan ortamında oluşan dalgalardır. Tek farkları, dalga boyları, dolayısıyla frekanslarıdır. Yeterince hızlı nanoşalterlerle ve uygun boyutta antenlerle, bugün radyo dalgalarını idare edebildiğimiz rahatlıkla ışığı da idare edebilmeliyiz.

Örneğin günümüzde radarlar için faz sıralı antenler kullanılır. Antenlerden oluşan yatay sıra, her küçük antenin faza uyması sağlanarak istenilen istikamette yol alacak bir ışın üretebilir. Dahası, mercek ya da ayna yardımı olmaksızın, gelen ışının yönünü tespit edebilir. Özünde bu, mikrodalga frekansına sahip, denetlenebilir bir hologramdır.

Nanoelektronik ve nanoantenler söz konusu olduğunda, aynı şeyi ışıkla da yapabilmeliyiz; faz sıralı optik mümkün olmalıdır.[14] Nesnenin yüzeyini optik antenlerle kaplarsanız, ışığın yansıtılmasıyla ya da soğurulmasıyla ilgili her türlü özelliğe kavuşabilir ya da bütünüyle sentetik bir desen yaratarak, istediğiniz herhangi bir şey gibi görünmesini sağlayabilirsiniz. Böylece yokluğunda bile bir imge sunmasını temin edebilir, onu fiilen görünmez kılabilirsiniz.

Anten yapmak ve şalterleri bağlamak için tellere ihtiyacınız var. Makro boyutlu teller genelde metalden yapılır. Metal elektriği iletir, çünkü metal elektronları (en azından bir kısmı), örneğin elmastakilerin aksine, belirli atom çekirdeklerine ya da belirli kimyasal bağlara kazık çakmış değildir; bunun yerine, tüm geçici elektrik alanlarının emrine amade olup etrafta başıboş gezinirler. Grafit elektriği iletir, çünkü elektronları başıboş dolaşabilir, fakat sadece belirli bir katmanın içinde. Rulo şeklinde yuvarlanmış grafit, yani nanotüpler, yapılarına göre elektriği iletir ya da iletemez. Çeşitli moleküllerde, elektronların hareket edebileceği alanlar vardır. Bu alanlar, farklı frekansları olan optik antenler gibi davranır, farklı maddelerin farklı renklere sahip olmasının ve ışığı farklı oranlarda yansıtmasının sebebi budur.

---

[13] *A.g.e.*, s. 374.

[14] Brian Wowk, "Phased Array Optics," şu kitaptadır: *Nanotechnology: Research and Perspectives*, B. C. Crandall (ed.) (Cambridge, MA: MIT Press, 1996), s. 147 vd.

Nanoölçekli iletken yollar, metal teller döşemenin ötesinde çeşitli yöntemlerle yapılabilir, fakat metal teller de iş görecektir. Öteki yöntemler ise ancak farklı seçenekler olarak görülebilir.

Kimi atom dizilişleri, süperiletkenleri oluşturur; yani hiç elektrik direnci olmayan malzeme meydana getirirler. Mevcut kimyanın imkânlarıyla süperiletkenler, istatistiki karışımlar uyarınca yapılabildiği için, atomları istenilen özgül desenlerde yerleştirmemize izin veren bir teknolojiyle daha iyilerini yapabilmemiz hayli olasıdır. Süperiletken teller, nanoölçekte yararlı olacaktır, çünkü sıradan teller inceldikçe elektrik dirençleri artar. Fakat süperiletken teller faydalı olabilecek kadar ince imal edilebilir mi sorusunun yanıtlanması gerekiyor.

TOPARLARKEN

Makro ölçekli makinelerin çoğu öğesi, yani aksamı ve mekanizmaları, molekül boyutunda çalışacak şekilde ölçeklenebilir, örneğin silindirik rulmanlar gibi, ya da elektrikli motorlar gibi yeniden tasarlanabilirler. Merkezkaç pompaları gibi ölçeklenemeyen makinelerin ikameleri bulunabilir, üstelik tasnif rotorları gibi makro boyutta koşutu bulunmayan pek çok yeni tasarım da mevcuttur. Geniş bir beceri ve uygulama yelpazesine sahip nanoölçekli makine sistemleri, bilhassa da imalat sistemleri tasarlayıp üretebilecek olmayı gönül rahatlığıyla umabiliriz.



ALTINCI BÖLÜM

MAKİNELER
Moleküler Makineleri Çalıştırmak

Gottes Muhlen mahlen langsam mahlen aber trefflich klein
Ob auss Langmuth er sich seumet bringt mit Scharff er alles ein.
(Tanrının değirmenleri yavaş öğütür, ancak fevkalade küçük öğütür,
Tanrı sabırla bekler, her şeyi tamı tamına öğütmeden bırakmaz)
Friedrich, Freiherr von Logau,
Deutscher Sinngedichte Drey Tausend

İlk buharlı makineyi 1712 yılında Birmingham'da Thomas Newcomen inşa etmişti.[1] Etkileyici bir gelişmeydi bu; üç kat yüksekliğindeydi ve atların yaptığı işi yapıyordu. Newcomen makinesi, bir önceki yüzyıl Galileo'nun, Torricelli'nin, Pascal'ın vs. atmosferi keşfetmesiyle mümkün olmuştu. Atmosferin keşfedilmesi gerekliliği bize tuhaf gelir doğrusu; atmosferi doğal addederiz. Fakat bir hava okyanusunun dibinde durduğumuz düşüncesi ve havanın metrekareye uyguladığı basıncın, atmosferin tepesine kadar uzanan bir metrekarelik hava sütunun ağırlığına eşit olması, Aristoteles'i ya da Aziz Augustinus'u hayrete düşürürdü.

Newcomen makinesi, bu atmosfer basıncının doğrudan eylemi sonucunda çalışıyordu. Silindir içindeki hava, buhar sayesinde dışarı itiliyordu. Sonra buhar, soğutucu püskürtülerek suya çevriliyor, silindir içinde boşluk yaratılıyordu; boşluk da pistonu aşağı çekiyordu.

Doğru bir çıkrık düzeneği sayesinde tek at, sonsuza kadar sürdürebileceği çalışma temposuyla, bir dakika içinde 450 kilogramlık ağırlığı on metre yukarı kaldırabilir. Tek atın yarım saatte yaptığı işi,

[1] Tarihçilerin doğru bir betimlemesi üzerinde fikir birliğine vardığı ve kendi zamanında taklit edilip geliştirilecek kadar iyi bilinen ilk buharlı makine.

otuz at bir dakikada yapabilir; her halükârda üretilen işin niceliği, 140.000 metre-kilogramdır. Newcomen'in buhar makinesi, bir kile kömür yakılması karşılığında 690.000 metre-kilogramlık iş üretebiliyordu.

Newcomen'in makinesi, dünyayı değiştiren bir teknoloji harikasıydı ve buluştu, fakat çok da verimli sayılmazdı. Temel tasarım üzerinde yapılan oynamalarla ve ayarlamalarla, on sekizinci yüzyılın ortasına gelindiğinde Newcomen makineleri, bir kile kömür karşılığında 1.240.000 metre-kilogramlık iş üretir hale gelmişti.[2]

Sonra sahneye İskoçyalı James Watt çıktı. 1769'un ocak ayında patentini aldığı gelişmiş buhar makinesi, Newcomen makinesinin en büyük verimsizliklerinden birini defetmeyi başarmıştı.[3] Newcomen makinesinde işi yapan silindir her seferinde, buharı çökeltmek ve boşluk yaratmak için önce soğutulmalı sonra da taze bir buhar dalgasıyla yeniden ısıtılmalıydı. Watt, daima soğuk kalan yeni bir yoğunlaştırıcı birim eklemişti, böylece silindir sıcak kalabiliyordu. Watt'ın makinesi büyük bir gelişimdi; bir kile kömür başına 3.870.000 metre-kilogramlık iş üretiyordu. Artık buhar makinesi ekonomik bakımdan su çarkıyla rekabet eder hale gelmişti. Su çarkını çalıştırmak için kömür satın almak gerekmese de, suyun üç metre yükseklikten düşmesi için makul uzunlukta bir akıntı gerekiyordu, hatta altı metrelik bir yükseklik bulmak daha da iyi sonuç veriyordu. Oysa buhar makinesi sayesinde, herhangi bir yere işlik kurulabiliyordu.

Belirli bir kömür miktarı karşılığında buhar makinesiyle elde edilen iş miktarındaki büyük değişikliği sağlayan etkenlerden biri, makinenin yapımı aşamasında gösterilen hassasiyetti. Yüksek hassasiyet, daha az sürtünme, ek noktalardan ve vanalardan daha az buhar sızması ve hepsinden önemlisi daha yüksek güvenirlik anlamına geliyordu. 1750'de neredeyse her şeyin elle yapıldığı bir teknolojiden, makine tezgâhı sanayisinin devreye girdiği 1800'lerin ilk yarısına kadar madeni eşya yapımının hassasiyeti ve randımanı muazzam gelişme göstermiştir.

Ayrıca, 1800'lerin başında yeni bir buhar teknolojisi gündeme geldi, çünkü Watt'ın patenti miadını doldurmuştu. Watt, yüksek

---

[2] Buhar makinesinin gelişiminin kronolojisi için: D. S. L. Cardwell, *Turning Points in Western Technology* (New York: SHP/Neale Watson, 1972).

[3] *A.g.e.*, s. 84 vd. Cardwell 1769 yılını Annus Mirabilis (İyi Talih Yılı) olarak niteler: Watt'ın patenti, o sene yapılmış ufuk açıcı pek çok gelişmeden sadece bir tanesiydi.

basınçlı buharla hiç ilgilenmemişti. Bunun muhtemelen sağlam bir sebebi vardı, çünkü Watt'ın mühendislik içgüdülerini şekillendiren teknoloji, yüksek sıcaklıklarda yüksek basınçlarla uğraşacak kadar güçlü ya da hassas değildi. Fakat 1800'lerin ilk yarısında, imalat ve metalürji alanlarında yeterince ilerleme kaydedildi, öyle ki başını Arthur Woolf'un çektiği yeni bir mühendisler kuşağı, pistonu hava boşluğuyla çekmek yerine buhar basıncıyla iten makineleri başarıyla inşa etmesini bildi.[4] Bunun ivedi neticesi, motorların küçülmesi olmuştur; küçük pistonu iten yüksek basınç, aynı miktarda güç üretebilir. Dahası, kullanılan buharın havaya karışmasına izin vererek yoğunlaştırıcı birimi makineden atabildiler. 1804 yılında Woolf'un iki aşamalı basınç makinesi, bir kile kömür karşılığında 7.740.000 metre-kilogram iş üretebiliyordu.

> Şehre varışımızdan kısa süre sonra kömür rıhtımına gittik. Burada, buharlı lokomotiflerin çektiği, altı İngiliz mili ötedeki madenlerden rıhtıma kömür taşıyan vagonların gelişini seyrediyoruz. Sayısız duman sütununun kırsalda dolana dolana ilerlemesi ilginç bir manzara oluşturuyor. Dumanlar yaklaştıkça hepsini ayrı ayrı görmeye başlıyoruz, nihayet duman sütunuyla birlikte bunun hangi vagondan yükseldiğini de seçebildiğimiz mesafeye geliyorlar. Artlarında, birbirine benzeyen vagonların oluşturduğu uzun katarlarla korkunç sürüngenleri andırıyorlar.
>
> 1816'da Leeds'i ziyaret eden bir Alman seyyah
> *Turning Points in Western Technology* kitabından

Küçük, verimli makinelerin uygulamadaki büyük getirisi, tekne ya da vagon gibi araçların üzerine takılabilmeleridir. Buharlı makineler yalnız fabrikalara değil, aynı zamanda taşımacılığa da enerji tedarik etmiştir. Yeni filizlenen imalat tezgâhları sanayisi çeşitli makinelere hassas parçalar temin etmiştir, özellikle de *spinning jenny*[5] ve mekanik dokuma tezgâhı için. Yüzyıl içinde İngiltere, özünde her şeyin el emeğiyle yapıldığı tarım toplumundan, seri imalat için mekanik enerji kullanan muazzam bir imalat işkoluna sahip topluma dönüşmüştü. Demiryollarının taşımacılığı ucuzlatıp hızlandırması sayesinde bütünleşik bir ulusal ekonomi kurulabilmişti. İşte sanayi devrimi buydu.

Bu esnada mühendisler buhar makinesini geliştirmekten, iyileş-

---

[4] Woolf, Cornwall'daki mühendislik yuvasının öncü ışıklarından biriydi. O zamanının Cornwall'unu günümüzün Silikon Vadisine benzetebiliriz.

[5] Spinning jenny: James Hargreaves'in icat ettiği ve karısının adını verdiği, elle çalışan birden fazla bobinli ve kasnaklı iplik tezgâhı —*çev. notu.*

tirmekten geri durmuyordu. 1835'e gelindiğinde, buhar makineleri konusunda o günlerin önde gelen bölgesi olan Cornwall'da makineler bir kile kömür başına 17.280.000 metre-kilogram iş üretebiliyordu.

ÖYLE BEDAVAYA YEMEK YOK

Buhar makinelerinin verimindeki bu iyileşmenin tarihi düşünüldüğünde, felsefeye eğilimli mühendislerin, acaba bu sürecin bir sınırı var mıdır diye merak etmesi doğaldı. Bunlar arasında genç Fransız mühendis Sadi Carnot da vardı. 1824 yılında *Réflexions sur la puissance motrice du feu*[6] [Ateşin Hareket Gücüne Dair Düşünceler] başlıklı kısa bir kitap neşretti. Bu kitapla birlikte termodinamik bilimini kurmuş oldu.

Isı makineleri hakkındaki bilgiyi sistemleştiren Carnot, bu makinelerin sırf ısı kaynağı sayesinde değil, sıcaklık farkı sayesinde çalıştığına işaret etmişti: Bir buhar okyanusunun ortasındaki makine, buhardan hiç güç alamaz. Bunun önemli bir neticesi var: Makinelerde, sıcaklık farkı yüzünden gerçekleşen her ısı iletimi bir verimsizlik kaynağıdır. Buharı 500 dereceye ısıtmak için 1000 derecelik ateş kullanmışsanız, kuramsal olarak, ateş ile buhar arasına ayrı bir makine yerleştirip ondan ilave enerji elde edebilir, bu esnada asıl makinenizi de çalıştırabilirsiniz. Dolayısıyla, verimli makineler, sıcaklık düşüşü yaşamaksızın ısı nakletmelidir. Bu olmayacak bir işmiş gibi görünebilir, çünkü ısı nakillerinin sıcaklık farkıyla ilişkili olmasını bekleriz. Fakat aracı akışkan ile ısı kaynağının aynı sıcaklıkta temas ettirilmesiyle, ayrıca normalde sıvının ısınmasına ya da soğumasına yol açacak şekilde sıvının genleştirilmesiyle ya da sıkıştırılmasıyla, bu işi makul hale getirebiliriz; bu şekilde ısı, normalin aksine içeri ya da dışarı akacaktır.

Örnek: Bir bisiklet pompasını tıpayla kapayın ve pompanın pistonunu aşağı bastırın. Pompa ısınacaktır. Pompayı su kovasına batırırsanız, ısı, sıcak pompadan soğuk suya geçecektir. Şimdi pompayı sudan çıkarın ve pistonun yukarı çıkmasına izin verin. Pompa soğuyacaktır. Tekrar suya daldırın, ısı pompaya geri akacaktır. Fakat piston yukarı çıktığında elde ettiğiniz işin miktarı, pistonu bastırırken

---

[6] Sadi Carnot, *Reflections on the Motive Power of Fire* (Paris, 1824: tekrar baskısı, New York: Dover, 1960). Ayrıca bkz. Henry Bent, *The Second Law: An Introduction to Classical and Statistical Thermodynamics* (New York: Oxford University Press, 1965), s. 59-63.

harcadığınız işin miktarından azdır.

Şimdi, ilk önce pompayı suya daldırın. Pistonu aşağı bastırarak suyu bir miktar ısıtın, fakat pompa ve su yaklaşık aynı sıcaklıkta kalsın. Gerisine müdahale etmeyin: Pompa ve su bir nebze soğuyacaktır, ancak harcadığınız enerjinin önemli bir kesitini geri kazanırsınız. (Kuramsal olarak, eğer pompa sürtünmesiz olsa ve pistonu sıcaklık farkı oluşmasına mahal vermeyecek kadar yavaş bir hızla itseniz, enerjinin neredeyse tümünü geri kazanmak mümkündür.)

Bunun gibi eşısıl bir ısı nakli (sıcaklık düşüşü olmaksızın) için, tersinir nitelemesi yapılır, çünkü, düşünce deneyimizde olduğu gibi, enerji kaybetmeksizin iki yönde de ısı nakli gerçekleşebilir. Sıvının yalıtılması sayesinde, ısınma ya da soğuma sırasında sıkışma ve genleşme süreci de tersinir olabilir. Isının çevreye sızmasını elbette istemezsiniz. Isı akışına karşı mutlak yalıtıma sahip süreçler için mühendislerin kullandığı teknik kelime *adyabatik*'tir. Metal silindir ve piston benzeri teknolojiler için hiçbir tersinir süreç türü mümkün değildir, fakat tersinir süreçler, kuramsal olarak en iyi çalışan ısı makinesine açılan yolu Carnot'ya göstermişti.

Nasıl çalıştığına bakalım. Birinde sıcak, öbüründe soğuk su olan iki kovamız var. Sıcak kovadan soğuk kovaya ısı naklederek iş üretmek istiyoruz. Kovaların dışındayken bisiklet pompamızın tamamen yalıtılmış halde olduğunu varsayacağız. Başlangıçta pompa pistonu yarısına kadar basılı ve pompa soğuk su kovasında duruyor diyelim.

1. (Adyabatik sıkışma) Pompayı soğuk su kovasından çıkarın ve sıcak su kovasının sıcaklığına kavuşana kadar pistonu bastırın.
2. (Eşısıl genleşme) Pompayı sıcak su kovasına sokun ve pistonun yarısına kadar yukarı çıkmasına izin verin.
3. (Adyabatik genleşme) Pompayı dışarı çıkarın ve pistonun en tepeye kadar çıkmasına izin verin; pompanın sıcaklığı, soğuk su kovasının sıcaklığına düşsün.
4. (Eşısıl sıkışma) Pompayı soğuk su kovasına koyun ve pistonu yarısına kadar bastırın.

Sabunlayın. Arıtın. Tekrarlayın.

Birinci ve dördüncü adımlarda pompaya iş yüklediniz, fakat ikinci ve üçüncü adımlarda daha fazlasını elde ettiniz. Bunun sebebi, adyabatik adımlarda basıncın büyük oranda yükselip düşmesi, fakat eşısıl adımlarda aşağı yukarı sabit kalmasıdır. Dolayısıyla, ikinci aşamada elde ettiğiniz işin miktarı, dördüncü adımda pompaya yüklediğiniz işten fazladır, bu esnada birinci ve üçüncü adımlar birbirlerini

hemen hemen denkleştirir. Başladığınız yerde bitirdiğiniz için, sıcak kova soğuk kovadan sıcak olduğu müddetçe bunu tekrarlayabilir, her döngüde iş elde edebilirsiniz.

Bu noktada Carnot, her adımın tersinir olduğunu da belirtir. Yani bütün süreci tersine çevirebilirsiniz, sıcak kovada sıkışma, soğuk kovada genleşme sağlayabilirsiniz. Bu durumda, elde ettiğinizden daha fazla iş harcamanız gerekir, fakat soğuk kovadan sıcak kovaya ısı pompalamış olursunuz. Başka bir deyişle, ısı makinesi, tersten bir ısı pompasıdır; tersinir ısı makinesi-pompası belirli bir iş miktarı karşılığında aynı miktarda ısı pompalayabilir, tıpkı belirli bir ısı miktarı karşılığında aynı miktarda iş üretebileceği gibi.

Carnot, tersinir bir makineden daha verimli olan bir ısı makinesi tahayyül edin diyerek sözlerini sürdürür. Yani aynı ısı miktarı karşılığında daha fazla iş üreten bir makine düşünün. Bu makineyi, pompa olarak kullanılan tersinir bir makineye tutturun ki bu pompa sıcaktan soğuğa geçerken kullanılan tüm ısıyı soğuktan sıcağa geri pompalayabilsin; böylece bir miktar ilave iş de elde edersiniz. Başka bir deyişle, hiç yoktan iş elde edersiniz. Carnot'nun tipik Galyalı sezgisiyle belirttiği gibi bu durum, "bilime ve sağduyuya aykırıdır."[7]

Böylece sanayi devrimi doğmuş oldu. Devrimsel olan kısmı, bu sürecin başlangıcıydı, tüm akışı değil. Sanayi devriminin belirlediği pek çok temayül bugün hâlâ sürüyor. Bir tanesi, makinelerin iyileştirilmesidir. Bir makine ne kadar küçük ve güçlüyse, o kadar faydalıdır. Newcomen makinesinin özgün hali, kömür madeninden su boşaltma işi dışında pek kullanılamazdı. Bu makine öyle çok kömür tüketiyordu ki hiç hesaplı olamazdı. Watt makinelerinden tüm ülkede fabrikaların enerji kaynağı olarak faydalanılmıştı; Woolf makinesi ise atlı arabalara yerleştirilip atların yerini alacaktı. 1900 yılına gelindiğinde, buhar makineleri kara taşıtlarına takılacak kadar hafiflemişti; Stanley Buharlısı adlı taşıt, gazolinli motorlara pahalı bir sürüş imkânı tanımıştı. Fakat taşıtlar söz konusu olduğunda, hava ve aracı-akışkan olarak gazlı yanma ürünleri kullanan ısı motorları buharlı motorlara tercih edilmiştir ve yirminci yüzyılda bu motorlar hüküm sürmüştür. İşe yarar hiçbir uçak buharla çalışmış değildir. Yirminci yüzyılın ortasına gelindiğinde, çoğu zorlu uygulamada pistonlu makinelerin yerini gaz türbinleri almıştı. Yüzyılın ilk yarısı boyunca buhar türbinlerinin, gemiler gibi uygulamalarda buhar pistonlarının mirasçısı olduğunu ve bugün sabit enerji santrallerinde

[7] Cardwell, *Turning Points*, s. 133.

hâlâ kullanıldıklarını unutmayalım.

Bunun sebebi Carnot'dur. Sabit enerji santralinde ana kaygı verimliliktir. Ağırlık mesele değilse, buharla herhangi bir aracı-akışkan kadar verim elde edersiniz. Aslında, buharlı enerji santrali, arabanızdaki gazolinli motordan kayda değer ölçüde verimlidir. Fakat arabalar için hafiflik önemli bir konudur. Hatta uçaklar ya da uzay gemileri için daha da önemlidir. Günümüzde motorların tepe noktası, roket motorudur. Modern roket motorunun yaklaşık otuz gramı, Newcomen'in üç kat yüksekliğindeki koca makinesinden daha fazla enerji üretir.

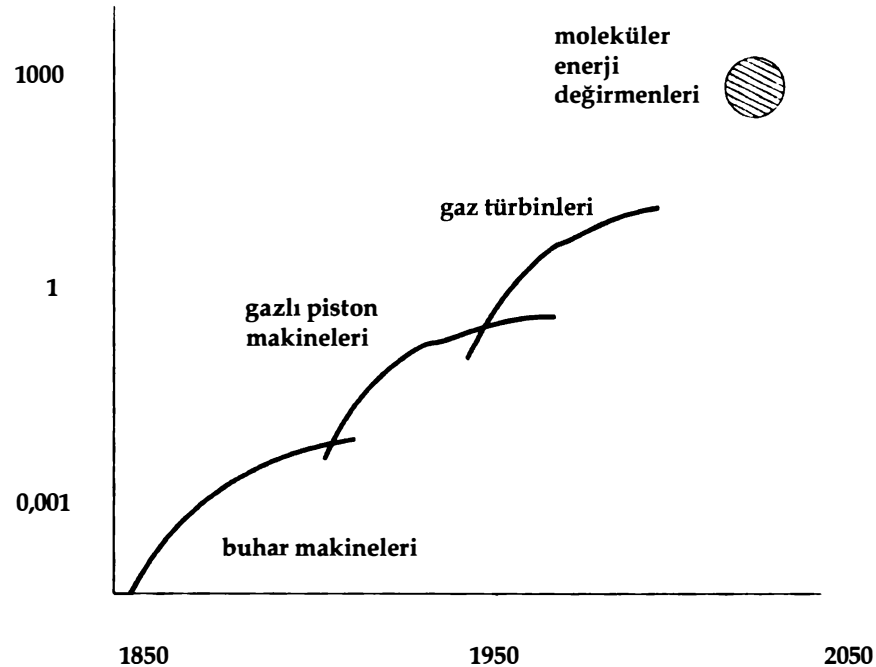
Makine gelişiminin üç yüz yıllık tarihinde, birbiriyle çakışan iki temayül görülebilir. Birincisi şudur: Herhangi bir makine türünün geliştirilmesi kapsamında, verim ve enerji yükselişi üstel bir eğri izler, fakat sonra bu makine türü, termodinamik yasalarının dayattığı kuramsal sınırlara yaklaştıkça yükseliş yavaşlayıp durma noktasına gelir. İkinci temayül ise, durmadan yeni motor türlerinin icat edilmesidir. Enerji-ağırlık oranı, en küçük motorun boyutu, en büyük motorun toplam gücü vesaire gibi kimi değer katsayılarına göre farklı motor türlerinin eğrileri bir araya getirildiğinde tek, kesintisiz, üç yüz yıllık bir eğim çizgisi meydana getirir ki bu eğimin kendisi de üstel bir artış sergilemektedir.

Örneğin, buhar pistonlarını, buhar türbinlerini, gazolin pistonlarını, gaz türbinlerini ve roket motorlarını ele alırsak, Newcomen makinesinden uzay mekiğine kadar hepsini, yumuşak bir artış gösteren güç-ağırlık eğrisi üzerinde sıralayabiliriz. Bu, bir parça nitel bir durumdur, çünkü makinenin bedeli, teknolojiyi ne kadar ileri götürdüğü, onun yerine hangi seçeneklerin devreye sokulabileceği hesaba katılmak zorundadır. Fakat geniş kapsamlı genel gidişat gözden kaçırılacak gibi değil. Bu gidişata göre, gelecek otuz yılı son üç yüz yıldan bütünüyle farklı kılacak gerçekten köklü bir hadise olmadığı müddetçe, nanoteknolojinin öngördüğü güç-ağırlık oranlarını, büyüklüklerini, boyutsal hata paylarını vb. barındıran makinelerimiz olacak.

Geçen her yılla birlikte makinelerin verimi de artıyor. Bu, termodinamik yasalarının ihlal edildiği anlamına gelmez, yasadaki boşluklardan faydalanıldığını gösterir.[8] Sıcak ve soğuk su kovaları

[8] Isı makinelerinde verim, mutlak (Kelvin) ölçekte sıcaklık düşüşünün yüksek sıcaklığa oranıyla sınırlıdır. Fakat söz konusu cihaz bir ısı makinesi değilse, bu kural da geçerli olmaz.

Libre başına beygirgücü



Şekil 13 Makinelerin seyri. Buhar emmeli pistonlar, buhar basınçlı pistonlar, buhar türbinleri, içten yanmalı pistonlar, gaz türbinleri ve sıvı yakıtlı roketler gibi en az altı farklı teknolojik gelişmeden geçen makinelerin güç-ağırlık oranı yaklaşık iki yüz yıl boyunca sabit bir üstel artış göstermiştir.

arasındaki fark ne kadar büyükse, makine o kadar verimli çalışır. Malzemelerin iyileşmesi, ayrıca jet motorunda hava perdesi kullanarak yanma hücresinin duvarlarına alevin temas etmesini engellemek gibi zekice numaralar, sıcak kovanın sıcaklığının git gide artmasını sağlamıştır.

Fakat nanoteknoloji söz konusu olduğunda, meseleyi ustalıkla idare etmek mümkün olabilir. Nihayetinde, makinelerin yüzde yüz verimli olamayacağını söyleyen bir yasa yok; bazı elektrikli motorlar bu seviyeye oldukça yaklaşıyor. Bunu, ısı makineleri oldukları için değil, farklı ilkelerden faydalandıkları için başarıyorlar. Voltaj farklarını ve elektrik akımını mekanik kuvvetlere çevirmek için elektro-

manyetizma yasalarından yararlanırlar. Yakıt ve oksijen tarafından temsil edilen kimyasal enerjinin, moleküler seviyede, bir elektromanyetik potansiyel vakası olduğu anlaşılıyor. Dolayısıyla, bu potansiyelleri mekanik kuvvete çevirebilen cihaza temelde itiraz olamaz.

Böyle bir moleküler enerji değirmeni, tam verime yaklaşmak için tersinir olmak zorundadır. Carnot'ya göre, sıcak bir maddenin soğuk maddeye dokunmasına izin veremezsiniz, yoksa geri döndürülemez bir ısı akışı gerçekleşir. Mevcut makinelerde yanma işlemi elbette geri döndürülemez niteliklidir; sıcak buharı alıp sıkıştırarak soğuk oksijen ve hidrojen elde edemezsiniz. Ancak moleküler enerji değirmeni söz konusu olduğunda, hidrojeni ve oksijeni ön taraftan verirsiniz, değirmen kendi milini döndürür ve oda sıcaklığındaki su arka taraftan dışarı çıkar.[9] Bu süreç, hadiseye katılan tüm moleküllerin kendi yerlerinde tutulmasıyla birlikte esasen aynı sıcaklıkta gerçekleşecektir. Düzeneği suyla besleyin, mile enerji tedarik edin, böylece oksijen ve hidrojen elde edersiniz. Hücrenin moleküler makineleri tarafından icra edilen pek çok kimyasal tepkimenin tersinir olduğunu belirtelim.

Bir seçenek olarak, değirmenin enerji girdi/çıktısı, yakıt hücresindeki gibi elektrik de olabilir; günümüzde yakıt hücreleri yaklaşık yüzde altmış verime sahiptir, fakat oldukça ağırdırlar. Güç değirmenleri, teknoloji eğiminin uzak ucunu temsil edecektir. Tersinir bir değirmenin elde edilmesinin ardından, enerji depolama mekanizması oluşturmak için bu değirmen bir hidrojen deposuyla birleştirilebilir. Bugünün araba pilleri, bir kilogram ağırlık başına bir megajulün altıda biri kadar enerji depoluyor; en iyi lityum pilleri yarım megajule kadar çıkar. Gazolin, kilogram başına 42 megajul sağlar, fakat bir araba motoruyla bunun ancak 8 megajulünü kullanabilirsiniz, gerisi ısı olarak atılır. Hidrojen ise 120 megajul enerjiye denktir.

Başka bir deyişle, New York'tan Miami'ye, gazolin yakan pistonlu motora sahip hafif bir uçakla uçuyorsanız, 250 kilogram yakıt taşımanız gerekir, fakat hidrojen enerjili tersinir motor sadece 17 kilogram yakıta ihtiyaç duyacaktır.

Yalnız bir sorun var: 17 kilogram hidrojen, Newcomen'in özgün üç katlı buhar makinesi boyutunda bir balonu doldurur. Aslında taşınacak 204 kilogram ağırlık demektir! Fakat bu düzenek öyle kullanışsız olur ki başa çıkılamaz. Hidrojenin daha sıkışık istiflenmesi gerekli; dolayısıyla, motoru temin etmenin yanı sıra nanoteknoloji,

---

[9] K. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation* (New York: Wiley, 1992), s. 397-98.

yakıt deposu için de gerekli olacak. Şu an için hidrojen, sıkıştırılmış ya da sıvılaştırılmış halde istiflenmektedir. Basınçlı tanklar, istifleyebildikleri hidrojen miktarına kıyasla ağırdır ve sıvılaştırma ise mevcut teknolojiyle rahatça yapılacak bir işlem değildir, dolayısıyla gaz haline göre sıvı hidrojenin masrafı üç kattır. Nanotek soğutma ve yalıtma teknolojisinin kayda değer bir faydası dokunabilir. (Öteki sıvılara kıyasla sıvı hidrojenin oldukça hafif olduğunu unutmayın, dolayısıyla hidrojen tankı hem gazolin deposuyla aynı boyutta olacaktır hem de gazolin deposunun ağırlığının ancak yüzde yedisi kadar ağır olacaktır.)

Makinenin boyutunu öngörmek çok daha zor, fakat moleküler imalat sistemlerine dair tahminlere bakarak yaklaşık bir rakam elde edebiliriz. Yakıtla çalışan makine, moleküler ölçekli bir imalat sistemidir: Girdi olarak hidrojen ve oksijen hammaddesi sokar, çıktı olarak su molekülleri verir. Drexler'ın *Nanosystems* kitabından aldığımız rakamları kullanırsak, arabaların ya da hafif uçakların kullandıklarına benzer 100 kilovatlık motorun, yaklaşık 50 gram geleceğini tahmin edebiliriz.[10]

NANODÜNYANIN ENERJİSİNİ TEMİN ETMEK

Üç katlı bina boyutunda olan Newcomen makinesi, günümüzün çim biçme makinelerinin motoru kadar güç sağlıyordu ve yakıt tüketimi o kadar fazlaydı ki ancak bir kömür madeninde kullanılabiliyordu. Nanoteknolojinin inşa edeceği makineler, mevcut elektrik santrallerimizin kaba saba, verimsiz ve bir o kadar zayıf görünmesine yol açacaktır. Arabanızın motoruna eşdeğer bir makinenin cep çakısından küçük ve hafif olabileceğini bilmek ayrı, isterseniz cep çakınızın elli elektrikli testere gücüne kavuşabileceğini bilmek ayrıdır. (Kullanım alanı da elektrikli testerelerin ulaşamayacağı yerlere uzanır; katlanabilir, güçlü, ağaç kesebilen bir bıçak, moleküler mühendisliğin malzemeleri ve makineleri söz konusu olduğu zaman oldukça yalın bir tasarımdır.)

Kitabın ileriki sayfalarında karşımıza çıkacak uçan arabalarla ilgili mühendislik hesaplamalarını yaparken komik bir şey oldu. Mevcut uçan taşıt tasarımlarının bir derlemesini oluşturmuş, bilimkurgudan da birkaç tane uçan araba tasarımı almıştım. Genelde ciddi kurgusal tasarımlar, gerçek hava taşıtlarıyla aynı genel biçime

[10] *A.g.e.*, s. 421-28.

sahipti. Bazıları ise farklıydı, çizerin muzipliğinden nasiplerini almışlardı: Bunların en göze çarpanı, Hanna-Barbera çizgi filmi olan Jetgiller'in arabasıdır. Hesaplamaları yaptıktan sonra, doğrusunu sadece *Jetgiller*'in tutturduğunu gördüm; uçan makineler gerçekten de bu çizgi filmde gördüğümüz o aptal, küçük kapsüller kadar, belki daha da küçük olacaktır.

Günümüzde motorların kullanıldığı neredeyse her uygulamada, mevcut motorlar gözden yitecek. Aletlere ve makinelere yine enerji sağlanacak, fakat motorlar görülemeyecek kadar küçülecek ve malzemenin parçası haline gelecek. Nesneler, hayvanlar gibi kendi başlarına hareket edebiliyor gibi görünecek. Diş fırçanızın sapında tek motor olmayacak, fakat her kılında pek çok motor bulunacak. Tek motor ve dört tekerlek yerine, arabalarda yüzlerce küçük ayak olabilir, böylece her türlü yüzey üzerinde pürüzsüz, sallantısız sürüş sağlanabilir.

Makineler hem gözden yitecek hem de her yerde olacak.



YEDİNCİ BÖLÜM

DİJİTAL TEKNOLOJİ
Atomlar Maddi Dünyanın Bilgi Birimidir

Günümüzde Charles Babbage, bilgisayarı icat etmeye çok yaklaşmış olmasıyla ünlüdür. Bir bakıma bilgisayarı icat etmiş, hatta tam olarak olmasa da, neredeyse imal etmiştir; fakat, sonra yüzyıl boyunca bu konuyla ilgilenen çıkmadı. İnsanlar, çalışan hesap makineleri yapmaya başlayınca, bilgisayarlar da deli gibi coştu. Yirminci yüzyıl, bilgisayar gücünde, teknoloji tarihi için kayda değer bir artışa şahit olmuştur.

Makinelerin sağladığı fiziksel güç gibi, bilgi işlem makineleri de teknolojinin geçirdiği bir dizi değişim sayesinde, üstel artan bir kulvarda ilerlemiştir. Babbage'ın tasarımında olduğu gibi bilgisayarlar, mekanik millerle ve dişli çarklarla işe başlamış, ardından ise elektromanyetik röleler, elektron tüpleri, tekil transistörler, entegre devreler ve entegre devrenin boyutunu artıran bir dizi sıçrama gelmiştir.

Tıpkı buhar makinelerinin başına geldiği gibi, bilgisayarlarımız da kuramsal bir sınıra yaklaşıyor mu diye sorabiliriz. Yanıt evettir. Aslında Carnot'nun keşfettiği aynı termodinamik sınır söz konusu, fakat başka bir kisveye bürünmüştür.

Çağdaş termodinamik, bu gibi meseleleri entropi dediğimiz özellik bağlamında ele alır. Entropi sözcüğü, genel kelime dağarcığına girmiştir ve yaygınlıkla yanlış kullanılıp yanlış anlaşılır; fakat termodinamik biliminde kesin ve sarih bir anlamı var. Örneğin, ısı makinesinde aracı-akışkanın belirli bir miktarının entropisi, akışkanın sıcaklığına ve hacmine bağlıdır. Sıcaklıkla orantılı miktarda ısı ilave edilirse, entropi artar. Adyabatik süreçte, entropi aynı kalır. Fakat önemli olan nokta, eğer tersinir bir süreç söz konusuysa, sıcak kova ve soğuk kova da dahil makinenin tüm aksamı için entropinin toplamı alındığı zaman, entropinin aynı kalmasıdır; aksi takdirde artmak zorundadır.

Efsanevi Bell Laboratuvarları'nda çalışan bir haberleşme mühendisi, iki kısma böldüğü makalesini 1948 yılında *Bell System Technical Journal* adlı derginin Temmuz ve Ekim sayılarında yayımladı. Adı Claude Shannon'dı ve makalenin başlığı ise "Matematiksel Bir İletişim Kuramı" idi. Bu makale, yirminci yüzyılın en büyük bilimsel çözümlemeleri arasına girmiştir; Carnot'nun kurduğu termodinamik müessesesine rahatlıkla rakip olabilir. Shannon'ın icat ettiği alana bugün enformasyon kuramı deniyor. Türlü türlü katkısının yanı sıra, Shannon, temel bilgi birimi olarak "bit" kavramını yerleştirmiştir. Bilgi taşıyan her türlü sinyalin bitlere çevrilip iletilebileceğini, sonra yine eski haline dönüştürülebileceğini göstermiştir. Dahası, bilgi aktarmanın en verimli yolunun bu olduğunu ispatlamıştır. Her şeyin bitlere çevrilebileceği düşüncesini günümüzde doğal addediyoruz, fakat o zamanlar hiç duyulmamış yepyeni bir fikirdi. (Yeri gelmişken belirtelim, Bell sisteminin dağılmasından sonra, Bell Laboratuvarları'nın AT&T bünyesinde kalan kısmına onun onuruna Shannon Laboratuvarları ismi verilmiştir.)

Enformasyon kuramıyla Shannon'ın yaptığı işlerden biri, bilgi kanallarında olup bitenle ilgilenen matematiğin, termodinamik matematiğine epey benzediğine dikkat çekmek olmuştur, öyle ki ölçümlerinden birine enformasyon entropisi adını vermiştir. Shannon'ın kafası zehir gibi çalışıyordu: Enformasyonun, aslında tam da termodinamik entropisinin ölçtüğü şey olduğu anlaşılmıştır.

Yaklaşık son 150 yılda bilimin en kafa karıştırıcı muammalarından biri, Maxwell'in Cini diye bilinen kavramdır. Elektrik ve manyetizma fiziğini kendi ismini taşıyan şık denklemlerle ifade etmiş olan James Clerk Maxwell, ayrıca termodinamik üzerine bir kitap da yazmıştı ve bu kitapta bir düşünce deneyi betimler:

Ne hacim değişimine ne ısı iletimine izin veren, hem sıcaklığın hem de basıncın her yerde aynı olduğu kapalı bir sistemde iş harcamaksızın sıcaklıkta ya da basınçta bir eşitsizlik yaratmanın imkânsız oluşu, termodinamiğin en sağlam gerçeklerinden biridir. Bu olgu, termodinamiğin ikinci yasasıdır. Cisimleri sadece kütleleriyle ele aldığımız sürece ve onları meydana getiren ayrı molekülleri tek tek algılama ya da yönlendirme gücümüz olmadığı müddetçe, bu yasa şüphesiz geçerli. Fakat gelin, her molekülün hareketini takip edebilecek keskinlikte duyuları olan bir varlık tahayyül edelim. Öyle bir varlık ki meziyetleri bizimkiler gibi esasen sonlu olsun, ancak şu an için bize imkânsız olan şeyleri yapabilsin. Her yerde sıcaklığı aynı olan, havayla dolu bir kaptaki moleküllerin hiç de aynı hızla hareket etmediğini

gördük, gerçi keyfî seçimle belirlenen çok sayıda molekülün ortalama hızı neredeyse tam olarak aynıdır. Diyelim ki böyle bir kap A ve B diye iki bölmeye ayrılmış ve aradaki perdede küçük bir delik bulunuyor olsun; tek tek molekülleri görebilen bir varlık, bu deliği açıp kapıyor olsun. Diyelim ki A'dan B'ye sadece hızlı moleküllerin geçişine izin veriyor ve B'den A'ya yalnızca yavaş molekülleri bırakıyor. Dolayısıyla hiç iş harcamadan, termodinamiğin ikinci yasasıyla çelişkili olarak, B'nin sıcaklığını artırmış, A'nın sıcaklığını düşürmüş olur.[1]

Maxwell'in Cininin ciddi bir çelişki teşkil etmesinin sebebi, termodinamiğin ikinci yasasını ihlal ediyormuş gibi görünmesidir. Alıntı yapılan bu paragrafta Maxwell çelişkiyi bir güzel açıklıyor; bugün olsa, kendi "kabında" entropiyi düşürdüğünü, fakat başka hiçbir yerde artırmadığını söyleriz.

Maxwell'in Cini, üç fizikçi neslinin başına bela olduktan sonra, enformasyon kuramı tarafından façası bozuldu. Enformasyon kuramının, bilgi akışı "kanalını" tanımlamak için kullanılabileceğini belirtmek, ki buna cinin molekülleri görmesi de dahildi; ayrıca yavaş ve hızlı molekülleri görerek kazandığı enformasyon entropisinin, sistemden "büyülü bir şekilde" uzaklaştırdığı termodinamik entropiyi dengelediğini söylemek ilk makul saldırı olmuştu. Bu, hiç yoktan iyiydi, fakat fire vermeyen bir karşı sav olduğu da söylenemezdi; eğer cin, atomları tanımak için görüş yetisinden farklı bir özellik kullansaydı ne olurdu?

Örneğin, diyelim ki cinin eline bir kopya kağıdı tutuşturdunuz ve bu kağıtta kapıyı ne zaman açıp ne zaman kapayacağı yazıyor. Delikli piyano rulosu gibi bir kağıt olabilir bu, yani cini basit bir mekanizma yerine koyabiliriz. Böylece doğaüstü bir yanı kalmaz. Sistem yine de çalışacaktır. Artık cinin dış dünyayla hiç teması kalmamıştır. Kopya kağıdını oluştururken elbette moleküllerden bilgi almış olmanız gerekir, fakat süreç sırasında cin ile dış dünyanın teması tamamen kesilmiş haldedir.

İşte çıkmaz burada: Entropinin bir enformasyon ölçümü olduğu düşünülürse, kopya kağıdı, ikinci yasanın bariz ihlalini dengeleyecek kadar bilgiye sahip demektir. Cin, termodinamik yasalarını ihlal etmeden sıcağı ve soğuğu ayırt edebilir, fakat kağıdın üzerinde yazanları silemez. Kağıt orada olduğu müddetçe, tüm süreç tersine çevrilebilir; her halükârda, kuramsal olarak tüm atomları ters yönde

---

[1] James Clark Maxwell, *Theory of Heat* (New York: D. Appleton, 1872), s. 308-309.

hareket ettirip cine kağıdı tersten okutabilir, tüm molekülleri geldikleri yere postalayabilirsiniz.

Başka bir deyişle, kopya kağıdının üzerindeki bilginin temsil ettiği entropi, kaptaki fiziki entropi kadar gerçektir; dolayısıyla, cin, kağıt üzerinde yazanları silmediği müddetçe, entropiyi gerçekten düşürmüş olmaz.[2]

O halde, ikinci yasanın enformasyon kuramından haberli çağdaş fizik bilimine söylediği şey, bilginin silinemeyeceğidir. Belirli bir sıcaklıkta ne kadar ısının bir bilgi bitine denk olduğunu bile söyler: O sıcaklıkta tek atomun ısıl enerjisine yaklaşık olduğu anlaşılmıştır. Isının bilgi depolamakta kullanılabilecek olmasının sebebini anlamanın basit yolu, sıcak atomların hızlı hareket edip hızlarını betimlemek için daha büyük rakamlar, yani daha fazla bit gerektirdiğini bilmektir. Dolayısıyla, yüksek hızlı atomlarda daha fazla bilgi "depolanır." Sistemi fiziken genişleterek de entropiyi artırabilirsiniz. Bu sistem, bir atomun konumunun betimlenmesinde daha fazla bit kullanılmasına imkân tanıyarak daha fazla bilgi depolayabilir.

Şimdi bilgisayarlarımız milyonlarca biti silebiliyor. İkinci yasa bize bunun kaçınılmaz bir bedeli olduğunu söylüyor: Bit sildiğinizi düşünüyor olabilirsiniz, fakat molekül seviyesinde bu iş, bitleri ısı biçiminde bilgiye çevirmekten ibarettir.

Günümüzün bilgisayarları için bu işlem sorun değil: İsraf ettikleri ısının miktarı, termodinamiğin belirlediği sınırdan o kadar büyük ki bu fark belirgin olmaz. Fakat molekül boyutundaki şalterleriyle yarının bilgisayarları, bu sınırın bir sorun teşkil ettiğini görecektir. Bu sorunun etrafından dolaşmaları mümkün olmayacaktır, bilakis bu soruna hitap eden çözümler bulmaları gerekecektir. Mümkün mertebe en az biti silen bilgisayarlar inşa edip, sonra bunların üzerine soğutma sistemleri ekleyebiliriz.

İkinci yasanın "bit silmeye mahal vermeyen" formülasyonunun, bilgisayarlar ötesinde makineleri de etkilemesi yeterince şaşırtıcı. Ev içindeki kapıların bildiğimiz mandalları buna basit bir örnek. Kapı üzerindeki sürgüye eğim verilmiştir ve yaylıdır. Kapıyı itip kapatmak için harcadığınız güç sürgüyü geri iter, sonra da sürgü, kilit köprüsü deliğindeki yerine oturur. Bu süreç tersine çevrilemez; sırf kapıyı kendinize çekerek açamazsınız, kapı koluna bastırmanız gerekir.

---

[2] Bir bilgi takımının iki kopyası, tek kopyadan daha fazla bilgi barındırmaz; ikinci kopyayı üretmek ya da silmek ya da ikinci kopyayı saklarken ilk kopyayı silmek tersinir işlemlerdir.

Bu tersine çevrilmezlik durumu, aslında bilgi silmektedir. Eğer kapı, sürtünmesiz bir kanatlı kapı olsaydı, mevcut açılıp kapanma hızına bakarak bir dakika önce kapının hangi hızla açılıp kapandığını söyleyebilirdiniz. Kapı mandalı bu bilgiyi silmektedir: Kapının hareketi bir kez kesildi mi daha önce ne yaptığını söyleyemezsiniz. Sürtünmenin de aynı bilgiyi sildiğine dikkat edin; fakat sürtünmenin ısı yaydığını zaten biliyoruz.

Molekül seviyesinin en dibinde kapı mandalı gibi tek yönlü bir mekanizma inşa edebilseydiniz, ısıyı teşkil eden rastgele titreşimleri eşgüdümlü devinime ve güce, yani faydalı işe çevirebilirdiniz. Fakat enformasyon kuramı kisvesinde ikinci yasa yolunuzu kesiyor. Mekanizmanız, unuttuğu her bit karşılığında, tersine çevrilemez eyleminin yaydığı ısıyla kazanabileceği enerji miktarına eşit miktarda ısı yaymak zorunda.

Moleküler ölçekte kapı mandalına benzeyen bir cihaz elbette yapabilirsiniz. Fakat düzeneğin yayı, ısıl titreşimlerle kapanacak kadar zayıf olursa, aynı ısıl titreşimler mandalı gayet rahat açabilir de: Cihaz, tersinir olacaktır.

Sonuç: Nanomakineler, termodinamiğin ikinci yasasını Maxwell'in Cini gibi ihlal edemez. Ham ısıyı, faydalı işe çeviremezler. Ancak elbette, tıpkı makro ölçekli ısı makineleri gibi, sıcaklık *farklarını* işe çevirebilirler.

Ayrıca, sürtünme gibi mekanik kayıpların asgaride tutulması mümkün görünüyor, böylece nispeten küçük sıcaklık farklarından etkin bir şekilde yararlanılabilir. Örneğin insan bedeni, yaklaşık 37,5 santigrat derecede 200 vatlık ısı üretir ve bu ısıyı 21 santigrat derecelik oda sıcaklığında dışarı yayar. Termodinamiğe göre bu ısının ancak yüzde beşi faydalı iş olarak geri kazanılabilir, yani 10 vat. Bu enerjiyi kullanacak makroskopik bir makine tahayyül etmek zor; küçük makinelerin her dişlisinde ya da rulmanında bu enerjinin yüzde beşini kaybedebilirsiniz. Oysa nanomakineler bu işi başarabilir.

BÜYÜK DEVRİM

Demokritos'un kuramları hakkındaki bilgimizin bize genelde Aristoteles'in çalışmaları aracılığıyla gelmiş olması gülünç, çünkü kendi fizik kuramlarında Aristoteles, Demokritos'un kuramlarına şiddetle karşı çıkmaktaydı. Bunu yapan ilk kişi olmasa da kendi zamanında Demokritos, maddenin atomlardan meydana geldiği düşüncesinin en kapsamlı, sistemli ve açıkça en önde gelen yandaşıydı.

On dokuzuncu yüzyıl kimyagerleri, özellikle de John Dalton, bu görüşü dirilttiler, çünkü kimyasal tepkimelerde ilginç bir özellik sürekli karşılarına çıkıyordu. 16 gram oksijen içinde 2 gram hidrojen yakarsanız, 18 gram su elde edersiniz. Fakat 3 gram hidrojen kullanırsanız, yine aynı miktarda su elde edersiniz, bir gram hidrojen de artar. Kimyasallar, kesin oranlar dahilinde tepkimeye girer. Kimyagerler, en yoğun metallerden en seyrek gazlara kadar maddenin ayrı, bölünmez öbeklerden ileri geldiği sonucuna varmak zorunda kalmıştır.

Fizikçilerin bu görüşe yetişmesi biraz zaman aldı. Yirminci yüzyıla kadar atomlar, herkes tarafından kabul gören bir fizik kuramı değildi. Zamanında kimi fizikçiler, normalde süreğen olan maddeye münferit elektronların gömülü olduğuna inanıyordu, tıpkı muhallebi içindeki kuru üzümler gibi. Fakat Brown devinimi gibi görüngülerin de yardımıyla, yani minik taneciklerin suda açıklanamaz bir şekilde dans etmesinin mikroskopla gözlemlenişiyle, fizikçiler yola geldi ve 1900'lerin ilk yarısında atomların nasıl çalıştığını anlamaya çalışmakla meşgul oldular, ki bu da bize kuantum mekaniğini kazandırmıştır. Einstein'ın görelilik kuramıyla Nobel Ödülü kazanamayışı bilimdeki ironilerden biridir; 1921'de aldığı Nobel Ödülü, kuantum kuramının tesis edilmesi yolunda fotoelektrik etkinin açıklanmasına verilmiştir; ışığın ayrık öbeklerden ileri geldiğini açıklamıştı (biz bu öbeklere foton diyoruz).

1948'de Shannon'ın enformasyon kuramı ortaya çıktığı zaman, maddenin ayrık öbeklerden ileri geldiği ve bu öbeklerin az sayıda tür barındırdığı gayet kabul edilmiş bir olguydu. Shannon orada durmamış, bilginin, hatta sesin dalga biçimi gibi kesintisiz bilginın, nihayetinde bitlere ayrıştırılabileceğini göstermişti. Göründüğü kadarıyla, madde gibi zihin de dijitaldi.

Biyologlar da çok geride değildi. On sene içinde hayatın kendisi de bu dijitallik paradigmasının içine girmişti. 1950 yılında DNA, kimyasal muamelesi görüyordu. 1960 yılında artık, bilgisayar bantı makarası yerine konuluyordu. Yüzyılın ikinci yarısı boyunca biyologlar, ribozom gibi varlıkların moleküler seviyede makine tezgâhları olarak nasıl sayısal denetim altında tutulduğunu incelemiştir.

2003 yılında dijital kameralar, analog film kullanan kameralara top attırmıştı.[3] Şu an gördüğünüz resimlerin ve dinlediğiniz müzikle-

[3] 12,5 milyon dijital fotoğraf makinesine karşı 12,1 milyon film makinesi: Foto Pazarlama Vakfı.

rin çoğu büyük ihtimalle dijital teknolojiyle çekiliyor, işleniyor ve sunuluyordur. Okuduğunuz metin kesinlikle dijital teknolojiyle üretilip işlendi; mürekkeple yazılmış son hali hariç elinizdeki kitabın tüm sayfaları bu şekilde hazırlandı. Bilginin dijital hale gelmesi sayesinde bilgiyi idare, yönlendirme ve dönüştürme becerimiz eksiksiz ve kati bir dönüşüm geçirmiştir. Hayatın var olmasını mümkün kılan şey, maddenin dijitalleşmesidir.[4] Nanoteknolojinin meselesi de madde üzerinde dijital denetim kurmaktır.

Nihayetinde, moleküler ölçekli makineler inşa etmeyi neden dert edinelim ki? Büyük makineler gayet güzel çalışıyor ve onları idare etmek çok daha kolay. Küçük makineler inşa etmek fayda sağlıyorsa, neden nanometre ölçeğinde duralım ki? Neden pikoteknolojiye, femtoteknolojiye, ta zeptoteknolojiye kadar inmeyelim ki?

İki sorunun da yanıtı, maddenin atom ölçeğinde dijital oluşunda yatar. Atomlar, az sayıda münferit türden ileri gelir ve oldukça basit, az sayıda bağ kurarlar. Atomlar yıpranmaz ve aynı türe ait atomlar, tamamıyla özdeştir. Doğanın çok sağlam bir kalite kontrol mekanizması var. Moleküler makinede farklı parçaların aynı olması için, aynı tür atomları alıp aynı bağ şablonuyla bağlarsınız. Böylece yeni parça eskisinin tıpkısı olur; nanoölçeğin gücü ve işe yararlığı bundandır.

Makroskopik makinelerde, birbirinin yerine geçebilen aksamın büyük fayda sağladığı uzun süredir biliniyor. Ancak, makro ölçekli makinelerde tamamıyla özdeş aksam yok. Her zaman bir tolerans bulunur; tolerans kelimesi, yapım sırasında aksamın boyutuyla ilgili hata payı için mühendislerin kullandığı teknik terimdir. Bu durum, iki aksamın tamamen aynı davranmayacağı anlamına geldiği gibi, aynı zamanda hiçbir aksamın aslında tasarlandığı şey olmadığı anlamına da gelir. Dolayısıyla makineler, olabilecekleri ölçüde pürüzsüz, sessiz ya da verimli değildir.

Görünür malzemelerin pek çok özelliği eskimekle ve yıpranmakla değişebilir. Atomik hassasiyete sahip parça yıpranamaz: Ya tüm atomlar ve bağlar olması gereken yerdedir ya da makine bozulur. Moleküllerin atomları arasındaki kovalent bağlar yorulup yıpranmaz. Aynı nitelik sayesinde dijital bilgisayarlar, analog bilgisayarlardan çok daha güvenilir ve ucuzdur. Bir bit, ya doğru ya yanlıştır, ama asla %97,4 oranında doğru değildir. Bilgisayar, hiç hata yapmadan art arda trilyonlarca işlem gerçekleştirebilir. Bu, analog makineler

[4] Dijital bir ortam olan DNA'nın bilgi depolama, bilgiye erişme ve bilgi kopyalama konusundaki şaşmazlığına hiçbir analog süreç erişemez.

için duyulmamış bir olay.

Bilgisayarların dijital özelliklerinden faydalanmayı bayağı biliyoruz. Aynı tekniklerin pek çoğunu nanoteknoloji sayesinde fiziki makinelerde de kullanabiliriz. Nanoteknoloji, makineleri daha ucuz ve güvenilir kıldığı zaman, bunun sebebi, maddenin atom ölçeğindeki dijital doğası olacaktır.

NANOBİLGİSAYARLAR

Günümüzde nanoteknoloji araştırmalarının öncü alanlarından birisi nanoelektroniktir. Aslında, nanobilgisayar yapmak için gerekli olan tüm bileşenlerin, yani moleküler şalterlerin ve nanotellerin gerçekliği doğrulanmıştır. Birçok örnekte "doğrulanmış" ifadesi, kimyasal yollarla yaratılmış moleküllerin aylar boyunca laboratuvar teknisyenleri tarafından çok pahalı cihazlarla tetkik edilmesi ve istenildiği gibi çalışan az sayıda numune bulunmuş olması anlamına gelir. Başka bir deyişle, bu bileşenlerin var olduğunu biliyoruz; bu durum biliminsanı için harika olsa da mühendis için pek de makbul sayılmaz. Henüz bu bileşenleri geniş, karmaşık bir devrede bir araya getirmenin yolu yoktur, en azından hesaplı bir şekilde. Gerçi nanorobot kollar geliştirildiği zaman, bunu yapmak da kolay olacak.

Bugün kullanımda olan elektronik şalterlerin çoğu transistördür. Çeşitli moleküllerin transistör gibi işlev görebileceği ispatlanmıştır. Atomları keyfî bir şekilde dizebildiğimiz zaman, bilinen farklı transistör çeşitlerinin hepsinin pabucu dama atılacak.

Nanoölçekte başka şalter biçimleri de işe yarayıp kendilerine kullanım alanı bulabilir. Mesela elektrostatik röleler iş görecektir. Günümüzün elektronik donanımlarına kıyasla açılıp kapanma hızları çabuktur (fakat nanoelektroniğe kıyasla değil). Enerji uygulamalarında kullanım alanı bulabilirler; örneğin motorları ve ışıkları açıp kapamak gibi. Nanoölçekte transistörler ile röleler arasındaki ayrımın bulanıklaştığına dikkat edilmesi gerek. Transistörler, voltaj değişikliğinin malzeme iletkenliğinde değişikliğe yol açmasıyla işler. Uygun yapılandırılan moleküllerde, başka moleküllerin yakına gelmesiyle ya da molekülün bükülmesiyle, iletkenlik değişebilir; bu görüngüler kısmen, fiziki bir şalteri indirip kaldırmak ve bir özelliği elektrik alanlar sayesinde değiştirmek arasında duruyor gibi. Bu tür sayısız teknik kullanılarak, moleküler şalterlerin varlığı laboratuvarlarda doğrulanmıştır.

Çoğu nanomakine, tüm bu motorları denetlemek için yapısında

nanoelektronik donanım barındıracak, ve denetleyicileri denetleyen bilgisayarları olacaktır.

Mevcut bilgisayar çiplerinde, gerekli tüm transistörlerin kullanılması sorun teşkil etmez; sorun, tellerdir. Her şeyi her şeye bağlayacak yeterli alan yok. Ayrıca, teller küçüldükçe dirençleri artar.

Düşük dirençli teller istememizin iki sebebi var. Enerjiyi kırsaldan geçirip evinize nakletmekten, robotları hareket ettiren o küçük motorlara enerji temin etmeye kadar çeşitli enerji uygulamalarında direnç, ısı olarak enerji israfına yol açar. Düşük direnç, verimin artması anlamına gelir. Bu, bilgisayarlar için de geçerli, fakat başka bir gerekçesi daha var. Direnç, bilgisayarları yavaşlatır.

Diyelim ki bilgisayarınızın saat hızı 1 gigahertz. Yani saat sinyali her nanosaniyede bir kez artıyor ya da azalıyor; ışığın otuz santimetre mesafe kat etmesi için gereken süredir bu. Fakat çip içindeki sinyaller otuz santimetreden çok ama çok daha kısa bir mesafe kat eder. Bilgisayar içinde, şalterden şaltere sinyaller, teli ve şalterin ona bağlı parçasını elektronların doldurmasıyla ya da boşaltmasıyla hareket eder. Telin barındırdığı elektron miktarı, onun voltajıdır. Voltaj değişmeden, şalterler açılıp kapanmaz.

Örneğin bir şalter, yani bir transistör düşünün. Vana gibi çalışan bu transistör, bir kovanın ağırlığıyla açılıp kapansın. Bu kovayı dolduran ya da boşaltan hortumları ise başka vanalar denetlesin. Şalterin açılıp kapanması için önemli olan süre, suyun sıradaki kovaya ne kadar zamanda gelmeye başladığı değil, kovanın dolma (ya da boşalma) süresidir. Nanoelektronik sayesinde küçük kovalar yapabiliriz; asıl soru ise, hortumları ne kadar büyük yapabileceğimiz.

MEKANİK BİR KONU

Elektronik nanobilgisayarlar, mevcut elektronik donanıma kıyasla çok hızlı ve küçük olacak, fakat mekanik nanobilgisayarlar daha da ufak olabilir. Bunun sebebi, elektronları bir yere mıhlamanın zor olması ve molekül boyutuna yaklaştıkça ilginç kuantum özelliklerinin belirmesidir. Örneğin elektron, içinden çıkmaya yeterli enerjisi olmadığı bir delikte duruyor diyelim; birdenbire kendisini biraz ötedeki başka bir delikte bulabilir. Arada kalan boşlukta yol almadan bu şekilde sıçrayabilme yeteneğine tünelleme diyoruz.

Elektronun tünelleme olasılığı, sıçradığı mesafeye güçlü bir şekilde bağlıdır. Bu özellikten, ilk taramalı sondalardan biri olan taramalı tünellemeli mikroskopta (TTM) yararlanılmıştır. TTM'de, son-

danın ucundaki elektronlar incelenen nesneye tünellenir ve arada kalan mesafe oldukça doğru şekilde ölçülebilir, çünkü mesafe asgari değişikliğe uğradığında, akım büyük bir değişiklik gösterir.

Nanobilgisayarlarda ya da başka devrelerde, teller üç nanometre civarı aralıklarla döşenmek zorundadır, yoksa elektronlar telden tele sıçrar. Başka bir deyişle, nanoölçekli tellerin kısa devre yapması için birbirlerine temas etmesi şart değil. Dolayısıyla, geleneksel tel, şalter, voltaj ve akım kullanan nanobilgisayarlar, bileşenlerinin bize sezdirdiğinden daha büyük olmak zorunda kalacak.

Bilgi nakletmek için, sicimlerle iletilen sesten faydalanan mekanik nanobilgisayarlar yapabiliriz, tıpkı teneke kutudan yapılan telefonlar gibi. Sicim olarak polietilen ya da nanotüp gibi uzun, güçlü moleküller kullanabiliriz. Doğru bir tasarımla, birbiri üzerinden geçen sicimler sorunsuz temas eder; farklı istikametlere giden dalgalar, birbiri içinden geçebilir. Bu sicimlerin eni rahatlıkla bir nanometreden küçük olabilir.

Ses hızı, elmas içinde saniyede on altı kilometreden büyüktür; uygun şekilde gerilmiş sicimde daha da hızlı olabilir. Nanobilgisayarınızı muhafazakâr bir kipte tasarlarsanız, yani işlemler arasında titreşimlerin sönmesine izin verirseniz, bilgisayarınız bir gigahertz saat hızıyla çalışabilir. Tüm dalga yayılmalarının ve yansımalarının hesaba katıldığı uygun tasarımla, bilgisayarın hızı yüzlerce gigahertze çıkabilir. İtinayla ayar yapılmış küçük "devreler" ise terahertz hızında işlem yapabilir.

BELLEK

Günümüzde neredeyse olanaklı olup yine de hayata geçirilmeyen bir bilgi işlem biçimi, DNA'yı kullanmaktır. DNA molekülü bir bellek aygıtıdır, 1960'ların büyük IBM bilgisayarlarının fotoğraflarında gördüğünüz bant makaraları gibidir. Bakteri DNA'sı bir megabitlik bilgi saklarken, insan hücresi bir gigabite çıkar. (Hepsinde DNA aynı malzemeden meydana gelir; yalnızca, insan hücresinin barındırdığı DNA miktarı bakteridekinin bin katı.) Kıyaslama yapmak gerekirse, düz ASCII metni ve sıkıştırılmış resim olarak bu kitap yaklaşık bir megabit. Dolayısıyla bakteriler tek talimatnameden ileri gelirken, insanlar bin ciltlik kitaptan ileri gelir.

Hücredeki doğal makineler, DNA'ya kütüphane muamelesi yapacak kimi mekanizmalar barındırır. Kütüphanelerin başına bela en büyük sorunu da aşarlar, yani gerektiği zaman kitapların kütüpha-

ne dışında olması ya da geri getirilmemesi sorununu çözmüşlerdir, çünkü gerekli bilgiyi (RNA üzerine) kopyalayıp etrafa bu nüshaları dağıtırlar. Hücre bölünürken DNA'nın kendisi de kopyalanır. Kopyalama işleminden sonra sağlaması yapılır ve hataları düzeltilir. DNA'yı sıkı sıkıya istiflemek için saran, okunması gerektiği zaman bu yapıyı gevşeten mekanizmalar mevcut. Bu sürecin bir parçası olarak, DNA kısmen kesilir, böylece başka yerlerine dokunmadan bir kısmını eğip bükmek mümkün olur, sonra da kesik yerler onarılır.[5]

Mikroplardan arındırmamışsanız, bilgisayarınızın, dizüstü bilgisayarınızın ya da cep bilgisayarınızın üzerindeki ya da etrafındaki bakterilerin DNA'sında saklanan verinin miktarı büyük ihtimalle cihazın içindeki veri miktarından fazladır. Bu satırların yazıldığı sırada, Google toplamda yaklaşık dört milyar internet sayfası sayıyordu. Resimleriyle birlikte ortalama bir sayfanın boyutunu 125 kilobit olarak tahmin edersek, toplam boyut yaklaşık yarım petabite (500 terabit) gelir. DNA üzerine yazılsaydı, tüm bu bilgi 150 mikronkübe sığardı, yani ince bir kum tanesi kadar yer kaplardı ya da başka bir deyişle, çıplak gözle ancak görülen bir benek kadar yer işgal ederdi.

Nanomakineler, DNA'dan daha küçük hacimde bilgi depolayabilecek, yine de aralarında öyle büyük bir fark olmayacak. Aynı temel yöntemden faydalanılarak, yani farklı fakat benzer bir dizi molekülden zincir meydana getirilerek, DNA'nın yapıtaşları olan deoksiribozlardan daha küçük moleküller kullanılabilir, fakat bu konuda çok fazla hareket alanı yok. Kısıtlamalardan biri muhtemelen, bilginin daha hızlı okunmasını zorlayan ihtiyaçtır. O IBM bilgisayarlarında makaraların oturtulduğu yuva, bant makarasının kendisinden çok daha büyüktü. Bilgi depolama sisteminin gerçekten kalabalık kısmı olan bant kütüphanesinde, raflara sıkı sıkı yerleştirilmiş bant makaraları vardı, fakat bilgiye erişme hızı oldukça gecikmeliydi: Birisinin o koridordan geçip makarayı alması ve makineye takması gerekiyordu.

Nanobilgisayarlar, bantları getiren nanorobotlarla birlikte, ben-

---

[5] Bu işi gerçekleştirmekte kullanılan mekanizmalar büyüleyicidir, fakat kitabımızın konusu dışında kalıyorlar. İlgilenen okuyuculara tavsiyem: David S. Goodsell, *Our Molecular Nature: The Body's Motors, Machines, and Messages* (New York: Copernicus/Springer-Verlag, 1996); eğer bu kitap iştahınızı kabartırsa şuna bakınız: Bruce Alberts ve diğ., *Molecular Biology of the Cell*, Dördüncü baskı (New York: Garland, 2002), tüm 1.463 sayfası. [Türkçesi: *Hücrenin Moleküler Biyolojisi*, 2008, Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.]

zer bir tertipte çalışıp günümüzün sabit disklerinden daha kısa gecikme süreleriyle işleyebilir.

Genel bir teknolojik yönelim olarak, bellek hızlandıkça cüsse kazanır. Bu durum nanoölçekte de geçerli olacak, fakat dipte o kadar çok yer var ki beklentiler çok yükselmediği müddetçe söz konusu gidişat önemli bir sorun teşkil etmeyecektir. Yaygın kullanımı olan en hızlı bellek, şu an için düşük gigahertz hızlarında seyreden, işlemci saat hızında çalışan yazmaçlar (*register*) ve önbellektir. Bunlar, işlemcilerde kullanılan aynı mantık devresinden meydana gelmiştir. Nanoelektronikte, moleküler şalterleri kullanacak ve muhtemelen terahertzi aşan hızlarda işlem görecek bir bit, 10 nanometreküp yer işgal edebilir. Bunun yoğunluğu DNA'nınkinden bin kat düşük, yani tüm interneti depolamak için ince bir kum tanesi yerine büyük bir kum tanesi gerekli olacak. Affedersiniz! Fakat içindeki bilgiye erişim hızınız, ışığın onda bir inçlik mesafeyi kat etmesiyle aynı hızda olacak; makara bant tertibinde ise, siz verinin gelmesini beklerken ışık otuz iki kilometre mesafe kat edebilir.

Bahsettiğimiz bu iki zaman aralığını da insan algılayamaz, fakat işlem sürelerini üst üste eklemeye başladığınızda fark belli olmaya başlar, örneğin tüm veri bankasını taramak, istatistik toplamak, veri madenciliği yapmak gibi işlemlerin sürelerini. Bitlere erişimin iki biçimi de veri bankasını saniyede bir terabit hızla okuyabilir (gelişigüzel erişim yerine sıralı erişim söz konusu olduğu zaman bantlar daha verimli). Tüm interneti taramaları ise on dakika sürer. İnternet sayfalarını her katılımcıya dağıtan bir sunucu olarak kullanıldığı zaman, elektronik tertip saniyede sekiz milyon sayfa gönderebilir. Bant tertibi ise sadece on bin sayfa gönderebilir.

İnsan beyninin depoladığı bilginin miktarı yaklaşık 100 terabit olarak tahmin edilebilir, yani koskoca internete çok yakın bir miktar. Beynin çevrim zamanı, 1 pikosaniyelik nanoelektronik bellekten ziyade 100 mikrosaniyelik nanobant kütüphane sistemine yakın, fakat tüm içeriğini bir çevrim içinde tarayabilir, yani bilgisayar tarzı bu iki belleğin gerektirdiği on dakikalık taramayı yapmaz. Beyin, bilgisayar mühendislerinin ilişkili bellek dediği olguya yakın bir sistem kullanır. (Yazılım mühendisleri çoğunlukla, "donanımla ilişkili" bellek der, böylece karma şifreleme, dizin hazırlama ve tersyüz edilmiş dosyalar gibi yazılım teknikleriyle bu belleğin arasındaki ayrımı ortaya koyarlar.)

İnterneti sizin için taramak, Google'ın on dakikasını ya da daha fazla zamanını falan almaz. Bunun sebebi, taramadan evvel bir dizin hazırlamış olmasıdır. Bu yöntem, internet gibi bir sistem için uygun,

çünkü internet, dizin oluşturmanın az çabayla gerçekleştirilebileceği kadar yavaş değişim geçirir ve yaptığınız sorgulama, bununla eşleşen kelimelerle kısıtlanmıştır. Donanımla ilişkili bellek, kendi kendisinin diziniymiş gibi, sıradan belleğin kelimeleri bulundukları yerden alıp getirmesiyle aynı hızda hareket eder. İlişkili bellek, yazılım tekniklerini kullanmanın çok yavaş kalacağı yerlerde, mikroişlemcilerde önbellek endekslerini kalıcı hale getirmek için yaygınlıkla kullanılır; ayrıca seçkin veri göndericilerindeki internet adresi tabloları ve zamanın önemli olduğu benzer uygulamalar için de ilişkili bellekten faydalanılır.

Eğer internet, nanoilişkili bir bellekte depolanmış olsaydı, "Fahrenheit kelimesinin yanlış yazıldığı internet sayfalarında Fahrenheit bağlamında bahsedilen sıcaklıkların ortalaması nedir?" diye sorabilir ve sonucu nanosaniyeler içinde alabilirdiniz.

Günümüzde ilişkili donanım, bilgi işlemdeki en zorlu uygulamalarla sınırlıdır, fakat bu tür bir donanım, karıncadan karmaşık tüm hayvanların sinir sisteminde her yere sirayet etmiştir. Bunun nedeni, doğanın kendi bilgisayarlarını imal etmek için nanoteknoloji kullanması ve çetin sorunlar karşısında bol bol donanım kullanmayı göze alabilmesidir. Duyulardan gelen verileri yorumlamak, bilhassa zorlu bir bilgi işlem sorunudur. İlişkili bilgisayarlar, çevrim çevrim bakıldığında, geleneksel bilgisayarlardan daha zekidir. Bilgisayarlarımızı inşa edebileceğimiz bir nanoteknolojiye sahip olduğumuzda, ilave donanım ekleme lüksümüz olacak ve daha zeki, aynı zamanda daha hızlı ya da kapasiteli bilgisayarlar da üretebileceğiz.

TERSİNİRLİK YA DA CARNOT YİNE BAŞINI GÖSTERİYOR

İster mekanik ister elektronik olsun nanobilgisayarlar, mantık seviyeleri bakımından geleneksel bilgisayarlardan farklı tasarlanmak zorunda olacak. Bunun sebebi tersinirlik ve termodinamiktir. Bilgisayarda sildiğiniz her bit için, enerji harcamanız gerekir ki bu enerjinin miktarı sıcaklığa bağlıdır. Oda sıcaklığında bu enerjinin miktarı dört zetajul civarındadır. Bu miktar, atomların ısıl devinimlerinden kaynaklanan enerjinin menzili içindedir.

O halde, kapı başına bin atomu olan bir nanobilgisayarınız varsa, çevrim başına her kapı bir bit silse ve bilgisayarın işlem hızı 1 gigahertz olsa, nanobilgisayar saniyede bir milyon derece hızla ısınmaya çalışacaktır. Mecbur kalırsanız kaba güçle bunun üstesinden gelebilirsiniz: On bin kapıya sahip küçük bir işlemci, sadece 40 nanovat

israf edecektir. Bu işlemciyi radyatörle soğutmak mümkün. Fakat soğutma düzeneği yüzünden tasarım karmaşıklaşır, borulara falan yer açmak için bilgi işlem öğeleri öteye itilir ve tüm sistem yavaşlar.

Eğer mecbur değilseniz bu bitleri silmekten kaçınmak en iyisidir. Çevrim başına tek talimat düşen basit bir bilgisayarda, mantıken her çevrimde birden fazla kelime silmeniz gerekmez, yani bugün için otuz iki bit. Geri kalanı, silinmek yerine işlem dışında tutulabilir. Sıcak kovaya daldırmadan önce bisiklet pompasını ısıtacak kadar sıkıştırmanın elektronik (ya da mekanik) muadilidir bu. İtinayla yaklaşılırsa, bilgisayarlardaki mantık işlemlerinin çoğu tersinir kılınabilir. İşlemci talimatlarının çoğunun mantığını tersinir yaparak, çevrim başına on binlerce bit yerine sadece bir iki bit silen bilgisayarlar tasarlayacak hale gelebiliriz.

Bütünüyle tersinir talimatlarla program yazmak bir parça hüner ister (gerçi oldukça olasıdır). Büyük oranda tersinir talimatlarla yazmak, sıradan çevirici diliyle programlamaktan çok da zor değil. Üst seviye dil şifrenizi, büyük oranda tersinir olan bir makine şifresine size fark ettirmeden çevirecek bir derleyici yazmak oldukça basit. Nanobilgisayarlara yönelik makine tasarlayanlar ya da derleyici yazanlar için tersinirlik önemli bir mesele olsa da, sıradan programcılar, ki bunlar yazılımları kullanmaktan öteye geçmeyen insanlardır, tersinirliği bilmez ya da umursamaz.

KUANTUM BİLGİSAYARLARI

Kuantum mekaniğinin benzetimini yapmanın bu kadar masraflı olmasının sebebi, kuantum sistemlerinin aynı anda pek çok farklı şey yapıyor gibi hareket etmesidir. Bir elektronun, iki yarıklı bir levhaya fırlatılması ve iki yarıktan geçip kendisiyle girişim yapar gibi davranması klasik bir örnektir. Buna üst üste binme ilkesi denir. Kuantum bilişiminin temel fikri, bu ilkenin basit bir uzantısıdır: Haydi, aynı anda farklı pek çok hesap yapar gibi davranan bir bilgisayar yapalım.

Bugün bunu gerçekleştirmek için araştırmalarda muazzam çaba sarf ediliyor. Bu araştırmalar, büyük zorluklarla karşılaşıyor. İlki kuramsal bir zorluk: Kuantum makinesi pek çok hesap yapabilse de, bu hesaplamalardan sadece bir tanesinin sonuçlarını elde edebilirsiniz. İki yarıktan da geçen elektron, öte taraftaki perde üzerinde yalnızca bir noktaya çarpar. Daima, iki yarıktan da geçmesinin mümkün olduğu ve girişimde kendisini sönümlendirmediği bir noktaya çarpar, fakat bu gibi olası noktalar arasından, bir tanesi rastgele seçiliyormuş

gibi durur.

Dolayısıyla, işlemci sayısı kadar üst üst binme durumu yaratacak kuantum bilgisayarını, genel kapsamlı becerilere sahip çoklu bir işlemci olarak kullanamazsınız. Fakat içlerinden bir tanesinin işe yaramasının yeterli olacağı, devasa sayıda olasılığın sınanmasını içeren hesaplamaları yapabilirsiniz. Şifreleme anahtarlarını araştırmak klasik bir örnektir, ancak başka sorunlar da benzer şekilde sunulabilir: Labirentten çıkış yolunu bulmak; şah mata götüren satranç hamlelerini bulmak; verili işi yapan bir makine tasarımı bulmak vesaire.

Uygulamaya dair sorunlar da mevcut. Çoklu hesaplamalar yapmak için kuantum mekaniğinin üst üste binme ilkesinden faydalanmak adına, bitleri temsil edecek foton ya da elektron gibi tekil parçacıklar kullanmak gerekir. Dolayısıyla bunları tek tek yönlendirebilmelisiniz. Makro ölçekli laboratuvarda birkaç tanesinden fazlasını idare etmek zordur, çünkü istenmeyen dış etkiler araya girer ve hesaplarınızı berbat eder (uyumsuzluk (*decoherence*) olarak bilinen süreç). Bu noktada nanoteknolojinin faydası dokunabilir: Üst üste binen bitlere (kubit denir) sahip ve uyumun (*coherence*) faydalı bir hesaplama yapacak kadar uzun sürdüğü kuantum bilgisayarların inşasında nanoteknoloji devreye girebilir.

Kuantum nanobilgisayarlar, çözebildikleri sorunlar konusunda her türlü klasik bilgisayara nal toplatacak. Fakat kuantum algoritmasının sınırlamaları yüzünden, amaca özel makineler olarak kalacaklar; çünkü aynı anda sayısız hesaplama yapabilseler de yanıtlardan ancak birine ulaşabilirler.



SEKİZİNCİ BÖLÜM

KENDİNİ EŞLEMEK
Mekanik Annelik

Parka, ormana, çiftliğe yani doğal dünyayı görebileceğiniz bir yere gidin. Etrafınıza göz gezdirin. Ağaçlar, çalılar, otlar, inekler, fareler, böcekler, kuşlar... Gördüğünüz her şey aslında kendi kendine üreyen bir makinedir. Şimdi evinize, dairenize, şehir manzarasına geri dönün. Böylesi bir makine buralarda yok. İnsanoğlunun eserleri, ölü olmalarıyla dünyanın geri kalanından ayrılır: Büyümezler, kendilerine bakım yapmazlar ya da kendilerini onarmazlar; onların inşa edilmesi şart.

Uzun yıllar önce, bir Macar lisansüstü öğrencisi arkadaşım vardı. Eğitimli, gezmiş görmüş bir yetişkin olmasına rağmen, bu Macar kızın, Amerikan yaşam tarzında daha görmediği onca şey mevcuttu. Üniversite bölgesinin büyük ve mimari açıdan etkileyici otellerinden birinin restoranında akşam yemeğine çıkmıştık. Arabayı park ederken telaşlandı. Sorun nedir diye sordum. Katlı otoparkı gösterdi ve güvenli mi dedi. Güvenli olduğunu söyledim, restorana girdik.

Yemek sırasında anladım ki daha önce hiç katlı otoparkta bulunmamış, otoparkları sadece filmlerde görmüştü. Katlı otoparklar filmlerde illaki cinayetlerle, insanların katil robotlardan zar zor kaçtığı araba takipleriyle ya da gizli bilgi sızdıran gölge şahsiyetlerle buluşmakla bağdaştırılır.

Aklıma gelen tek istisna dışında filmler ve genelde kurmaca eserler, kendini eşleyen makineleri gerçeklikten tamamen uzak bir şekilde sadece korku öğelerine odaklanarak resmeder. (*Batteries Not Included* [Piller Dahil Değil, 1987] adlı filmdeki küçük cihazlar istisnadır, gerçi bu film için de dengeli bir gerçekçiliğin numunesi diyemeyiz.)

Nanoteknoloji, evlere, arabalara ve şehirlere doğal hayatın bazı güzel özelliklerini kazandıracak eserleri kesinlikle yaratabilir; örneğin kendini korumak ve onarmak gibi vasıfları mümkün kılabilir, hem de

ucuz korku filmlerinin komik senaryolarına benzer olasılıklar doğurmadan. Maalesef, sadece Hollywood yutturmacası işlikler değil, ev ödevini yapmış olması gerekirken yapmayan "ciddi" eleştirmenler de meseleyi sunarken muazzam hatalar yapmıştır. Şimdi bakalım sisi biraz dağıtıp konunun üzerine ışık tutabilecek miyiz?

Çeyrek milyon yıl önce (ya da daha önce), insanoğlu kendini çoğaltan ilk teknolojiyi geliştirdi: Ateş. O zamandan beri çoğu insanın ateşi bilmesi ve onu denetleyebilmesi gerekmiştir. Nasıl ateş yakılacağını, yemek pişirecek ya da ısınacak kadar ateşin nasıl korunacağını, ateşin giysileri ve binaları sarmasına izin vermemeyi bilmek gerekli olmuştur.

Geleneksel ateş yakma teknikleri hâlâ izcilere, yavrukurtlara öğretilir. Ateşin üç unsura ihtiyacı var: Yakıt, hava, ısı. Ateş yakmak için üçünü de tedarik etmek lazım; söndürmek için ise en az birinin ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Bu nispeten basit tarif sayesinde insanlar binlerce yıl boyunca ahşap evlerde yaşayıp şöminelerinde ateş yakmıştır. İnsanların büyük çoğunluğu bunu tam güvenlikle yapabilecek durumdadır.

Kendini çoğaltan her teknolojinin genel mantığı buna benzeyecek. Bu tarz teknolojinin hammaddeye, enerjiye ve bir denetim şablonuna ihtiyacı olacak. Bütün bunlar süreci başlatmak için gerekli, herhangi birinin yokluğu ise durdurmak için yeterli.

Çoğumuz hâlâ ateş kullanırız; fakat artık hakkında çok şey bilmemize gerek yok. Ocağınızda, fırınınızda, ızgaranızda hep ateş yanar ve arabanızın motorunun silindirlerinde her saniye yüzlercesi alevlenir. Makineler bu alevleri itinayla tasarlanmış, tamamen denetim altındaki koşullarda yakar ve söndürür, üstelik çoğu zaman ateş yandığını bile fark etmezsiniz.

Kendini çoğaltan ikinci teknolojimiz tarımdı. Yaklaşık on bin yıl önce vücut bulmuştur. Bu teknoloji sayesinde dünyanın çehresine yeni bir şekil verdik. Çiftçiler muazzam bir emek harcar ki kendi kendine üreyen bitkilere doğru çevre şartlarını sağlayabilsinler. Kendini en rahat çoğaltan bitkileri değil, en yararlı ürünleri veren bitkileri seçerler; bunları yetiştirmek çoğunlukla yabani otları büyütmekten zordur.

İnsanların yüzyıllar boyunca varlıklarından habersiz bir şekilde, kendi kendine üreyen unsurları bazı uygulamalarda kullandığını unutmayalım. Şarap ve ekmek yapımında maya, peynir imalatında bakteri kullanılmasından bahsediyorum. Günümüzde pek çok insan sırf eğlencesine şöminede ateş yakar, ekmek, şarap ve/veya peynir

üretir, bitki yetiştirir ya da hayvan besleyip büyütür. Üreme, harika bir süreçtir, fakat denetimi zor değildir, üstelik ne tehlike arz eder ne de kendisine zarar verir. Hatta o kadar gizemli de değildir.

Yirminci yüzyılın ortasına gelindiğinde biliminsanları, hayatın işlevlerinin bütünüyle mekanik olduğunu, ayrıca bunun üreme için de geçerli olduğunu anlamaya başlamıştır. O dönemin en büyük beyinlerinden biri olan John von Neumann, ki bilgisayarın icadıyla kuvvetli bağı bulunur, kendi kendine üreyen otomat dediği cihazlar için katı bir yapı tasarlamıştır.

Temel fikir, hammaddeyi alıp bundan makine üretebilen otomatik imalat makinelerine sahip olmaktır. Bu makineye talimatlar verilir, ki 1950'lerde bunlar delikli kağıt şeritler üzerine yazılırdı; bu talimatlar da makinenin belirli aksamı üretmesine kılavuzluk eder. Kendi kendine çoğalan makine, tüm makinelerin tüm aksamını üretebilen bir makine işliği gibidir. Bu işlik, bir nevi otomatik montaj hattını, kağıt şeridi okuyup makineleri yönlendiren bir denetleyici birimi, ilki gibi başka bir makine işliği kurmak için makinelere talimat veren (uzun) bir kağıt şeridi ve şeridi kopyalayabilen alet edevatı içerir.

Von Neumann bunu tasarladıktan kısa süre sonra, hücrenin iç işleyişini inceleyen biyologlar, hücrelerin ürerken, genel hatlarıyla von Neumann'ın tasarısına benzeyen bir yöntem kullandığını ortaya çıkardı. DNA, kağıt şerit yerine geçiyordu, aksam inşa etmek ve DNA'yı kopyalamak için ise özgül aygıtlar mevcuttu.

FABRİKA ZEMİNİNDE

Ayrıntılara girildiği zaman ise, hücre içinde olan bitenler, otomatik olsun olmasın montaj hattının işleyişine elbette benzemez. Bilhassa, hücrenin ürettiği aksam, yani protein molekülleri, üretim makinesinden alınıp üretim sürecinde yer alan bir sonraki parçanın ardına eklenmez. Bunun yerine protein molekülleri, yapışacağı parçaya tesadüf edene kadar etrafta gelişigüzel sürüklenir; bu sürece otomontaj denir.

İnsan boyutundaki fabrikalarda olduğu gibi, nanomakinelerde de aksamın etrafta sürüklenmesi söz konusu değil. Bir noktadan, belirlenmiş başka bir noktaya robot kollar, mekikler ya da nakil hatları tarafından götürülürler ve mekanik güç kullanılarak montajlanırlar. Bunun iki büyük faydası var: Bir defa, nesneler daha hızlı hareket eder, etrafta gezinmek yerine gidecekleri yere doğrudan giderler; ikin-

cisi, parçalar yalnızca işlevlerine göre tasarlanabilir, yani işlevin yanı sıra kendi kendilerine birleşmeleri bakımından tasarlanmalarına gerek yoktur. Tasarıma otomontaj özelliği eklemek büyük bir kısıtlama getirir; tasarıma bu özelliği eklemek şartsa, hem belirli parçaların birbirine uyması gerekir hem de yan yana gelmeyecek parçalar birbirine uymamalıdır. Sıradan bir fabrikada A çıkıntısı, ait olduğu B yuvasının yanı sıra ait olmadığı C yuvasına uysa da bu sorun değildir; onu C yuvasına takmazsınız, olur biter.

Nanomakine, hücresel makinelerinden bir bakıma daha hızlı ve sadedir. Öte yandan büyük bir sakıncası da var: Evrimleşemez. Hücrelerin mevcut şekilde işlemesinin sebebi kısmen, tüm mekanizma çalışmaya devam ederken küçük değişiklikler yapmanın mümkün oluşudur. Diyelim ki mevcut bir makineye parça ilave etmek istiyorsunuz. Tek yapmanız gereken, o parçayı imal etmeye başlamaktır. Parçanın şekli mevcut makineye uyuyorsa, parça makineye denk gelir, üzerine yerleşir ve çalışmaya başlar. Montaj hattı şartlarında, sadece yeni parçayı değil aynı zamanda nakil teçhizatını, montaj makinelerini, süreç çizelgesini, denetleyici mekanizmayı ve yazılımı da tasarlamanız gerekir.

Evrim sürecinde 1.000 değişiklikten 999'unun kötü sonuçlandığını ve yitip gittiğini unutmayın. Yeni aksam imal etmeye uğraşır ve hatalı üretirseniz, yerine oturmaz ama bunun dışında bir sakıncası yoktur. Fakat fabrika örneğine bakalım; burada herhangi bir etki görmek için aynı zamanda pek çok değişiklik yapılmalı ve bunların hepsi doğru yapılmış olmalı.

Eski moda bir açık hava pazarı ya da çarşısı düşünün. Sabit tezgâhlar yerine tüm işportacıların el arabası var, etrafta sürekli dolaşıyorlar ve tesadüf ettikleri işportacılarla alışveriş yapıyorlar. Diyelim ki aralarında bir de omletçi var. Odun kömürü, yumurta, tereyağı ve kağıt tabak satıcılarına tesadüfen rastlıyor (her şeyi tek tek satın almak zorunda). Tüm ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra omlet yapar ve karşısına çıkacak omlet müşterisine mamulünü satmaya hazır hale gelir.

İşleri bir parça değiştirmek isterseniz, pazar yerine peynirciler ekleyebilirsiniz. Bir süre sonra, omletçi bu yeni işportacılara sürecin uygun aşamasında tesadüf edince, pazarda peynirli omlet görmeye başlamanız makuldür.

Şimdi bunun yerine bir fabrika tahayyül edin. İnsanların etrafta başıboş dolanamadığı bir binadır bu. Çeşitli malzemeler getiren kamyonlar kendileri için belirlenmiş yük boşaltma yerlerine gelir,

örneğin yumurta için ayrı, tereyağı için ayrı yük boşaltma yeri gibi. Fabrikanın içinde, her işlem için özel teçhizata sahip odalar olsun. Yumurtalar başka odada kırılıyor, tavalar başka odada tereyağlanıyor, yarısı pişmiş omletler başka odada tersyüz ediliyor. Her odada bulunan uzman sadece o işlemi yapıyor. İhtiyaç duyduğu malzemeler duvardaki delikten geliyor; malzemelere bakmasına gerek bile yok, çünkü her seferinde aynı malzemenin geleceği kesin. İşlemi de bakmadan yapıyor ve mamulü başka bir duvardaki delikten gönderiyor.

Bu düzeneği peynirli omlet yapmak üzere değiştirmeye kalkarsanız, büyük sorunla karşılaşırsınız. Bir defa, peynir için yeni bir yük boşaltma yeri inşa etmek gerekir. Sonra yumurta kırma ve pişirme işlemleri arasına peyniri ilave etmek için bir oda daha inşa edilmelidir. İşe bakın ki yer yok! Mevcut odalar zaten yan yana. Dolayısıyla fabrikanın yarısını yıkıp ortasında yeni bir oda ve yük boşaltma yeri kurarak yeniden bina etmeniz gerekiyor.

Peynir işportacısının biri, tesadüfen yanlış yola sapıp sizin pazar yerine gelebilir ve kâr ettiği için gelmeye devam eder. Tüm fabrikayı kapsayan yeniden tasarımlar ve inşalar ise tesadüf eseri gerçekleşmez. Malzemelerin mekanik olarak belirli noktalara nakledildiği, eşgüdümlü ve bütünleşik nanomakine sistemleri, önceden tasarlanmış belirli bir işi yapma konusunda, hücrelerden çok ama çok daha verimli olabilir. Evrim için gerekli olan karmaşık, uyum göstermeye yönelik becerilerden vazgeçerek bu verimliliğin bedelini ödemiş olurlar. Birden fazla işlemi ya da süreci idare edecek şekilde önceden tasarlanmışlarsa, yeni duruma uyum sağlayabilirler, fakat ilave her beceri verimlerini düşürecektir. Basitçe söylemek gerekirse, kendi başlarına evrimleşemezler.

Kurmaca yazarlarının anlayamadığı ya da kasten göz ardı ettiği bir konudur bu. Canlıların uyum gösterme yetenekleri gibi bazı özelliklerini alırlar, sonra bunları mekanik sistemlerin işlem hızı gibi bazı özellilerine eklerler, böylece ikisinden de özellikler taşıyan hayalî canavarlar uydururlar. Fakat gerçek dünyada bu özelliklerden bir tanesini elde etmek için ötekinden feragat etmeniz gerekir: Burada bir takas söz konusudur.

ÜREMEYE KARŞI EŞLEME

Bu alanda İsviçre Federal Enstitüsü'nden Moshe Sipper'in öncülüğünü takip eden araştırmacılar, kendi taklidini üreten sistemler için "üreyen" değil "eşleyen" sistemler der. Fark şudur: Üreme, evrim

amacıyla kasten, aslıyla bire bir olmayan kopyalar üretilmesini içerir, oysa eşleme bire bir kopyanın yapıldığı mekanik bir süreçtir. Daha önce gördüğümüz gibi, canlı hücreler evrimleşmek için ihtiyaç duydukları becerilere büyük bedel öder.

Cinsellik, evrim için oldukça gerekli görünür, fakat basit bir kopyalama süreci değildir. Cinsellik söz konusu olduğu zaman, organizmayı betimleyen genetik bilgi iki ebeveynden, dört büyük ebeveynden, sekiz büyük büyük ebeveynden vs. süzülüp gelir. Türünüzdeki nüfusun çoğunluğuyla ilgili genetik bilgi elde etmek için çok fazla nesil geriye gitmeye gerek yok. Demek ki türün herhangi bir üyesinde ortaya çıkmış yararlı bir mutasyonun size ulaşma ihtimali var. Eşeysiz üreme söz konusu olsaydı, bu mutasyonun size gelmesi için atanız olan bir bireyde ortaya çıkması gerekirdi. (Bakterilerin bile DNA takası yaptığını ve bu bağlamda "eşeyli" olduklarını unutmayın.)

Basit bir kopyalama süreci için cinsellik, zaman israfına ve karmaşıklığa yol açan gereksiz bir iş sayılır. Cinsellik, insanlar için bile oldukça karmaşık ve zaman alan bir süreçtir (gerçi bir şekilde bunu dert etmiyoruz), ayrıca evrim için ödediğimiz bedelin bir parçasıdır. Nanomakinelerin cinselliğe ihtiyacı olmayacak, dolayısıyla böyle bir özellikleri de olmayacaktır.

Artık biyolojik üreme ile mekanik eşleme arasındaki farkı netliğe kavuşturduğumuza göre, eşleme üzerine odaklanalım. Doğa, kendi kendine üreyen organizmalardan geçilmez, fakat kendini eşleyen makineleri nerede bulacağız? Böyle makineler mümkün mü?

Üreme meselesini bertaraf etmiş olsak bile, eşleme mekanizması, farklı farklı tertiplerin geniş bir yelpazesini içerir. Von Neumann'ın kinematik sistem eşleyicisi, besin çözeltisinde yüzen bakterilerden ya da mayalardan ilham almıştır. Her eşleyici, aksam çorbasında yüzen küçük bir robottur ve tesadüf ettiği her aksama, montajlıyor olduğu kısmen bitirilmiş robot için ihtiyaç duyduğu parça mı diye bakar. Bu sistem, üçüncü aşama dediğimiz nanosisteme denk geliyor, gerçi von Neumann, aksamın makro boyutta olmasını öngörmüştür.

İşte size bir düşünce deneyi: Diyelim ki oyuncak robotlarla dolu bir ambarımız var; bu robotlar tekerleri üzerinde yuvarlanıyor, fakat kolları ya da başka manipülasyon becerileri yok. Diyelim ki her robotun sırtında büyük bir AÇ düğmesi var. En başta, biri dışında bütün robotlar kapalı durumda. Açık olan robot etrafta amaçsızca dolanıyor ve kısa süre sonra başka bir robotun düğmesine çarpıp onu da açık hale getiriyor. Şimdi iki robot açık durumda ve her biri başka robotları da açık hale getirecek vs.

Şimdi kimileri, bunların kendini eşleyen robotlar olduğunu iddia edecektir. Eşleme için kullandıkları hammadde, "kapalı" vaziyetteki robotlardır. Tamam, bunun aptalca olduğunu söyleceksiniz; fakat robotun düğmesine çarpmak yerine, pil alıp robota taksalar ne olur? Peki, robota hem pil taksalar hem de kol montajlasalar? Küçük robot gövdesinin üzerine bir kol, dayanak üzerine küçük bir gövde ve jantlara teker yerleştirseler ne olur?

Bu sorun bir bakıma anlambilimle ilgili bir konu, fakat anlambilimsel olmayan bazı meselelerin aydınlatılmasında yardımcı olabilir. Öncelikle, robotların kendini eşlediğini söylemekte insan tereddüt eder, çünkü bu işlemde robotlar baştan yaratılmaz, sadece açık vaziyete getirilir. Bu mecrada ne ölçüde aşağı inersek, başlangıçta robotun mevcut olmadığını iddia etmemizi gerektiren gerekçelerden o kadar çok bulabiliriz.

Açma kapama düğmesine basılan ilk örnekle ilgili başka bir durum ise, robotlar çoğalmıyor olsa da, bir kopyalama sürecinin yine de var olmasıdır. Her ne kadar karmaşık girdilere ihtiyaç duysa ve asgari bir değişikliğe yol açsa da, robotun faaliyeti kopyalanmaktadır. Başka bir konu ise, bu sürecin gerçekleşmesinin gayet muhtemel oluşudur.

Daha alt düzeylere inip robotların dişli çark, rulman ve mil gibi aksamla montajlandığı noktaya doğru ilerlersek, neredeyse herkes, bu şekilde yeni bir robotun yaratıldığı konusunda hemfikir olur. Aynı zamanda bu kendini eşleme düzeyi, robot fabrikalarında hayata geçtiği için, o kadar bariz olmasa da kesinlikle olasıdır. Robot aksamının, inşa edilen robottan çok daha özelleşmiş bir makine tarafından montajlanması daha etkin, dolayısıyla da daha yaygın bir işlemdir, fakat robotlar iki şekilde de yapılır.

İkinci örneğe, yani pil takan ve kol vidalayan robota geri dönelim. Diyelim ki bu iki işi de yapan robot, pil şekilli bir kavrayıcı birimine sahip olmalı, pili takmalı, kavrayıcı birimi değiştirmeli, duruş konumlarını değiştirmeli, kendi koluna tornavida takmalı, yeni robot kolunu vidalamalı, sonra geri dönüp sıradaki robot için aletlerini değiştirmeli. Açıktır ki birlikte çalışan iki robot, duruşlarını ya da aletlerini değiştirmek zorunda kalmayacakları için, aynı işi iki katı aşkın bir hızla yapabilir.

Uzmanlaşmanın, imalat sürecine büyük verimlilik kazandırdığı fikrine ulaşmak için Adam Smith'in özgün *Milletlerin Zenginliği* kitabından başka ekonomi kitabı okumanız gerekmez. Bu durum, 1776'daki gibi bugün de geçerli. Hatta bazı bakımlardan daha da ge-

çerli, çünkü Smith, zanaatkârların ve aletlerin uzmanlaşmasından bahsediyordu ve bugün, epey farklı işlemler için uzmanlaşmış tamamen farklı makineler yapabiliriz.

Bilgisayarınıza bağlı sıradan yazıcıyı düşünün. Siyah beyaz basit bir metni sayfa üzerine bir dakikada yazabilir (lazer yazıcıysa daha kısa sürer). Aynı sayfayı kalemle, cetvelle ve bol bol alıştırmayla bir saatte mi ne üretirsiniz. Yazıcı, size kıyasla çok ama çok basittir. Siz, farklı farklı pek çok şey yapabilirsiniz. Yazıcı ancak tek iş yapar, fakat o işi sizden çok daha hızlı ve verimli icra eder.

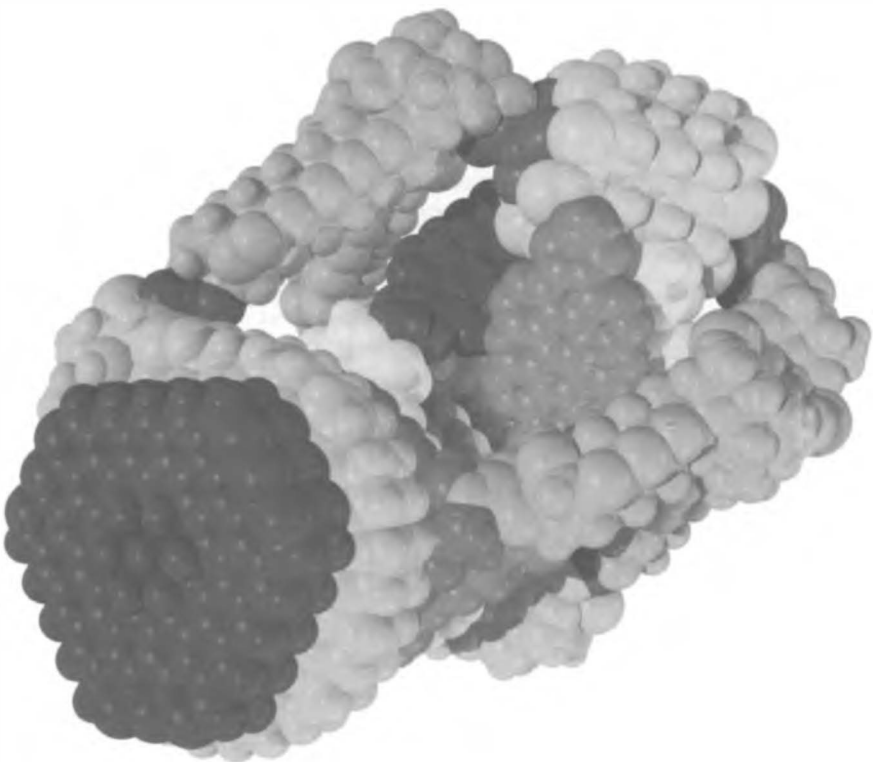
Sonuç: Hiçbir imalat sistemi, uzmanlaşmış makinelerin işe yaradığı yerde genel amaçlı makineleri mümkün mertebe kullanmayacaktır. Yazıcıyla aşağı yukarı aynı teknoloji düzeyine sahip, elindeki kalemle kağıtlara yazı yazabilen, sizinle satranç oynayan, ayrıca bilgisayar ekranınızın da tozunu alan bir robot kol yapmak mümkün; fakat böyle bir makine, yazıcıdan katbekat yavaş çalışacaktır.

Eşleme hakkında ne demeli? Uzmanlaşmış makineler kendini eşleyemez. En azından bunu tek başlarına yapamazlar. Fakat bir bütün olarak kendilerini eşleyebilirler. Herhangi bir fabrikada tek tek her makine, başka yerlerdeki fabrikalarda başka makineler tarafından parça parça imal edilmiştir. Sistem, bir bütün olarak kendisine ait herhangi bir parçanın eşini yapabilir. Bütün olarak sistem, tek başına kendisini kopyalayabilecek bir makine barındırmasa bile, kendisini genişletebilir ya da onarabilir. Bu gibi sistemlere otojenöz sistemler denir.

Sistem ne kadar çeşitlilik içeriyorsa, yani ne ölçüde uzmanlaşmışsa, o ölçüde verimlidir. Nanosistemler, insan hücresi boyutunda bir oyluma milyonlarca çark, manivela, palanga falan filan sığdırabilecek; görünür büyüklükte her türlü sistemin, uzmanlaşma için bol bol boş yeri olacak. Bu, eşgüdümlü makinelerin oluşturduğu bir otojenöz sistem anlamına gelir, yoksa kendini eşleyen tekil makineler değildir bunlar. Kendini eşleyen tekil makineler, teknik bakımdan mümkün olsa da, bilgisayar yazıcılarından ziyade kalem tutan robot benzeri aletler olacaktır.

MONTAJCILAR

Drexler, *Engines of Creation* adlı kitabında, montajcı dediği bir cihaz üzerinden moleküler imalat fikrini tanıtmıştı. Montajcı, mikro boyutlarda, kendini eşleyen, serbestçe dolanan bir makinedir; yapılacak işi hızlandırmak için kendi kopyasından yeterli sayıda ürettikten sonra,



Şekil 14 Robot bir bilek. Drexler'ın bu altı dereceli hareket serbestliğine sahip olan tasarımı, küçük ölçekli manipülasyon mekanizmalarını temsil eder.

moleküler inşa yeteneklerini kullanarak mamuller ortaya çıkarır.[1]

Montajcılar, von Neumann'ın bahsettiği kinematik eşleyiciler ile bakteri ve maya gibi mevcut tek hücreli canlıların kavramsal harmanıdır. Yüzyıllar boyunca, mikroorganizmaları fıçı fıçı çoğaltarak peynir ve şarap gibi mamuller ürettik, hâlâ da üretiyoruz. Dolayısıyla, açıklayıcı niteliğe sahip bir cihaz olan montajcı, bunun dolaysız bir uzantısıdır ve Drexler, daha verimli çalışacak bir sistem için gerekli olan mimarinin ve ayrıntıların güçlüklerini izah etmeye gerek duy-

[1] K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (New York: Anchor/Doubleday, 1984), s. 55-58. Ayrıca bkz. Robert A. Freitas Jr. ve Ralp C. Merkle'nin montajcı tasarımları: http://www.MolecularAssembler.com.

mamıştır.

Açıklayıcı olmanın ötesinde montajcının daha önemli bir rolü var: Önyükleyici işlevi barındırır. Yazma konusunda yazıcı kadar verimli olmasa da robot kol, yazıcı inşa edebilir (uygun aksamla), oysa yazıcı ne robot kol ne de başka bir yazıcı inşa edebilir. Dolayısıyla, işe bir yerden başlamak istiyorsak, önce robot kolu inşa etmek gerekir.

Yola bir kez koyulduktan sonra, yazıcılara denk makineleriniz olacak. Bunlar, aksam üreten özelleşmiş makinelerdir, fakat yine de aksamı oraya buraya taşıyıp montajlayacak robot kollara ihtiyaç olacak. Montajcı üzerindeki kolların aksine, ki bu kollar kimyasal tepkimelerin doğru yerde gerçekleşmesini temin edecek kadar hassastır (yani nanometrenin onda birinden daha hassastırlar), aksam montajlayan robotun kolları, sadece bu aksamı birleştirecek kadar hassas olsa yeter. Parçaların uç kısımları eğimli, kenarları kızaklı falan olabilir, böylece, belki nanometre ölçeğinde, daha gevşek bir hassasiyet, her parçanın yerli yerine oturması için yeterli olacaktır.

Düşük hassasiyetli robotlar yapmanın sebebi, bu robotların daha hızlı hareket edebilmeleri ve daha öteye uzanabilmeleridir. Bunu kendiniz de deneyebilirsiniz. Elinize kalem alın ve elinizin alt kısmını kağıda değdirmeden kol mesafesinden bir şeyler yazmaya çalışın, tıpkı tahtaya yazar gibi. Eliniz kağıda temas etse yazınız öyle bozuk olmaz. Ancak, kolunuzu o şekilde tutarken kalemi yirmi otuz santimetre öteye rahatlıkla ve hızlı bir şekilde hareket ettirebilirsiniz, oysa normal yazma duruşunda kalemi ancak birkaç santimetre oynatabilirsiniz.

Molekül yoğunlaştırmak, yani nesneleri atom hassasiyetinde inşa edecek şekilde kimyasal tepkimeleri denetlemek, ki aynı zamanda mekanosentez de denir, oya işlemek gibidir; parçaları montajlamak ise yakacak odunları istiflemeye benzer. Talaşları tane tane yapıştırarak bir odun istifi elde edebilirsiniz, fakat bu iş yap yap bitmez. Kurmaca yazarlarının yanıldığı bir başka nokta da bu. Seri bir şekilde molekülleri art arda ekleyen tek robot koluyla bir şeyler üreten basit bir montajcı, fabrika benzeri karmaşık bir sistemden kayda değer oranda yavaştır.

MEKANOSENTEZ

Hücrelerinizdeki moleküler makineler atomik hassasiyete sahiptir, yani aynı proteinin iki kopyası atomu atomuna aynıdır, çünkü denetimli bir dizi kimyasal tepkime tarafından inşa edilmişlerdir. Deney

tüpünde ya da alevde meydana gelen tepkimelerin aksine, hücre içinde tepkimeler gelişigüzel gerçekleşmez,[2] fakat ortaya çıkan moleküler bir yapı, inşa sürecinde gerekli olan aşamalardan biridir.

Keza, nanomakinelerde aksam inşa süreci, atomik hassasiyete sahip ürün imal eden bir dizi kimyasal tepkimeden meydana gelir. Robot kollar ya da nakil hatları üzerindeki fabrika benzeri makineler, molekülleri bir araya öyle şekilde getirir ki arzulanan tepkimeden başkası gerçekleşemez. Elde edilen ürün, tasarımıyla atomu atomuna aynı olan bir makine aksamı olacaktır.

KENDİNDEN DESTEKLİ MONTAJ

Maddenin molekül ölçeğindeki özellikleri, bizim alıştıklarımızdan farklıdır. Bunun sebeplerinden biri boyuttur. Naylon ya da polyester liflerin esnekliğini, aynı malzemeden meydana gelen el boyutundaki katı yığınların esnekliğiyle karşılaştırın ki bu yığınlar ahşap kadar serttir. Molekül ölçeğinde elmas bile esnek ve yaylıdır. Çelik, peynir gibidir; altın ise hamur gibidir. Polietilen, bir tabak spagettiye benzer. Sıvılar, merdivenden aşağı indirilen el arabasındaki çakıl taşları gibidir. Gazlar, dolu fırtınasına benzer.

Başka özellikler ise maddenin atomik doğasına bağlıdır. Bir makine parçasına yarım atom ekleyemezsiniz; atom ya oradadır ya değildir. Dolayısıyla moleküler makine parçaları tümseklidir ve bunlarla pürüzsüz kavis gibi şekiller elde etmek zor ya da imkânsız olabilir.

Son olarak, atomlar yapışkandır. Ortada kimyasal bir bağ olmadığı zaman bile, van der Waals kuvvetlerinden ötürü birbirlerini çekerler. Şekilleri uyuştuğu zaman hücre proteinlerinin birbiri üzerine oturmasını sağlayan işte bu kuvvettir (bunun yanı sıra suyla daha karmaşık bir münasebete girip benzer etki yaratırlar).

Van der Waals kuvveti mikromakinelerin başına derttir. Mikromakinelerin yüzeyleri yüzde yüz pürüzsüz değildir, dolayısıyla van der Waals kuvveti mikromakinelerde yapışkan-sürtünmeye sebep olur. Tüm aksam, zımpara kağıdıyla kaplı güçlü mıknatıslardan meydana gelmiş gibidir. Kolay kolay yerlerinden oynamazlar. Van der Waals kuvveti makro ölçekte bile hissedilir: Gekoların (bir tür kara kertenkelesi) ayakları duvara bu sayede yapışır. İnsan ölçeğinde her nesnenin yapışkan olmayışının sebebi, makro ölçekli nesnelerin

---

[2] Aslında rastgele zamanlarda ve mekanlarda gerçekleşirler, fakat inşa edilen nesnenin üzerinde ancak belirli yerlerde gerçekleşirler.

yüzeylerinin atom ölçeğinde asla uyuşmamasıdır. (Gekonun ayağı fevkalade sarıcıdır, böylece dokunduğu yüzeye uyum gösterebilir.)

Atomik hassasiyette pürüzsüz olan yüzeyler, birbirlerine tutunsalar da birbirleri üzerinden kayarlar. Öyleyse aradaki bu çekimden özgün bir şekilde faydalanabiliriz. Örneğin, bir deliğe ancak sığan tahta çivinin yüzeyle teması en az bir nanometrekarelik alanı kapıyorsa, deliğe çekilir ve orada kalır. Dolayısıyla, aksam montajlayan robotumuzun çok da hassas olması gerekmez. Karanlıkta anahtarı kilide sokmaya çalıştığınızı düşünün. Eliniz etrafta gezinir, anahtarı gelişigüzel ittirir. Sonunda anahtar, kilit deliğine rast gelip içeri kayar. Elinizin deliği tutturacak kadar hassas olmasına gerek yoktur; anahtarı yanlış deliğe sokmayacak kadar hassas olsa yeter. Eğer anahtar deliğinin kenarını huni şeklinde yapmış olsaydınız, bu iş oldukça kolay olurdu.

Uygun şekillere sahip aksamla birlikte van der Waals kuvveti bu anahtar deliğinin kenarı gibi davranır. Aslında fazlasını da yapabilir: Elinizde bir vida ve buna tam uyan dişli bir delik varsa, sizin çevirmenize gerek kalmadan vida kendi kendini vidalayacaktır. Sadece ucunu doğru yere getirin. Bu özelliklerden faydalanan tasarım ve inşa sistemine kendinden destekli montaj denir.

Kendinden destekli montaj, aksam tasarımına bazı kısıtlamalar dayatır, fakat tam teşekküllü otomontaj kadar değil. Örneğin, mandal ya da benzer arayüzler için standart tasarımları yine de kullanabilirsiniz. Kol, yanlış malzemeyi yanlış zamanda yanlış yere yerleştirmeyecek kadar hassastır. Hücrelerde olduğu gibi, tam teşekküllü otomontaj tertiplerinde, herhangi iki düz yüzey birbirine yapışacaktır! Kendinden destekli montaj söz konusu olunca, ne kadar düz yüzey istersek hepsini oluşturabiliriz, hiç sorun olmaz.

Dolayısıyla, tipik bir nano-imalat sisteminde, aksam yapımında uzmanlaşmış pek çok cihaz görmeyi beklersiniz; örneğin kiriş, kılıf, mandal, elmas kablo, mil, çark, rulman, motor, tel ve bilgisayar gibi aksam üreten cihazlar. Ayrıca, sık kullanılmayan, isteğe özel aksam üretebilen genel amaçlı cihazlar da olacaktır. Keza, aksamı birleştirip, örneğin dijital denetimli regülatör gibi ortak kullanıma açık altbirimler üreten hızlı montaj hatları ve fazla rağbet görmeyen aletleri montajlayan genel amaçlı robotlar da olacaktır. Bu tür melez bir mimariyi sadece molekül seviyesinde değil ürün boyutunda da görmeyi beklersiniz.

ÇAY, EARL GREY, SICAK

Mesela 2050 yılının ev içi sentez makinesini (kişisel imalat sistemi) hayal edelim. Tezgâh üzerinde duruyor ve görünüşü mikro dalga fırına benziyor. Evin iletişim ağına bağlı, yani cihazı bilgisayarınızdan, el bilgisayarınızdan, cep telefonunuzdan falan programlayabiliyorsunuz; ya da konuşarak komut veriyorsunuz. Tercih ettiğiniz herhangi bir yazılımı kullanarak tasarım seçebilir ya da yaratabilirsiniz; muhtemelen çoğu insan, internet tabanlı kataloglara benzer bir arayüz kullanacaktır. Gerçi, isteğe özel üretim için daha fazla seçenek olmasını bekleriz, örneğin vücuda tam uyacak giysilerin ölçüsünün otomatik ayarlanması gibi.

Sentez cihazı, su ve gaz borularına bağlı, ayrıca zaman zaman yenilediğiniz bir "nadir elementler" kartuşu var. Bilgisayara ne istediğinizi söylersiniz ve sentez cihazının zil sesini çalıp kapağını açmasını beklersiniz. Küçük, basit eşyaların imalatı saniyeler sürerken, standart dışı yapım gerektiren büyük, karmaşık eşyaların sentezi saatler sürebilir. Bu arada, hammadde olarak doğal gazdan (ve havadan) faydalanan sentez cihazı, elektrik ve su kullanmaz; bunları yan ürün olarak üretir ve başka yerde faydalanılsın diye evin dağıtım şebekesine geri pompalar. (İçecekler istisna teşkil eder; bunların imalatında gerekli olan su, üretilenden fazladır.)

Sentez cihazı aynı zamanda elma, beyzbol topu, kahve fincanı, elmas, yumurta (kuluçkaya yatmak için değil yemek için), katlanır mobilya, alet edevat, kulaklık, dondurma, ceket, bıçak (metal değil elmas bıçak), lamba, para (kağıt), nanogiysi, büro malzemesi, el bilgisayarı, vezir (ve öteki satranç taşları), robot, sentez cihazı, tenis raketi (kullanılmadığı zaman cebe sığacak kadar küçülecek), Alet Sisi, taşıtlar (montaj işlemleri gerekli olacaktır), kol saati, ksilofon (bunu söyleyeceğimi anlamıştınız değil mi?), iplik, zirkon taşı üretebilecek.

Aslında zirkon taşı üretemez, çünkü bu taş esasen zirkon silikattan meydana gelir ve evde zirkonyumun kullanım alanı yoktur, dolayısıyla tüketicilere yönelik makinelerde bu elementin bulunması pek muhtemel değil. Doğrusu, hesaplı modellerin metallere pek bulaşmayacağını düşünebiliriz, sadece gıda molekülleri için eser miktarda metal kullanacaklardır. Ev içi sentez cihazının canlı yaratıklar, hatta içinden civciv çıkacak yumurtalar yaratamayacağı kesin.

Bunun sebebi, ev içi sentez cihazlarıyla atomların her türlü dizilişini yaratmanın mümkün olmayacağıdır. Tüketim ürünlerini imal edecek kadar (minik) bir altkümeyi kapsayacaktır. Farklı bir kimya

altyapısını, adını koymak gerekirse yağ asitlerini, şekerleri, nişastaları, lifleri ve proteinleri kapsayan başka bir altküme, gıda maddesi üretmek için kullanılabilir. Sentezlenmiş bifteğinizin hücreleri, güvenli ve lezzetli olduğu bilinen proteinlerin bir seçkisiyle doldurulabilir, fakat işlev görmek için gerekli olan tüm moleküler makineleri barındırmaya yaklaşamayacak.

Bugünün kağıt parası, makineler özellikle bunu imal etmesin diye programlanmadıkları takdirde kolaylıkla sentezlenebilir. Bu zaten yüzleştiğimiz bir sorun. Paranın fotokopisini çeken, bilgisayardan çıktısını alan insanlar olmuştur. Resmî banknot, kalpazanların bir adım önünde kalmak için, yavaş da olsa mütemadiyen biçim değiştirmiştir ve bunu yapmayı rahatlıkla sürdürebilir. Normalde hiçbir işe yaramayan elementleri resmî paranın yapısına dahil edip ev içi sentez cihazlarında bu elementi yasaklamak basit bir yöntemdir. Altın muhtemelen haddinden fazla kullanım alanına sahiptir; zirkonyum bu konuda işe yarar mı acaba?

BÜYÜCÜ ÇIRAĞI

Sentez cihazı, yeni bir sentez cihazı yapabildiğine göre, kendini eşleyen bir makine değil mi? Hem evet hem hayır; bu terim biraz muğlak. *Kendisinin* eşini yapar, fakat bunu *kendi başına* yapmaz. Yeni bir sentez cihazı ürettiğinizde, üçüncü nesil sentez cihazını üretebilmesi için, birisinin onu cihazdan dışarı çıkarması, kurması, su ve gaz şebekesine bağlaması, fişini takması ve programlaması gerekir. Eşleyici birim, tıpkı demirci ustasının aletleri gibi otojenöz olsa da, kendini eşliyor diyemeyiz. Dolayısıyla sentez cihazları bir yandan kendini eşleme özelliğinin düşük masraf gibi faydalarından yararlanırken, bir yandan da dünyanın sonunu getirebilecek (kendini eşleyebilen başına buyruk cihazlar gibi) olasılıklardan bütünüyle uzak dururlar.

Buna rağmen kimileri, evde yapılan serbest imalat, ekonomi sisteminin çöküşünü imliyor diye kehanette bulunmuştur. 1940'larda radyo mühendisi olan George O. Smith'in yazdığı kısa öykü serisi *Venus Equilateral* (Venüs Eşkenarı), bu mecrada yazılmış bir klasiktir. İhtiyaç duyulan her şey makinelerden elde edilebiliyorsa, o zaman kim çalışır ki?

Bu soruyu, tersini sorarak yanıtlayabiliriz: Eğer herkes ihtiyacını makineden karşılarsa, kimin çalışmaya ihtiyacı olur ki? İnsanlar çalışmak istese bile, ne yapabilirler ki?

Bir defa, sentez cihazının üretebileceği yeni malzemeler icat ede-

bilirler; mutlaka ileri bilim alanında icat olması gerekmez, yeni bir giyim tarzı da olabilir. Makinelere su, gaz, enerji getiren altyapının bakımında rol alabilirler. Sporla, sanatla, eğlenceyle, siyasetle, hukukla meşgul olabilirler, yazılım geliştirebilirler, bilimsel buluşlar yapabilirler, hatta nanoteknoloji hakkında kitap yazabilirler. Mevcut ekonomimizin yalnızca yüzde otuzu imalatla ya da çiftçilikle ilgilidir. Gerisi enformasyon ve hizmet alanlarını kapsar.

Sentezlenemeyen şeyler her zaman olacak (mesela toprak, tarihi eserler ve insanların ilgisi). Bunları elde etmek için insanlar çalışacak ve ticaret yapacak. Fakat sentez cihazları varken, rahat bir hayat sürmek için gerekli olan çalışmanın miktarı çok daha az olacak.

Sentez cihazlarının en büyük sorunu, günümüz bilgisayarlarından zaten aşina olduğumuz sıkıntılar olacak. Size müstehcen fotoğraflar satma teklifinde bulunan davetsiz elektronik postalar, kendi evinizin mahremiyetinde size seks oyuncağı üretme teklifinde bulunacak. Bilgisayarınızı ele geçirip dosyalarınızı berbat eden virüs, bunun yerine gıdalarınızı zehirleyebilir.

Şirketler, bir ay çalışıp sonra dağılacak eşyalar için bedava tasarımlar sunacak, tıpkı günümüz yazılımlarının deneme sürümleri gibi. Sonra, gerçek eşyayı bir kalemde satmak yerine, çalışan sürüm için sizden aylık ücret isteyecekler. İlk başta kullanışlı görünen, fakat tam işlevine ulaşması için, çok sayıda pahalı ilave parça satın almanız gereken eşyaları satmaya çalışacaklar.

Bir bakıma, iyi ki bu sıkıntıları şu an sadece bilgisayarlarımızı olumsuz etkilerken yaşıyoruz. Maddi ürünlerde bu sorunlarla, bilgisayar kullanıcılarının hazırlıksız olduğu şartlarda karşılaşmış olsaydık, muazzam hasara yol açabilirlerdi. Bunun yerine önceden uyarılmış bir şekilde ilerliyoruz. Acaba gerekli tedbirleri alacak kadar zeki miyiz?



DOKUZUNCU BÖLÜM

GIDA, GİYİM, BARINMA

Nanotek Çağında Hayatınızdan Bir Gün

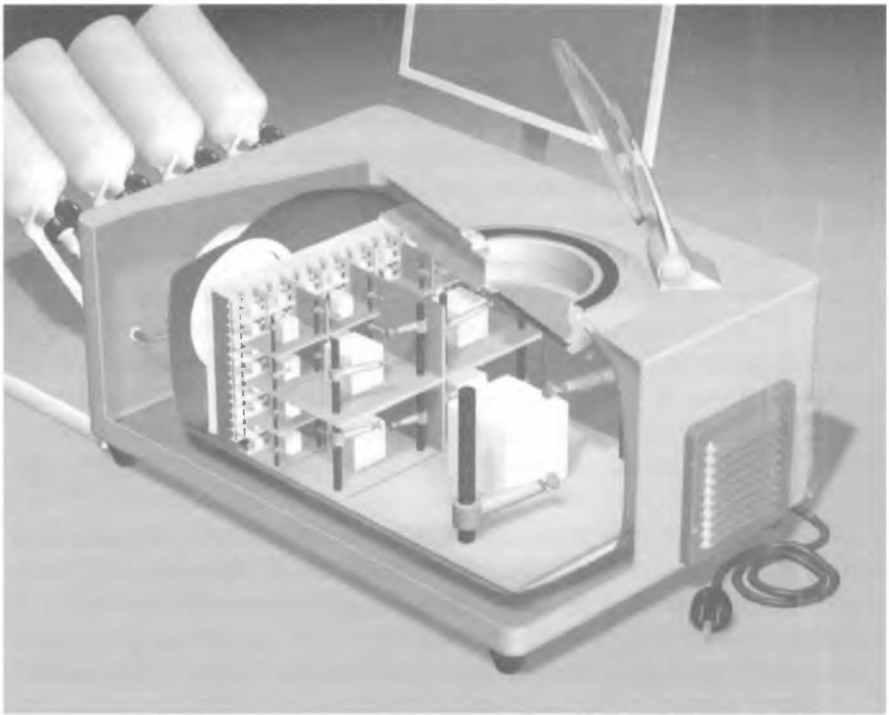
Nanoteknoloji çağında gündelik hayat bugünkünden epey farklı olabilir, fakat öyle olmak zorunda değil. Yirminci yüzyılın başlarında insanlar, ev dışındaki tuvaletlerin yerine evin içine tesisat döşemek ve yağ lambası ile mum yerine elektrikli aydınlatma kullanmak konusunda hevesliydiler. Ev angaryaları, odun ateşiyle ısıtmak zorunda kalmadığınız fırınlardan çamaşır makinelerine kadar her türlü imkân tarafından kolaylaştırılmıştı. O zamandan beri televizyonlarımız, mikrodalga fırınlarımız ve Roomba modeli elektrikli robot süpürgemiz var.

Aslında çağdaş orta sınıf Amerikan hayatı, sırf fiziksel bakımdan fazlasıyla rahattır. Bedenlerimizin sağlığı için gerekli olan bedensel alıştırmaları yapmayız. Spor aleti üzerinde daha fazla zaman harcamaktan başka anlamı olmayacaksa, emekten tasarruf eden cihazların sayısını artırmanın faydası ne?

Bilimkurgunun ilk dönemlerindeki klasik öngörü gaflarından biri, gıda hapı fikriydi. Zamandan tasarruf etmeyi sağlayacağı düşünülmüştü; yemek pişirmek, sunmak ve bulaşıkları temizlemekle ilgili tüm o saçmalıklardan uzak durulabilecek denmişti; hatta yemek odası inşa etmek anlamını kaybedecekti. Sadece günde üç hap alın, yeter.

Elbette sorun, çoğu insanın yemekten hoşlanmasıdır. Toplumsal bir hadisedir bu, insanın hayattan keyif almasını sağlayan unsurlardan biridir. (İlk dönem bilimkurgu oldukça bağnazdı, yoksa bebeklerin fabrikalarda yapılmasını, dolayısıyla insanların cinselliğe bulaşmayacağını tavsiye edecek kadar ileri gidebilirdi.) Takvimleri dolu olan ve pek boş zamanı bulunmayan insanlar bile, ara vermek için öğün zamanlarını iple çeker.

Bazı insanlar yemek pişirmekten hoşlanır, fakat bugün yediğimiz gıdanın büyük kısmı rahatlık olsun diye işlenir ve paketlenir.



Şekil 15 Ev içi sentez cihazı. Nanofabrika ya da şahsi imalat sistemi de denir. Her evde bulunan bir cihaz olacak, çoğu ev eşyasını bu cihaz üretecektir. K. Eric Drexler'ın tasarımından yola çıkılarak çizilmiştir. Lizard Fire Stüdyolarından John Burch'in izniyle (www.lizardfire.com).

Yemek pişirenlerin pek çoğu, hesaplı olduğu için yemek yapar ya da evde pişirilmiş taze gıda, işlenmiş gıdadan lezzetli ve besleyici olduğu için yemek pişirirler.

Önce fabrikalardaki, sonra restoranlardaki, son olarak da evlerdeki nanotek sentez cihazları bu durumu iyileştirecektir. Çağımızın işlenmiş gıdaları, kaliteyi düşüren iki kısıtlamadan mustarip. Birincisi, genelde merkezî mekanlarda işlenip sonra gidecekleri yere gönderilmeleri ve istiflenmeleridir (aynısı pek çok mamul için de geçerli). Bu, yediğiniz gıdanın taze olmadığı, ayrıca dağıtıma ve depolamaya uygun şekilde hazırlandığı anlamına gelir: Hamken toplanmıştır, koruyucu maddelere boğulmuştur, lezzetli olsun diye değil rafta uzun süre dursun diye yetiştirilmiştir (ya da bu amaçla genetik müdahalede bulunulmuştur).

İkinci kısıtlama ise işlenmiş gıdanın masrafıdır. Bu günlerde pek

çok gıdanın şekerli ve nişastalı olmasının sebebi, yağa ve proteine kıyasla şeker ile nişastanın ucuz oluşudur. (Üstelik doğal yağlar yerine çoğunlukla daha ucuz fakat beslenme bakımından zararlı olan trans yağları alırsınız.) İşlenmiş gıdanın içine giren maddelerin şaşırtıcı bir yüzdesi, kimyasal reaktörlerden çıkan maddelerdir.

Molekül sentezi sayesinde gıdalar, mevcut işlenmiş ürünlere kıyasla doğal gıdalara çok daha yakın olacak. Hiçbir hayvanın öldürülmesine gerek kalmadan et, hiçbir yaban yaşam alanının yok olmasına yol açmadan sebze meyve yiyebilirsiniz. Yemek istediğiniz gıdalarda ihtiyaç duyduğunuz ne vitamin ve mineral varsa içersin diye genetiği değiştirilmiş organizmaların doğaya salınması gerekmeyecek. Gıdalar da pişirmenin ya da sofraya oturmanın hemen öncesinde taze taze sentezlenecek; böylece artık buzdolabına ihtiyaç kalmayacak. Aslında pişmiş halde bile sentezlenebilirler, böylece ocaklar da gereksizleşir.[1]

Gıdanın yanı sıra tabak da sentezlenebilir ve kirli tabaklar doğrudan geri dönüşüm kutusuna atılabilir. Elbette, nanoteknoloji sayesinde katı elmas tabaklar üretmek mümkün olacaktır ki bu tabaklar musluk altında şöyle bir sudan geçirilince tertemiz hale gelir, fakat uzun vadeli şu temayüller hemen akla geliyor: İmal edilen eşyalar ucuzlar ve mekan git gide pahalı hale gelir (en azında dünyada). Dolayısıyla tipik ev içi düzenlemelerin eğilimi, eşyaları ihtiyaç duyulan zamanda ve yerde imal etmeye, ayrıca istiflemek yerine geri dönüşüme kazandırmaya yönelik olacaktır.

GİYİM

> Adamın gri fanilası gövdesine tam oturmuştu, gömleğinin beyazlığı göz kamaştırıyordu, kravatı ise gökkuşağını utandırabilirdi. Yumuşak fötr şapkası, Bond caddesini terk ettiğinden beri sanki ilk kez gezintiye çıkıyordu. Güderi eldivenleri doğrusu dünyaya ilk kez sergileniyordu. Sol bileğinde altın saat vardı ve elinde altın kakmalı abanoz baston taşıyordu.
>
> Anlardınız ki üstündeki her şey illaki en iyisindendi ve eşsiz, lakayıt bir şıklık edasıyla giyinmişti; başkaları bu tavra öykünmeye teşebbüs edebilirdi, fakat tüm haşmetiyle bu havaya ancak Aziz erişebilirdi...
>
> Leslie Charteris, *The First Saint Omnibus*

[1] Pişirme işlemi gıdanın moleküler yapısını değiştirir, aynı zamanda gıdayı ısıtır. Çiğ gıda yaratıp sonra da pişirmenin manası yok; işinize nasıl geliyorsa öyle yaratabilirsiniz.

Giyim hakkında ne demeli? Mevcut araştırmaların kısa vadeli ürünleri arasında yer alan nanotüp gibi nanolifler çok dayanıklıdır. Giysinin dayanıklı olması giyimde çok da önemli değildir, ama giysinin, vücuda temasla verdiği his mühimdir.

İpek, son derece dayanıklı bir malzeme. Uçakların havalı alüminyum alaşımları kadar güçlüdür, yani aynı boyuta sahip sıradan alüminyumun beş katı güçlüdür; ağırlık bakımından kıyaslanırsa alüminyumdan on üç kat güçlüdür. İpek, çapı 5 mikron olan tekli liflerden ileri gelir; bu lifler, insan saçının eninin yirmide biri, kapladığı alanın dört yüzde biri kadardır. Çıplak gözle göremediğimiz bu liflerden bir tanesi, bir gramdan fazla ağırlık taşıyabilir (örneğin büyük bir hapın ağırlığı kadarını).

Bu dayanıklılığın giyim için önemi, ipek ipliklerin hem aşınmaya karşı dirençli olması hem de son derece ince olmasıdır. Yani ipek son derece esnek ve hafif olabilir ki ipek giysilerde hoşlandığımız özellikler bunlardır. (Örneğin ipeğin verdiği pürüzsüzlük hissi, ipek ipliklerin küçük olup birbirlerine yakın durmasındandır.) Kuramsal olarak şu an için bildiğimiz en güçlü lifler, nanotüp liflerdir. Bunlar ipeğin 150 katı kadar güçlüdür. Yani tüm aşınmalara ve yırtılmalara karşı yeterince dirençli ve ceplerinde her türlü ıvır zıvırı taşıyacak kadar güçlü olan nanotüp giysiler o kadar ince olacaktır ki üstünüzde giysi olup olmadığını bile zor anlayacaksınız.

Giyim, insanoğlunun en eski teknolojilerinden biri. Neredeyse bütün tarihimiz boyunca, hayvan derisinden ve bitki liflerinden yapılmış giysiler giydik. Bu gidişat sadece yirminci yüzyılda değişti, sentetik lifler de giyilir oldu. Bu sentetik liflerin çoğu henüz, mesela pamuk kadar hoş his vermiyor, fakat hızla gelişiyorlar. (Örülmüş bitki lifinin verdiği histen hoşlanacak şekilde evrimleşmiş bile olabiliriz; giysileri işte o kadar uzun süredir giyiyoruz!)

Giyimdeki büyük değişiklik, tüm giysilerinizi dolap yerine sentez cihazında saklamak olacak. Giymeyi düşündüğünüz kıyafet içinde nasıl görüneceğinizi size gösterecek "sihirli bir ayna"nız olacak. Muhtemelen bu aynayla konuşarak giysinizin tarzını ya da ölçüsünü seçip değiştirebileceksiniz. Sonra giysi sentezlenecek, onu giyineceksiniz, aşınınca da geri dönüşüm kutusuna atacaksınız. Çamaşır yıkamaya son.

Giysilerin ana işlevleri, kişiyi çevre şartlarından korumak, edep ve insanın toplumda kendini sergilemesidir. İster nano olsun ister başka türlü, teknoloji, kişinin topluma kendisini sergilemesine ancak dolaylı etki edebilir. İlk olarak, giydiğiniz giysiler kendinizi resmî ya

da gayri resmî bir sınıf ya da topluluk üzerinden kimliklendirmenize hizmet eder: Programcılar tişört ve sandalet giyer, işadamları takım elbise giyip kravat takar, din adamları dinî cübbeler giyer. Giyinmek, hem kişisel tarzın hem de ait olunan kesimin bir nevi beyanıdır. Tarzla ilgili birçok meseleye gelince, zaman zaman mantık tersinden işliyormuş gibidir: İş adamlarının giydiği takım elbisenin değeri, onları yapmaktan alıkoyduğu şeyden ileri gelir. Bu insanların kol gücüyle çalışmadığını cümle âleme duyurur. (Örneğin bu tarz bir reklam, Viktorya çağının üst sınıf kadın modasında bilhassa belirgindi.)

Klasik malzemelerden el emeğiyle üretilen giysilerin rağbet gördüğü bir pazar oldukça uzun süre var olacak gibi görünüyor. Bu tür giysiler ne kadar pahalı olursa, o ölçüde güçlü bir statü simgesi haline gelirler. Özellikle de giysinin altına neredeyse fark edilmeyecek bir nanogiysi giymek ve giyim teknolojisinin tüm nimetlerinden yararlanmak rahatlıkla mümkün olacak.

NANOGİYSİ

Sadece 5 mikron kalınlığında bir kumaş düşünün. O görünmez ipek liflerinin de kalınlığı bu kadar. Bütün vücudunuzu sarıyor, tıpkı ilave bir deri gibi. (Her saç kılı için ayrı bir deliği var.) Kapladığı derinin alanı iki metrekare olsa da, iki çay kaşığı suyun ağırlığına sahip. Bu kumaşın ne kadar ince olduğu hakkında fikir edinmek için, elinize bir damla su alın ve bu suyla ellerinizi yıkıyormuşsunuz gibi damlayı yayın. Bu giysiyi giymenin nasıl bir ağırlık hissi vereceğini anlamak için, iki çay kaşığı su yutun ve etrafta çıplak dolaşın.

Fakat bu kumaş ipliklerden örülmez. Bu bir makinedir. Bünyesinde ne kadar makine barındırabileceğini görmek için, arabanızın kaportasını açıp bakın. Bir santimetre çapında teller ve tüpler, üç beş santimetre çapında borular, bir buçuk santimetre genişliğinde bobinler, aynı genişlikte miller, büyüklüğü yirmi santimetreye kadar varan tali parçalar göreceksiniz. Şimdi Wal-Mart'a ya da benzer bir hipermarkete gidin. Diyelim ki tavan sekiz kat yüksekliğinde ve bina tüm Asya kıtasını kaplıyor (ya da iki kere Kuzey Amerika'yı). Şimdi de binayı arabanızın motor bölmesindekine benzer makinelerle tıka basa doldurun; bu manzara, beş milyon kez büyütülmüş nanogiysinizdir.

Giysinin ana işlevi, on binlerce yıl önce atalarımızın giydiği hayvan postlarınınkiyle aynı; insanı sıcak tutmak. Fakat nanogiysinin bazı üstünlükleri var. Kumaşı esnek fakat güçlü kılmak için, tıpkı

balık pulları gibi, birbiri üzerinde kayabilen iki ya da daha fazla plaka katmanı içerir. Her plakanın içi boş ve vakumludur, ışınımlı ısı aktarımını engellemek için yansıtıcı kaplamaya sahiptir. Makineleri arasında tersinir ısı pompaları bol bol mevcuttur. Ortam çok sıcak olduğu zaman, ısıyı vücudunuzdan uzağa pompalarlar (bunun iş için enerji kaynağı gerekir); ortam çok soğuksa, ısı motoru gibi çalışırlar, vücudunuzdan dışarı kaçan ısıdan enerji elde ederler. (Dünyada dış ortam ısısının insan bedeninden sıcak olduğu çoğu yer, güçlü gün ışığı alır, bundan da enerji kaynağı olarak faydalanılabilir.)

Artık Alaska'nın Nome kentinde ocak ayında açık havada tenis oynamaya hazırsınız (orada ışıklandırılmış tenis kortları olduğunu varsayıyoruz). Dünyaya şöyle bir bakarsanız, nispeten basit bir nanotek uygulamasının insan ırkı için ne kadar büyük fark yaratabileceğini görmeye başlarsınız. Yaşanabilir alanları rahatlıkla ikiye katlayabilir ve en temel enerji ihtiyaçlarından birini büyük oranda çözer.

Dağ tepesinde ya da su altında yaşamaktan hoşlanıyorsanız, nanogiysinin kapsamını genişletirsiniz, böylece oksijen de tedarik eder. Günümüzde oksijen yoğunlaştıran moleküler elekler mevcut ve moleküler seviyede tasarlanmış motorlu makineler sayesinde bunları giyilir hale getirmek kolay olacak. Solungaçlar söz konusu olduğunda, suyun süzgeçten geçirilmesi gerekir, çünkü su içinde çözünmüş oksijenin derişimi, havadaki oksijen derişiminden epey düşük. Öte yandan, üzerinizde bir enerji kaynağı taşımaktan yüksünmezseniz, soluğunuzla dışarı attığınız karbondioksitten oksijen oluşturan nefes cihazı nispeten basit bir çözüm olur.

Giyimin bir parçası olarak bilgisayarlar ve yüksek teknolojili başka cihazlar bir süredir laboratuvarlarda mevcut (özellikle MIT Media laboratuvarlarındaki giyilebilir bilgisayarlar). Giysilerin içine yerleştirilmiş olmasa da, iyi giyimli iş adamlarının üzerlerinde taşıdığı araç gerecin kol saatinden çağrı cihazına, cep telefonuna ve el bilgisayarına kadar uzanan yelpazesi, son yirmi otuz yıldır hızla genişliyor. Tüm bu işlevler ve çok daha fazlası, nanogiysinin içine yerleştirilebilir. Giysi, sıradan insan saçının onda bir kalınlığında da olsa, günümüzün yüz milyar PC'sinin muadilini, giysi hacminin yüzde birine sığdırabilirsiniz. Kesinlikle gereksiz olsa da, sanal gerçeklik dahil tüm bilgi işlem, iletişim, arayüz vb. ihtiyaçlar için giysinin yeterli işlem gücü olacaktır.

Giysi, ayarlanabilir optik aynalarla kaplanabilir, dolayısıyla yüksek çözünürlüklü görüntüsüyle, giysiyi giyen ne isterse dışarıya onu gösterebilir. Hatta faz sıralı optiği de olabilir, yani holografik

görüntü yaratabilir (işte birkaç milyar işlemci için kullanım alanı!) ve başka işlevlerin yanı sıra, giysiyi giyeni neredeyse görünmez kılabilir. Öte yandan, eğer istenirse giysinin duyu becerileri doğal insan duyularından o kadar ileri olabilir ki etrafta dolanan "görünmez" giysilerin maskesini rahatlıkla düşürebilir. Fiiliyatta, giysinin bu gibi hünerleri muhtemelen genelde kişisel tarzın ifade edilmesi amacıyla kullanılacaktır; örneğin renkli ve hareketli dövmeler, kişinin bedeninde açılmış delik görüntülerinin yansıtılması, kişinin kendisini iskelet ya da karşı cins olarak sunması ya da başka kişisel özellikleri sergilemesi gibi.

ÇAYIRDAKİ KÜÇÜK EV

> Yuva, altının satın alabileceği veya bir anda dikilecek yer değil;
> Yuva demeden önce, içinde bol bol yaşamak gerek;
> Duvarları içinde bebekler doğmuş olmalı ve sonra
> Tam orada onları iyi insan olsunlar diye büyütmelisin;
> Ve yavaş yavaş, zaman geçtikçe, göreceksin ki kullandıkları
> Hiçbir şeyden ayrılamıyorsun; senin yüreğinde büyümüşler;
> Eski yüksek sandalyeleri, oyuncakları da, giydikleri küçük patikleri
> Biriktirirsin; elinden gelse kapıdaki başparmak lekelerini bile saklayacaksın.
>
> Edgar Guest, *A Heap o' Livin'*

Geleceğin kendini temizleyen ve kendini onaran yapılarında aşınma ve leke izleri ortadan kaybolacak olsa da, belki anı değerlerinin yerini zaten yaygın olan video kayıtları ve benzer gelişmeler alacaktır. Aslında, bir hanenin kendi içinde vuku bulan her şeyi kaydetmesi zor olmayacak. Moleküllerin istiflenme yoğunluğuyla, bir gigabitlik sinyal yüzyıl boyunca yaklaşık 3 milimetreküp hacimde saklanabilir, yani ayak başparmağı tırnağı kadar hacimde.

Hanenin kendisi, muhtemelen, yeni düzenlemeler yapılmasına, bugün içinde yaşadığımız statik yapılara kıyasla çok daha uygun olacak. Mobilya dahil nesneler ucuzlayacak, fakat boş alanın göreceği itibar değerinin üzerinde olacaktır. Bir seçenek olarak ve aynı sebepten ötürü, evler git gide daha ıssız bölgelere kurulacak, ayrıca uç şartlar altında insanların refahını sağlamaktan sorumlu olacaklar. Varla yok arası kadar ince bir derigiysisi insanı Kuzey Kutbunda sıcak tutabiliyorsa, bina duvarları da aynısını rahatlıkla yapabilir. Evleri soğuktan yalıtıp sıcak tutmak ve sıcak iklimlerde soğutmak,

yaygınlıkla kullanılan mevcut bir teknolojidir; nanoteknoloji bu işi ucuzlaştıracak, verimini artıracak ve o kadar göz önünde olmamasını sağlayacak.

Ücra bölgelerde enerji, güneş ışığı toplayıcılarıyla elde edilebilir. Gün ışığının yoğunluğu, mevcut teknolojiyle hesaplı bir şekilde toplanamayacak kadar düşük, fakat nanoteknoloji sayesinde, çimenliğinizdeki otların yerine, ot görüntüsüne sahip olup ot hissi veren bir halı koyabilirsiniz. Bu halıyı asla biçmeniz gerekmez ve halı sizin için güneş enerjisi toplar. Bu düzenek, her yeri kaplayan devasa yapılar inşa etmeksizin yeterli enerji miktarını elde edecek alanı sağlar. Güneş enerjisinin mevcut sorunlarından biri de enerjinin saklanması meselesidir. Nanoteknoloji bu sorunu gayet kolaylıkla çözecektir.[2]

Rahat yaşam imkânı sağlayan bir başka güncel teknoloji ise yüzen evlerdir. Nanoteknoloji sayesinde bu evler hem ucuzlayabilir hem de güvenilirlikleri karadaki evlere geçerli bir seçenek oluşturabilecek kadar artabilir. Gündelik ihtiyaçların çoğunu karşılayan sentez cihazlarıyla birlikte açık denizlerde yaşamak oldukça makul olacak. Toplumsal ve siyasal düzenlemelere, ayrıca kişisel tercihlere bağlı olarak, tek ailelik tekneler ve/ya da büyük yolcu gemisi boyutunda yüzer şehirler inşa edilebilir.

Ayrıca nanoteknoloji, su altında yaşamayı da uygun bir seçenek haline getirebilir. Deniz altı yerleşimler, deniz yüzeyindeki yerleşimlere kıyasla fırtınalardan daha az etkilenir, fakat açık havalarda deniz yüzeyinden gün ışığı olarak elde edilen enerjinin miktarı daha fazladır. Bir yerden kazanırken bir yerden kaybetmek hep baki kalacak gibi görünüyor.

İLYON'UN ÜSTSÜZ KULELERİ

Christopher Marlowe, İlyon'un kulelerine üstsüz derken çatıları olmayışını değil, yükseklik bakımından eşsiz olmalarını kastetmişti.[3] Fakat nanomühendislik ve adamant yapı malzemeleriyle dikilen kule

---

[2] Tersinirliğin motorlarda bu kadar önemli oluşunun sebeplerinden biri de budur. Nanomotoru enerji ve suyla besle, sana hidrojen ve oksijen üretsin. Hidrojen ve oksijenle geri besle, enerji ve su elde et. Tersinir olmaya ne kadar yakınlaşırsa, başta verilen enerjinin o kadarını geri kazanırsınız. Bu sürecin veriminin, yüzde doksan dokuzu aşması gayet olası görünüyor.

[3] "Binlerce gemi fırlatan ve İlyon'un üstsüz kulelerini yakan yüz mü bu?" Christopher Marlowe, *Doctor Faustus*, Project Gutenberg e-text no. 779.

o kadar yükseğe çıkabilir ki kelimenin gerçek anlamıyla gökyüzünde kaybolur: Yüksekliği on altı kilometreyi aşabilir, mavi gökyüzünü altında bırakır. Yeryüzünden bakan gözler için, hava bulutlu ve puslu olmasa bile, kule görünmezliğe karışır. Elbette açık bir gecede tepe noktasına kadar tüm ışıkları görünecektir. Kulelerin yüksekliği rahatlıkla 100 kilometreye ulaşabilir; bundan çok daha yükseğe çıkıp uydulara da çarpabilirler!

1956 yılında Frank Lloyd Wright, Illinois kulesini tasarlamıştı; yüz bin kişiye mesken olacak 1,5 kilometre yüksekliğinde bir kuleydi bu. (Asla inşa edilmemiştir.) Altmış kat büyütülen böylesi bir kulenin izdüşümü yaklaşık yirmi beş kilometrekare olur ve otuz binden fazla kat içerir, dolayısıyla 775.000 kilometrekareden fazla yüzölçümüne sahip olur. Wright'ın hesaplamalarını bu ölçeğe uydurursak, öyle bir kule yirmi milyar insanı barındırabilir. Gerçekte bu tasarım uygulanamaz (Wright'ın tasarımı da), çünkü şehir ölçeğinde bir altyapıyı, hizmeti ve ulaşımı içermesi gereken yapıda apartman nüfus yoğunluğunu barındıramazsınız. Fakat yüz milyon kişi kesinlikle, bir milyar kişi belki, barındırabilirsiniz. Dolayısıyla, dünyanın mevcut nüfusunu bu tür beş ila elli kuleye yerleştirebilirsiniz.

Bina yüksekliği bir buçuk kilometreyi aştıktan sonra, kulelerde basınç ayarı yapılması gerekir, tıpkı yolcu uçaklarındaki kabin basıncı gibi. Ben böyle bir kulede asla yaşamak istemezdim, fakat günümüzde pek çok insan apartmanlarda yaşıyor; dolayısıyla hiç yoktan iyidir. Yukarıda bahsettiğimiz gibi, eşyalardan feragat ederek alan kazanıldığı ve bünyesinde sanal gerçeklik barındırdığı takdirde bugünkü apartman yaşamından çok daha rahat bir yaşam sürdürülebilir. Böylece içinde yaşadığınız kutuyu nadiren duyumsarsınız.

SANAL GERÇEKLİK

> Dün merdivenlerde
> Bir adamla tanıştım, orada yoktu.
> Bugün yine yoktu orada.
> Adam defolup gitsin isterdim.
>
> Hughes Mearns, "Küçük Adam"

Sanal Gerçeklik, bugün eğlence ve kullanıcı arayüzü teknolojisindeki çeşitli ilerlemeler için kullanılan bir terim, fakat hepsi aynı temel marifete çıkıyor: Tüm duyularınıza, içinde bulunduğunuzdan farklı, çoğunlukla da hayalî bir durumda olduğunuzu hissettirmek. Üç bo-

yutlu film gösteren sinemalar görüntü ve sesle iyi iş çıkarıyor. Tam teşekküllü sanal gerçeklik bunu iki şekilde ileri taşıyacak.

Duyularınız söz konusu olunca, başka bir ana duyu da dokunma duyusudur (aslında dokunma, birbiriyle ilişkili bir duyular öbeğidir). Fakat bu işin gerçekten zor olan kısmı, canlandırılan dünyayla münasebete girmeniz, onu senaryoda yazılmamış bir şekilde etkilemeye çalışmanızdır.

Sanal gerçeklik, o "dünyanın" nerede ortaya çıktığına bağlı olarak iki kategoriye ayrılabilir. Katıksız sanal gerçeklik, bilgisayar oyunlarının dünyaları gibi, bilgisayarın hayal gücünde uydurulmuştur. Telemevcudiyet (*telepresence*) söz konusuysa, sanal dünya gerçek bir mekandır; ancak, bizzat orada olmazsınız. İki türünü de tecrübe etmek için muhtemelen aynı arayüzü kullanırsınız; bir tanesinde arayüz bilgisayara bağlı olur (hayalî mekanda size katılmak isteyecek öteki insanlar gibi); ötekinde ise uzaktaki o gerçek mekanda "sizin yerinize geçecek" bir robota bağlanır.

Nanoteknoloji, yüksek hassasiyete sahip android robotların yapımını hesaplı hale getirecek (bunları yapmak şu an için teknik olarak neredeyse mümkün). Bu gibi androidlerin ana kullanım alanı telemevcudiyet olacak. Turizmden iş toplantılarına ve bilimsel keşiflere kadar telemevcudiyet uygulamalarının geniş bir yelpazesi oluşacak. Uzaktan denetlenen androidler, kullanıcıların görüntüsünü yansıtacak şekilde rahatlıkla ayarlanabilecek. Ayrıca, androidin dış görünüşünü, kullanıcının görüntüsünü *yansıtmayacak* şekilde ayarlamak da basit bir iş olacak.

Telemevcudiyet dahil, sanal gerçekliğin en hudutsuz biçimi, sinir muslukları sayesinde gerçekleşecek; yani, duyu organlarınızın hayalî dünyadan aldığı sinyalleri temsil eden sentetik sinyaller uygun duyu sinirlerine zerk edilecek ve motor sinirlerinizden iletilen sinyallere müdahale edilerek benzetimde size düşen rolü oynamanız sağlanacak.

Bu olasılıkların teşkil ettiği gerçek tehlike şu: Sanal dünya öyle zengin ve olasılıklarla öyle dolu ki insanların gerçek, fiziki dünyaya ilgi göstermesi epey zorlaşabilir.

KAPALI KAPILAR ARDINDA ARA FASIL

Yirminci yüzyıl boyunca Batıda çok güçlü olan bir eğilim, cinsel faaliyetler üzerindeki ahlaki kısıtlamaları gevşetmekti. Bunun sebebinin doğum kontrol hapı olduğu sık sık dile getirilir, fakat git gide kozmo-

politleşen bir toplumda cinsel özgürlük oldukça sıradan bir görüngüdür. Antik Yunanistan ve Roma buna örnek teşkil ederler.

Öteki eğlence biçimlerinde olduğu gibi, nanoteknoloji geniş bir cinsellik yelpazesini de mümkün kılacak. En basitinden, nanotıp sayesinde doğum kontrolü, her iki cinsiyet için de bugünkünden kolay olacak. Ayrıca, cinsel yolla bulaşan hastalıkları büyük oranda azaltacak. Cinsel randımanı ve tatmini artıracak ilaçlar ve tedaviler illaki ortaya çıkacak. Bunun ivedi neticesi, 1960'lardakine benzer bir cinsellik furyası olabilir.

Nanoteknolojinin başka bir getirisi ise android robotlardır. İnsanların başkalarıyla oyun oynamaktan ne kadar hoşlandığı düşünülürse, görünüşünü insandan ayırmanın zor olacağı oyuncakların ortaya çıkması oldukça muhtemel. Bu robotlar, insan gibi görünüp insan hissi vermekle kalmayacak, ayrıca zeki, duygusal olup tamamen kendilerine mahsus kişilikler barındıracaklar. Bu oyuncakları, gerçek insanlar söz konusu olduğunda kabul edilemeyecek şekillerde kullanmanın ahlakı hakkında ciddi tartışmalar yapılacaktır.

Gerçek insanlarla telemevcudiyet aracılığıyla cinsellik yaşamak da rağbet görecektir; bizzat bulunduğunuz yerden uzakta bir yerlerde cinselliğin mümkün oluşu bir yana, örneğin insanların rahat rahat çıplak gidemeyeceği dağ zirvesi ya da okyanus dibi gibi yerlerde de cinsellik tecrübe edilebilecektir.

Gerçi, cinselliğin en yaygın biçimi muhtemelen bütünüyle sanal olacaktır. Randevu sürecinin, iş toplantıları kadar hızlandırılacak olması gayet muhtemel. İnternet randevu sitesindeki hesabınız sayesinde sanal restoranlara, parklara, eğlencelere, yatak odalarına erişim hakkı kazanacaksınız. İnternette klavye başında sohbet etmek yerine, ay ışığı altında dolaşmaktan sefahat âlemlerine kadar her türlü etkinliği tadabilirsiniz.

Gerçi, arayüzlerin hünerlerinden ötürü, günümüzün internet randevularına dair kimi sorunlar baki kalacaktır. Arayüzü kullanarak görünüşünü iyileştirmenin cazibesine kapılanlar da olacaktır elbette; geceyi birlikte geçirdiğiniz kişinin aslında neye benzediğini bilemeyebilirsiniz. (Öte yandan, nanotek estetik cerrahi de rağbet görecektir; belki de çoğu insan, aslında nasıl görünmek istiyorsa öyle görünecek.)

Katıksız sanal gerçeklik, gerçekten sınırsız olasılıkların, her türlü oyunun, gerçek, hayalî ya da bunun karışımı olan insanlarla buluşmaların kapısını açar. İnsan katılımcılar aynı şeyi tecrübe etmek zorunda bile değildir; arayüz programı yeterince hünerliyse, katılım-

cılardan bir tanesi cinsellik yaşarken, öteki siyaset tartışabilir.

> Gönül rahatlığıyla, biraz da sabırsızlıkla yapacağımız son öngörü şöyle: Ağırlıksız olmak, müstehcenlik ülkesinin, şimdiye kadar üzerinde kafa yorulmamış yeni topraklarını önümüze serecektir. Zaman konusunda da bize yeni olasılıklar sunacaktır.
>
> Arthur C. Clarke, *Geleceğin Çehresi*



ONUNCU BÖLÜM

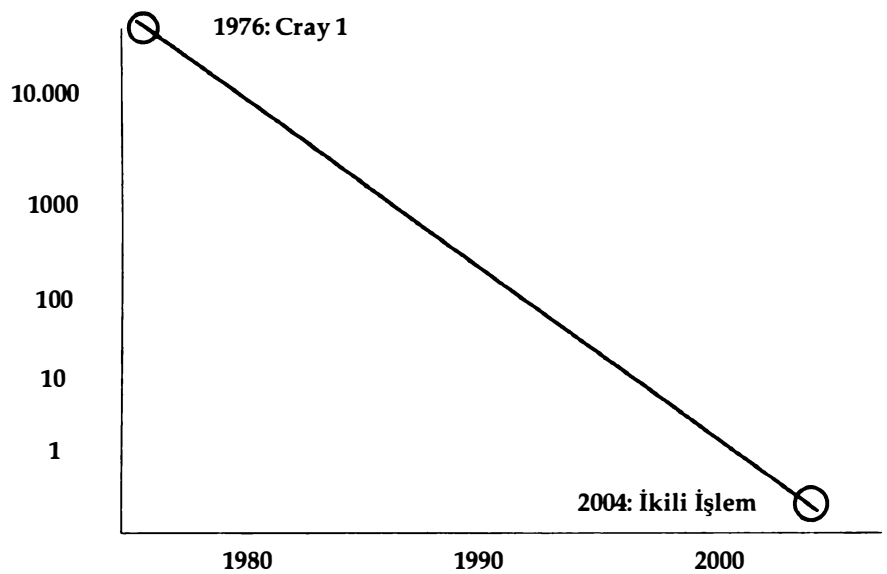
EKONOMİ

Bu İş Ne Kadara Patlayacak?

Elli yıl önce, iki bin dolara güzel bir araba satın alabilirdiniz. Bugün güzel bir araba almak için bu rakamın onlarca katını harcamak gerekir. Elbette günümüzde paranızın karşılığında daha fazla imkân elde ediyorsunuz. Bugünün arabaları aynı miktar benzinle daha uzun yol gidiyor, çevreyi daha az kirletiyor, daha sessizler, yüksek hızlarda yol tutuşları daha iyi, kazalarda daha güvenliler ve daha az bakımla daha uzun süre dayanıyorlar. Otomatik vitesli araba ya da isteğe bağlı olarak dört çarpı dört sürüşe geçen araba satın alabilirsiniz. Klimayı, dört hoparlörlü CD çaları, otomatik camları, uzaktan kilitleme sistemini saymıyorum bile.

Bu fiyat farkı yanıltıcıdır. Aslında 1950'den beri enflasyon, paranın değerini on kattan fazla düşürdü. Başka bir deyişle, bugünkü arabaların fiyatı, dolar kuru sabit tutulduğu takdirde, 1950'lerin araba fiyatlarıyla aynı. Üstelik paranızın karşılığında daha fazlasını alıyorsunuz.

Gerçi bilgisayarlara bakarsak, arabalara nal toplattıklarını görürüz. Daha şimdiden, acaba aynı dönemde arabaların gelişimi bilgisayarlara ayak uydurmuş olsa neye benzerlerdi ve fiyatları ne kadar olurdu sorusu eski bir şaka haline gelmiştir. Bilgisayar teknolojisinin nasıl bir değişim geçirdiği konusunda fikir sahibi olmak için, ben 1970'lerde öğrenciyken tipik bir üniversite bilgisayarının nasıl göründüğünü hatırlayalım. Üniversite kayıtlarını tuttuğumuz delikli kart dosyası, bilgisayar merkezinde altı metre genişliğinde bir duvar oluşturuyordu. Bir buçuk metre yüksekliğiyle ve bir metre derinliğiyle, yaklaşık ağırlığı on tondu. Her biri üç bin kart barındıran yaklaşık iki yüz çekmecesi vardı ve her kart, seksen karakterli metin satırı saklayabiliyordu. Bu, elli megabitten az: Günümüzde fotoğraf makinelerinin pul büyüklüğündeki hafıza çipleri ya da USB belleklerinin



Şekil 16 Bilgi işlemin fiyatı. 133 megadiskiyle ve 7 milyon değeriyle efsanevi Cray-1 bilgisayarını, keza bilimsel hesap canavarı diye nitelenen günümüzün bir bilgisayarıyla karşılaştırıyoruz; Cray-1'den altmış kat güçlüdür ve fiyatı sadece 3.000 dolardır.

kapasitesi genelde bunun beş katıdır.

Bilgisayarın kendisi 100.000 dolar değerindeydi ve Ulusal Bilim Vakfı'nın sağladığı ödenekle satın alınmıştı. 65.536 bitlik belleğe sahipti. Her bit, gerçekte ferrit bir çekirdekti ve elle vidalanmıştı. Saniyede yaklaşık 250.000 talimat işleyebiliyordu. Başka bir deyişle, bugün düzgün bir PC'nin yaptığı işi yapmak için, o gün bir milyar dolar harcayıp onun gibi on bin bilgisayar almak gerekirdi. Üstelik elli yıllık bilgisayar geçmişinin sadece otuz yılında bu gelişme gösterilmiştir.

Şimdi gerçekten ilginç bir soruya geliyoruz. Bir bakıma, nanoteknolojinin özü tam da burada saklı. Gelecek elli yıl içinde motor, araba, fabrika, uçak, çevrenizdeki eşyalar gibi fiziki teknoloji ürünleri, son elli yılda bilgisayarların tecrübe ettiği iyileşmeyi ve ucuzlamayı yaşayabilir mi? Eğer öyleyse; büyük bir fabrika, okyanus gemisi, uçak filosu ya da uzay gemisi gibi bugün değerleri milyar dolarla ölçülen, yüksek teknoloji eseri bu nesnelerin muadillerine, şahısların sahip olabileceğini düşünmek gayet makuldür. Fiyat bakımından

bugünkü eşdeğerinin, mesela konforlu bir ev gibi on ton çekeceği bir eşyayı cebinizde taşımayı pekâlâ umabilirsiniz.

Bir eşyanın fiyatı belirlenirken kilit unsur, üretim etkenlerinin bedelidir. Buna hammadde, sermaye donatımı, toprak, emek, ulaşım, aracılar, vergiler falan filan dahildir.

Tezgâhınızın üzerinde bir sentez cihazı duruyorsa, gayet açıktır ki toprak, emek, ulaşım ve aracı gibi etkenler devreden çıkar. Sentezlenen eşyalardan vergi alınsa bile, masrafın yüzdesi olarak alınması makuldür; yani bu, orantılı bir vergi olacak. Geriye hammadde kalıyor ki kömür, doğal gaz, petrol, hatta odun hammadde olarak kullanılabilir. Evinize tonla getirilen bu malzemeler kilogram başına 5 ila 35 sent tutar. Hammaddeyi doğrudan bir tonluk arabaya dönüştürseniz, arabanın hammadde bedeli mesela 200 dolar olur. (Aslında nanotek arabalar bir tondan çok daha hafif gelecektir.)

Diyelim ki sentez cihazı on kilogram çekiyor, yani bir dolarlık kömür kadar. Sentez cihazının yeni bir sentez cihazı yapması bir saat sürüyor olsun. Başka bir deyişle, elimde sentez cihazı varsa, bir yılda 8.760 yeni sentez cihazı yapabilirim. Yüzde beş faizle borç alabildiğimi düşünelim; bu cihazların tanesini 2 dolara satabilirsem, hammaddenin bir dolarlık masrafını da düşersek, ilk sentez cihazının bedeli 175.000 dolardan az olursa kâra geçebilirim demektir.

Fakat sentez cihazlarını yapar yapmaz satmak aptalca olur. İlk saatin sonunda iki sentez cihazım var. İkisiyle birlikte üretime geçersem, ikinci saatin sonunda dört, üçüncü saatin sonunda sekiz cihaza sahip olurum. Aslında, yirmi dört saatin sonunda on altı milyondan fazla sentez cihazım olur. Yüzde beş yıllık faizin günlük faizi yüzde 0,0137'dir. Her sentez cihazından bir dolar kâr edebilirsem, ilk sentez cihazı için 116 milyar dolar borç almış olsam bile bu işten kârlı çıkarım.

Elbette kimse size sentez cihazı satın almanız için 100 milyar dolar borç vermez ve aleti iki dolara satıyorsanız borcun ödenmesi karşılığında sentez cihazı kabul etmez. Bu hesap, otojenöz bir teknolojinin, satış fiyatlarını bir milyar kat düşürme becerisi olduğunu göstermek içindi.

Gerçek dünyada işler aşağı yukarı şöyle yürüyebilir. Şirketin teki, ilk sentez cihazını yapmak için 10 milyar dolarlık yatırım yapar. Başka firmalara tanesi bir milyar dolardan on sentez cihazı satar, böylece baştaki yatırımını kurtarır. Bu şirketlerden her biri, tanesi 100 milyon dolardan onar adet cihaz satar; iş bu şekilde devam eder, dolayısıyla 10 milyar dolarlık yekûn her aşamada mevcut makine

sayısının on katıyla takas edilmiş olur, ta ki bir milyar makine on dolara satılana kadar. Kimse de para kaybetmez.

Başka bir seçenek ise, mucit firmanın, otojenöz teknolojiyi yakından takip edip makinenin sadece ürünlerini satması olur, ayrıca tüketiciye yönelik sentez cihazları ürün yapabilse de yeni sentez cihazı yapmamak üzere ayarlanabilir. Ev içi sentez cihazları, üretilen her nesne için şirkete para ödeme koşuluyla imal edilebilir. Durumu doğru düzgün idare edebilirlerse, muazzam bir tekel kurup halktan epey para kazanabilirler.

Sentez cihazları ve aslında her türlü otojenöz teknoloji, öyle kârlı bir ürün haline gelebilir ki buna sahip olan her şirket, başka firmaların aynı teknolojiyi ele geçirmesini engellemek için aşırı önlemlere başvurabilir. İktisatçılar buna tekelci rantı der; tekel ürünün fiyatı ile adil pazar fiyatının arasındaki farkın büyük kısmı, tekeli korumak için harcanır, her ne kadar bu yönde kullanılan kaynaklar toplumun geneline faydalı olmasa da (genelde zararları dokunur). Müstakbel teknoloji tekelcisinin gözünü diktiği ilk alan patentlerdir.

Patent, sırf tekele verilmiş bir lütuftur. Güya uygar devletler, başka tekel biçimlerinin aleyhinde yasalara sahipken, neden patent verirler? Özgün patent fikri bunun karşıtıydı: Mucitten, bunu sır olarak saklamak yerine icadın bir tarifini neşretmesi isteniyordu. Bunu teşvik etmek için de, sırrı kendine saklasa elde edeceği iltimasın bir kısmı yasal olarak teklif ediliyordu, böylece rekabette belirli bir üstünlüğe sahip olabiliyordu.

Doğru uygulandığı takdirde kötü fikir değildir bu. Fakat doğru uygulanmıyor.[1] Patent daireleri, verdikleri her patentten para kazandığı için, her türlü aptallığı patentleme dürtüsüne kapılıyorlar. Diyelim ki belirli bir icat o kadar bariz ki baştan icat etmek patent kayıtlarını taramaktan, yorumlamaktan ve patentli sürümün kayıtlarını uyarlamaktan kolay.[2] O zaman, tekele verilen lütufun ekonomik etkisi, toplum için saf, katışıksız bir kayıptır. Cihazı ya da her ne halt

---

[1] Adam B. Jaffe ve Josh Lerner, *Innovation and Its Discontents: How our Broken Patent System Is Endangering Innovation and Progress, and What to Do about It* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2004).

[2] Yeri gelmişken belirtelim, her ne kadar patentler bir icadın tekniklerini ifşa etmek amacını taşısa da, bunları neredeyse daima, avukatlar, hem de muğlak bir dille yazarlar ki henüz düşünülmemiş gelişmeleri mümkün mertebe saklayabilsinler, dolayısıyla patentler, mühendislik için çok zayıf bir kaynaktır.

ise onu baştan icat etmek nispeten maliyetli olsa bile, bu maliyet, patente ait tekel rantının yarattığı toplumsal maliyet karşısında dengelenmek durumundadır.

Patentlerin bir yan etkisi şudur: Kâr getiren bir zamazingo icat edildiği zaman, herkes aynı işi farklı bir şekilde yapan yeni bir alet icat edip patentin etrafından dolaşmaya çalışır. O halde, ötojenöz bir teknoloji inşa etmek için insanların makul her türlü tasarıyı, mimariyi ve tasarımı kullanacağı kesindir. Bu durum, verimsiz tasarıların hayata geçirilmesine yol açmanın yanı sıra, kendini eşlemek konusunda daha gevşek davranan teknolojiler gibi tehlikeli olabilecek tasarımların ortaya çıkmasına da ortam hazırlar.[3]

Patentlerle ilgili başka bir konu da şu: Patentini aldığınız şeyin tasarımını yayımlamanız gerekir. Patent, insanların o eşyayı yapmasını değil, imal edip satmasını yasaklar. Araştırma amacıyla o icadı yapmaya izin vardır. Nihayetinde patentlerin amacı bilimi ve faydalı zanaatları ileri taşımaktır.

O halde, araştırma amacıyla birçok eşleyicinin yapılmasını bekleyebiliriz. Yatırımın kapsamına bağlı olarak, şirketler ya da meraklı amatörler bu işe bulaşabilir. Bu iyi mi kötü mü belli değil; yalnızca, mevcut yasal düzenlemelerin ışığında oluşmasını beklediğimiz vaziyet budur.

Tek firmanın otojenöz teknoloji geliştirip bunu tek tipleştirerek imal etmesi ve herkese satması kulağa hoş geliyor, böylece güvenlik denetimi daha düzgün olur ve kalite kolaylıkla sürdürülebilir. Maalesef tarih bize farklı bir hikâye anlatıyor.[4] Örneğin, 1970'lerde Ameri-

---

[3] Bkz. on beşinci bölüm, "Başına Buyruk Eşleyiciler."

[4] "Uzman Görüşü: Microsoft'un Egemenliği Güvenlik Tehdidi Teşkil Ediyor," CNN, Şubat 2004, http://www.cnn.com/2004/TECH/biztech/02(06/microsoft.monoculture.ap/; "Microsoft'un Tekkültürlülüğü Virüslerin Yayılmasına Yol Açıyor," *New Scientist* (Eylül 2003), http://www.newscientist.com/news.jsp?id=ns99994203. *Wired* dergisinin "Microsoft'un Yazılım Hatalarına Karşı Savaşı" başlıklı makalesi şöyle başlıyordu (http://www.wired.com/wired/archive/12.09/view.html?pg=3): Bu günlerde her Windows bilgisayarı, virüslerin savaş alanıdır. Virüsler, casus yazılımlar ve öteki kötücül yazılım şifreleri internet Explorer programının zaaflarını sömürmeye çalışıyor. En korkunçlarından biri olan ve haziran ayının sonunda keşfedilen Downlad. Ject, klavye vuruşlarını kaydeder (kullanıcı adları, şifreler, PIN kodları). 2002 yılında Bill Gates'in güvenliğe en büyük önceliği verdiğini ilan etmesine rağmen bütün bunlar gerçekleşiyor. Microsoft'un güvenlik programı müdürü olan Stephen Toulouse'a, acaba Redmond kazanamayacağı bir savaşta mı

kan otomobil imalatçıları kalitenin elden kayıp gitmesine o kadar izin vermişti ki Japon araba üreticileri kaliteyi öne çıkararak piyasaya sağlam şekilde adım atabilmişti (yani 1980'lere gelindiğinde; daha öncesinde bunun tersi geçerliydi). Tekel, yüksek fiyatların yanı sıra düşük kalite de doğurur.

Müstakbel tekelcinin, ürünlerini tüketiciyi kilitleyecek şekilde tasarlaması, tekel rantının etkilerinden biridir. Başka bir deyişle, ürünler ancak tekelcinin öteki ürünleriyle uyumludur. IBM'in bilgisayar dünyasının ağır topu olduğu 1960'lardan ve 1970'lerden klasik bir örnek verilebilir. IBM bilgisayarları EBCDIC karakter kodunu kullanırken, dünyanın geri kalanı için standart karakter kodu ASCII'ydi.[5] (Bugün standart kod ASCII'dir.) IBM olmayan bilgisayarlarda IBM dosyaları abuk sabuk görünüyordu, IBM bilgisayarlarında ise IBM harici dosyalar saçma sapan görünüyordu. (IBM hâkim konumunu kaybettikten sonra, IBM sistemleri daha iyi birer takım oyuncusu olmuştur.)

Aynı zamanda, meraklı amatörlerin işbirliği yapması, Linux gibi bariz daha kaliteli olup hem de bedava dağıtılan işletim sistemi yazılımlarının üretilmesine önayak olmuştur. Eşlemenin ekonomisi öyledir ki sentez cihazlarına ve ürünlerine yönelik tasarımlar aynı şekilde üretilebilir. Kiliseler ve başka hayır kurumları bugün bedava yazılım dağıtıyor değil, fakat sentez cihazları, hayır işleme içgüdüsünün daha dolaysız ve bariz bir uygulama alanı olacaktır. Birisi için öğün sentezlerseniz, onu bir günlüğüne doyurursunuz; ona bir sentez cihazı verirseniz, ömür boyu beslemiş olursunuz. Hayatın ve aslında oldukça rahat bir yaşam tarzının gereklilikleri, hammadde fiyatının çok da üzerinde olmayan bir harcamayla genel nüfus tarafından karşılanabilir.

ROBINSON CRUSOE

Diyelim ki ıssız adadasınız. Adada, günde birkaç saat çalışmayla hayatta kalabileceğiniz kadar bitki ve hayvan yaşamı mevcut, fakat herhangi bir lüksünüz yok. Birden kumsalda bir sandık beliriyor ve içinden robot çıkıyor. İnsanlara hizmet etmek için tasarlanmış. Etrafta sizden başka insan yok, yani bütünüyle sizin sayılır. Bakıyorsunuz ki robot sizden güçlü ve hızlı, ayrıca becerikli, zeki, yar-

---

savaşıyor diye sorduk.

[5] Kişisel deneyim: Kitabın yazarı 1970'lerde hem IBM makinelerin hem de IBM olmayan makinelerin sistem programcısıydı.

dımsever ve dayanıklı.

İlk başta, cennete düştüm diyorsunuz. Robot tüm işleri halledi-yor, hatta kimi lüksler de sağlıyor. Kafanıza eseni yapabiliyorsunuz: Dinlenebilir, müzik çalabilir ve daha önce zamanınız ve enerjiniz ol-madığı için başlayamadığınız tasarılara girişebilirsiniz.

Diyelim ki bunun yerine adada on kişi yaşıyor ve kumsalda on robot boy gösteriyor. En başta insanlar, kim hangisini alacak diye münakaşa eder. Tüm robotlar bu insanlardan bazıları için çalışıyor; adadaki öteki insanların eskiden yaptığı işleri yapıyorlar. Robotlar geldikten sonra bazıları iyice lüks içinde yaşamaya başlarken, ötekilerin hayat şartları zorlaşıyor. Robotlar genelde, durumu iyi olanların elindekileri, kötü durumdakilerden korumaya çabalar oluyor.[6]

Ekonomi, ikinci senaryonun ilk senaryodan neden bu kadar farklı olduğunu inceleyen bilim dalıdır.

Para fevkalade bir icat. Para öncesi dönemin kabile ortamında, insanlar mal trampa ediyor, fakat dostlarının ve cömertlik gösterip karşılığında cömertlik hak edenlerin kim olduğunu hatırda tutarak hareket esnekliği kazanıyordu. Hilecilerin adı çıkıyordu ve ıslah ol-mazlarsa yaşamlarının zorlaşacağını kısa süre içinde anlıyorlardı. Böyle bir sistemin sorunu, iki yüzden fazla nüfusa sahip topluluklar için işe yaramamasıdır. İnsan beyni, bundan çok daha büyük bir toplumda "herkesin herkesi tanıması" için gerekli olan hızda ve ha-cimde bilgi öğrenemez ve saklayamaz.

Para, ticari işlemler söz konusu olduğu zaman, neredeyse sınır-sız bir kapsamda adaletin tesis edilmesine fırsat tanır. Kuramsal ola-rak, elinizde bulunan paranın miktarı, başkalarına tedarik ettiğiniz (atalarınızın tedarik ettiği) emtianın ya da hizmetlerin miktarından, size sağlanan emtianın ve hizmetin miktarını çıkardığınızda arta ka-lanı temsil eder. Dolayısıyla, bir şey satın alacak paranız varsa, bunu elde etmeyi hak etmişsiniz demektir. Uygulamada çok daha karma-şıktır bu iş. Yine de dünya çapında ticaret yapılmasını ve birbirini hiç görmemiş insanların dahil olduğu çeşit çeşit etkinlikleri mümkün kılacak kadar işe yarar.

"Güdümlü ekonomi," paraya seçenek teşkil eder. Bu modele göre ister kabile şefliği, fabrika patronluğu, devrimci halk konseyi,

---

[6] Robotlar elbette "üretim araçlarıdır," yani sermaye mallarıdır. Yirminci yüzyılda, savaşlar da dahil ideolojik çatışmaların büyük kısmı şu meseledeki kanaat farklılıklarına havale edilebilir: kapitalizm, sosyalizm ve ko-münizm çatışmaları.

isterse de süper zeki bilgisayar olsun bir teşekkül, insanlara ne yapacağını söyler. Nüfusu iki yüze kadar olan topluluklarda bu model, patronun marifetli olduğu varsayılırsa, paradan daha iyi iş çıkartır. Büyük ölçekte ise verimini kaybeder. Ulusal ölçekte ise felakete yol açar. Sovyetler Birliği dağıldığında çeşitli risk sermayedarları, yeni şirketler kurulabilir mi diye sanayisini incelemişlerdi. Bu iş pek sonuç vermedi, çünkü ortalamada Sovyet sanayisi mamullerinin dünya pazarlarındaki değeri, bunların yapımında kullanılan hammaddelerin değerinden düşüktü.

Yine de otomasyon sorunu olduğu gibi duruyor, hem de nanoteknolojinin ileri marifetleri yüzünden sorun daha da berbatlaşacak. Hepimiz işlerimizi kaybedip makinelerin yerimizi almasıyla mı lanetlendik? Bundan kaçınmak için bir tür sosyalizm şart mı?

Sıradan otomasyon senaryosunda, şirket daha önce insanlar tarafından yapılan bir süreci otomasyona bağlar, çalışanları da işten atar. Yirminci yüzyılın büyük kısmında insanların bu tür kaygıları olmuştur. 1900'den bu yana çiftçilerin yaklaşık yüzde doksanı işlerini makinelere kaptırdı.[7] Aşırı bir şekilde olmasa da imalat işkolu daraldı; bugün imalat ve çiftçilik işkolları, ekonominin yalnızca yüzde otuz kadarını teşkil ediyor.[8] Gerisi enformasyon yönetimi ve hizmet işkollarıdır. 1900 yılında bilgisayar sistemi yöneticiliği diye bir iş yoktu ve günümüze kıyasla çok daha az restoran çalışanı bulunuyordu. Bu durum, tüm malların makineler tarafından üretilmesine varana kadar söz konusu gidişatın durmayacağı anlamına mı geliyor?

Enformasyonun ve hizmet işlerinin de otomasyona karşı bağışıklığı olmadığını unutmayın. Robotbilim ve YZ (yapay zekâ) hızla ilerliyor; önümüzdeki yirmi otuz yıl içinde bu alanlarda, nanoteknoloji temelli olsun olmasın, muazzam bir makineleşme yüzdesinin oluşacağını öngörebiliriz. Hans Moravec gibi önde gelen robotbilimciler, robot becerileri dalgasının art arda insan becerilerini aşmasının ve ekonomide bizim yerimizi almasının kaçınılmaz olduğunu öngörüyor.[9]

Sırf bir düşünce deneyi olarak, insanın yaptığı hiçbir şeyi makinelerin daha iyi yapamayacağını farz edelim. Bütün olarak insan

---

[7] Kıyaslayın: http://www.digitalhistory.uh.edu/historyonline/us25.cfm ve ABD Nüfus Dairesi, *Stastical Abstract of the United States,* http://www.census.gov/statab/www/, Agriculture (Ziraat) bölümü.

[8] US Census Bureau (ABD Nüfus Dairesi), *Statistical Abstract*, tablo 558.

[9] Hans Moravec, *Robot: Mere Machine to Transcendet Mind* (New York: Oxford University Press, 1999), s. 127-38.

ırkı çok iyi durumda olurdu. Herkes, Robinson Crusoe ve muazzam yetenekli robotu Cuma'yla aynı konumda bulunurdu.

Tek tek bakıldığında bile, işlerimizi makinelerin yapmasından hoşnut olurduk. Basit senaryo şudur: Her bireye, onun işini yapacak bir robot veriliyor.[10] İşi robot yapıyor ama parayı insan alıyor. Hiç sorun değil! Sorun, robotun mevcudiyetinden değil, robota kim sahip olacak meselesinden doğar. Herkese bir sentez cihazı vermek de aynı etkiyi yaratacaktır. Nanoteknoloji sayesinde bunun yapılabileceğini gördük. İnsanlar esasen, avcılık ve toplayıcılık yaptığımız, topraktan geçindiğimiz paleolitik zamandan bu yana olduğumuzdan çok daha bağımsız olabilir.

ÇEKİNCELER

Özne rolümüzün elimizden alınması bizi yıldırmalı mı? Kendimizi bağımlı, değersiz mi hissedeceğiz? İnsanlar yaptıklarıyla gurur duyar, aslında şahsi kimliklerimizin ve özsaygımızın büyük kısmı yaptığımız işi temel alır, hatta insanları buna göre sınıflandırırız. O adam marangoz, şu kadın muhabir deriz. Kabile ortamında bu kalıpların pek anlamı yok, çünkü kişiyi zaten tanırsınız. Fakat kabile bile ortamında o gurur hissi, toplumun para olmaksızın işlemesinde önemli bir etkendir. Kişinin akranlarından göreceği saygı ya da saygısızlık, tıpkı maddi kazanç beklentisi gibi, çalışmak için güçlü bir saik teşkil eder. Uzun vadede, düzgün ve tatminkâr hayatın kilit unsuru, tüketilen malların ya da hizmetlerin miktarı değil, başkalarından görülen saygıdır.

Crusoe, robotun gelmesinden kârlı çıkmıştır, çünkü robot, Crusoe'nun bitirilmesini istediği işleri yapar. Başta Abraham Maslow olmak üzere psikologlar, bir ihtiyaçlar hiyerarşisi belirlemiştir. Bu hiyerarşi, hava ve gıda gibi temel gereksinimlerden, çeşitli ruhsal ve toplumsal arzulara kadar uzanır.[11] Bu modelin çarpıcı noktası, ilgilendiğiniz ve hakkında kaygılandığınız şeylerin bu hiyerarşide bulunduğu noktanın altında kalan her isteğin, doyuma ulaşmış olması ve

---

[10] Bu pek muhtemel görünmüyor, öyle değil mi? Fakat diyelim ki robot kopyalama bugün bilgisayardan müzik dosyası kopyalamak kadar kolay. O durumda bu işin karşısındaki tek engel, bu işe karşı çıkan örgütlü bir kampanya olurdu.

[11] Abraham Maslow, *Motivation and Personality* (New York: Harper & Row, 1970).

çantada keklik görülmesidir. Fakat hiyerarşide hangi noktada olursanız olun, istediğiniz bir şey daima mevcuttur. O halde Crusoe'nun robotu ne kadar çalışırsa çalışsın, Crusoe'nun yapacağı ilave şeyler illaki olacaktır. Crusoe, bir robot birliğine, robot ordusuna, robot ulusuna sahip olsa da bunların erişemeyeceği şeyleri muhakkak isterdi.

Aynısı bütün insan ırkı için geçerli. Robotlara sahip olduktan sonra işimiz, yapılacak işlere karar vermek olacak. Bunun ardından ekonomi bilimi, kişilerin bireysel arzularını bütün insan ırkının toplu arzusuna çevirmenin yolunu incelemeye dönüşecek.

Bu süreç için bariz ve çok ciddi bir tehlike var. Çok farklı biçimlerde boy gösterir, fakat basitçe özetlenebilir. Robotların kölesi değil efendisi olmamız sağlama alınmalı. Sosyalist görüşün yarattığı esas dehşet, makineleri insanların bir uzantısı yapmak yerine, insanları makinenin bir parçası haline getirmesidir. Aynısı şirketler için de söylenebilir.

Şeytan elbette ayrıntılarda gizli. Bulunduğumuz noktadan sağlam bir görüşe nasıl ulaşırız, hem de kötü fikirlere saplanıp kalmadan? Başlangıç olarak, sağlam görüş derken neyi kastettiğimizi daha ayrıntılı inceleyelim.

ÜTOPYA, LTD. ŞTİ.

Herkese ev, sentez cihazı ve internet bağlantısı vererek başlıyoruz. Altyapıyı inşa edip bakımını üstlenen robot kıtaları olduğunu varsayalım. Dolayısıyla her bireye ya da aileye temel fiziki imkânlar sağlanmıştır ve hayatta kalmak için çalışmaları gerekmez. Otojenöz teknolojiler olarak sentez cihazları ile robotlar, beşinci aşama nanoteknoloji düzeyine gelindiği için sudan ucuz; fakat toprak artık ateş pahası. Nihayetinde insanları ya devasa kovanlara balık istifi gibi yerleştireceğiz ya uzaya taşınacağız ya da muhtemelen ikisi birden gerçekleşecek.

İnsanların toprak ya da kısıtlı başka kaynakları elde etmesi için, takas edebilecekleri bir şeyler üretmesi gerekecek. İnsanların saygısını ve ilgisini kazanmak için muhtemelen bir şeyler imal edip bağışlayacaklar. Günümüzden internet güncelerini (*blog* sayfaları) örnek verebiliriz. İnsanlar buralarda köşe yazısı muadili yazılarını bedavaya yazıyor, böylece kendi kanaatlerini yayabiliyor, adlarından bahsettirebiliyorlar, falan filan.

İnsanların ürettiği her şey aslında bilgi kapsamına girecektir. Robotlar için yazdığınız talimatlar bilgidir. Üretilen ve tüketilen eğ-

lence de bilgidir. Sentez cihazınızda inşa edilecek her şeyin tarifi bilgi kapsamına girer.

Günümüzde bilgi üretmenin masrafı asgari düzeyde. Bir dükkâna girip kutu içinde satılan o yazılım uygulamalarından satın alsanız, genelde size onlarca ya da yüzlerce dolara gelir. 100 megabitlik bir dosyanın bedeli, internetten indirme başına iki senttir. Bakımını robotların yaptığı nanomühendislik ürünü bir altyapıyla, bu bedel esasen sıfıra düşecektir. Bilginin gerçek değeri, üretim masrafı bölü bu ürünü isteyen insan sayısı olacaktır.

Bir ton kömürü bir ton robota dönüştürmek, esasında, kömür hammaddesine bilgi eklenen ve yapı kazandırılan bir süreçtir. Bir tonluk robot üretme masrafının büyük kısmı, hammadde masrafı kadar olmalıdır. Bilgi ise en başta üretime geçerken gayet pahalı olabilir, fakat bilginin kopyalanması, sentez cihazının kopyalamasından bile ucuzdur. Buna tek engel, tekel rantı ve ticari işlemlere dair verimsizliklerdir.

Dünya üzerindeki toprak ve enerji, uzaydaki madde gibi sınırlı kaynaklar, çeşitli yollarla pay edilebilir. Kavramsal olarak, herkes sabit bir miktar alır. Uygulamada ise bu bir sorunsaldır, çünkü insanlar ticaret yapacak ve yeni insanlar doğacaktır. Mütemadiyen bazı insanların elindekileri alıp başkalarına vermeniz gerekir ki insanları bu uygulamanın adil olduğuna ikna ederek bunu yapmanın yolu yok. Bu yelpazenin uzak ucu ise mülkiyettir. Mülkiyet bağlamında, neye sahip olduğunuz, geçmişte neyiniz olduğuna ve onunla ne yaptığınıza bakar. Yeni doğan insanlar, anne babaları onlara ne verirse ancak onu alır.

Melez bir nizam mümkün görünüyor. Tarih boyunca gerçek faiz oranı,[12] ki sermayenin üretkenliğini yansıtır, yıl başına yaklaşık yüzde üç olmuştur. Nanoteknoloji kadar üretken bir teknoloji söz konusu olunca, gerçek faiz oranı muazzam tırmanış gösterebilir, çünkü birim sermayenin yeni bir birim sermaye üretme zamanı epey kısalır. Şu şekilde düşünün: Sentez cihazı alıp sermayemi milyon kat çoğaltabilecekken, neden yüzde üç faizle borç para vereyim ki? Bu olasılıkla rekabet edebilmek için, çok daha yüksek faiz oranları teklif edilmeli.

Meseleye bakmanın başka bir yolu da şu: Ekonomideki tüm ıvır zıvırın toplam değeri hızla yukarı tırmanacak. Yani devlet, ya da para arzını kim denetliyorsa o, aradaki farkı kapatmak için düpedüz enf-

---

[12] Gerçek faiz oranı, görünür faiz oranı eksi enflasyondur. Yatırım sayesinde zamanla ne kadar zenginlik yaratıldığını ölçer.

lasyon yaratabilir. Fiyatlar sabit kalacaktır, çünkü yeni dolarların peşinden kovalayabileceği yeni mallar olacak. Ayrıca yeni basılan para vatandaşlara hisse payı olarak dağıtılırken, bir yandan da ellerinde ne varsa, ne yaratabiliyorlarsa ya da takas edebiliyorlarsa kendilerine saklamalarına izin verilebilir. Vergiler artık gereksiz olacak.[13]

MENZİLE ULAŞMAK

> Hiçbir şey yeni düzenlemeler kadar çok tartışılan, sonucu belirsiz, uygulaması tehlikeli değildir. Çünkü yeni düzenlemeyi getiren insan, eski uygulamalardan yarar sağlayanların düşmanlığını kazanırken, yeni düzenlemelerden yana görünenlerin de etkin desteğini alamaz.[14]
>
> Niccolo, Machiavelli, *Hükümdar*

Evvel zaman içinde, uydurma bir kraliçenin zindanında iki mahkûm yatarmış. Kraliçe, adaletin yerine gelmesini istiyormuş ama iki mahkûmun da gerçekten o suçu işlediğinden emin değilmiş. İkisine de, öteki mahkûm suçlu mu değil mi söylemesini buyurmuş. İki mahkûm da arkadaşının masumiyetini savunursa, ikişer yıl hapis yatacaklarmış. (Bu tutum için dayanışma diyeceğiz.) Eğer ikisi de karşı tarafın suçlu olduğunu söylerse, beşer yıl yiyeceklermiş. (Bu tutuma ihanet diyeceğiz.) Mahkûmlardan biri arkadaşını suçlarken, arkadaşı onun için masum derse, hain bir yıl, dayanışmacı on yıl ceza alacakmış.

Tek tek mahkûmların bakış açısından, hemen akla gelen çözüm, arkadaşa ihanet etmektir. Dayanışmayı seçerse iki kat ceza alacak: Öteki de ihanet ederse on yıl yerine beş yıl, dayanışmayı seçerse iki yıl yerine bir yıl yatacak. Fakat iki mahkûmu aynı anda ele alırsak, birlikte yapabilecekleri en iyi şey dayanışmaktır: Toplamda on ya da on yılı aşkın bir süre yerine dört yıl ceza alırlar.

Bu küçük bilmeceye Mahkûm İkilemi denir, ayrıca pek çok ekonomik ilişkinin minyatür bir eskizidir. Bu bilmecenin özü, bireyin bakış açısıyla atılacak en iyi adımın, bütün olarak topluluğun bakış

---

[13] Elbette bu vergilerin ortadan kaybolacağı anlamına gelmez: Pek çok vergi şimdiden gereksizdir. Eğer eyalet gelir vergisi ödüyorsanız, Alaska, Florida, Nevada, New Hampshire, South Dakota, Tennessee, Texas, Washington ve Wyoming eyaletlerinin bu vergi olmaksızın idare ettiği aklınızda olsun.

[14] Alıntı: Niccolo Machiavelli, *Hükümdar*, çev. Necdet Adabağ, İş Bankası Yayınları, s. 22.

açısıyla atılacak en iyi adımdan farklı oluşudur.

Mahkûm İkilemine dair hatırlanması gereken önemli nokta, gerçekten bir ikilem olması. Eğer insanlar için her zaman en iyi tercih toplumun bakış açısını yansıtan tercih olsaydı, bunu bencillikten tamamen yoksun olarak yerine getirecek şekilde evrimleşirdik, tıpkı karıncalar gibi. Bunun yerine, esnek davranacak biçimde evrimleştik ve bu gibi ikilemlere kafa yorabiliyoruz. Bu düğümü nanoteknoloji çözmeyecek; ne de başka bir fiziki teknoloji çözebilir. İnsanların genetik yapısına müdahale edip bencilliği tamamen ortadan kaldırsak bile, işleri sadece berbatlaştırmış oluruz. İnsanların bireysel zekâsı, ulustan ya da dünyadan ziyade kendilerine ya da yakın çevrelerine yararı dokunacak işleri değerlendirme konusunda iyidir. Bütünün kazancının büyük kısmı aslında, bütünü meydana getiren parçaların kazancının toplamıdır. İşin püf noktası ve evrimin insanlarla yapmaya çalıştığı şey, bir denge tutturmaktır.

Yukarıda bahsettiğim sağlam görüşle bizim aramızda duran ana barikatlar bir nevi Mahkûm İkilemleridir. Devletler (ya da şirketler hatta bu hususta bireyler), çok baskı altında olmadıkça pek verim vermez. Nanoteknolojinin geliştirilmesinde yer alan insanların ve şirketlerin çoğu, kendilerine en büyük faydayı sağlamak için bu yola baş koyacaktır. Bu da, bu işten mümkün mertebe en yüksek parayı kazanmak için nanoteknolojinin yararlarının uzun süre boyunca kısıtlanacağı anlamına gelir. Yukarıda sentez cihazlarından bahsederken bu meseleye değinmiştik. Aslında kanun gereği şirketlerin böyle davranması zorunlu; eğer bu yolu tutturmazlarsa hissedarları tarafından mahkemeye verilirler.

Uç bir örnek vermek gerekirse, bugünün nanotek öncesi dünyasında üstün konumda bulunan insanlar (şirketler, devlet yetkilileri), her türlü nanotek gelişmeye karşı çıkmak isteyecektir. En azından, kendi çöplüklerine yönelen tecavüzleri yasaklayarak ya da bir düzene sokarak belirli menfaatler sağlamaya çalışacaklar.

Tekel rantı peşinden koşmaya yönelik bu tavır, Mahkûm İkileminin bilhassa habis bir örneğidir. Toplumda herkes tekel sahibi olsa, bunun kimseye bir faydası dokunmaz ve herkes fakirleşir. Eğer kimileri nazik davranıp ortak fayda sağlamak için dayanışma yoluna giderse, özgür bir toplumda hilecileri dışlayarak bunu yapabilirler. Böylece dayanışmacılar üstünlüğü ele geçirip palazlanabilir. Hileciler, başka hilecilerle iş yapmak zorunda kalır ve uzun vadede durumları kötüleşir. Dolayısıyla dayanışma gelişir. Fakat hilenin, yani tekelin kanun tarafından yürürlüğe sokulduğu toplumda, dayanışmacıların

palazlanmasının tek yolu yasa dışı faaliyet göstermektir.

Tekrar ediyorum, bu, nanoteknolojinin çözebileceği ya da çözeceği bir sorun *değil*. Bu sorun, nanoteknolojiyi çözebileceği meselelerden alıkoyacak; ayrıca mevcut dünyanın, değişmesi pek muhtemel olmayan ve nanoteknolojiyi normalinden tehlikeli hale getirecek özelliklerinden biridir.

Bizimle nanoteknoloji arasında başka bir bariyer daha beliriyor. Bugün pek çok varlıklı Amerikalı ve Avrupalı, sizin sayenizde oldukça rahat bir hayat sürüyor. Meydana çıkıp, "benim keyfim yerinde, tuzum kuru, ne haliniz varsa görün," demek hiç akıllıca değil, fakat herkes için insanca bir yaşamın koşullarını geliştirme becerisine sahip görünen her türlü teknolojiyi şeytanlaştırmaya çalışan apolojistlerin türemesini sağlayan bir sanayi zaten var.

Durum buyken, işaretleri yorumlaması gereken kişi de güç bir seçimin eşiğindedir. Günümüz itibariyle nanoteknoloji araştırmalarının çoğunluğu ABD'de ve Avrupa'da yürütülüyor. Bu ülkeler, bugün için varlıklı ve güçlü kesimlerin nanoteknolojiye en az ihtiyaç duyduğu ve felaket tellallarının en çok itibar gördüğü yerlerdir. Fakat dünyada onca yer var ki insanlar durumlarını iyileştirmek için risk almaya hazır. Araştırma konusunda epey geride olsalar da, nanoteknolojinin ilk olarak Asya'da, Afrika'da ve Güney Amerika'da benimsenmesi, dolayısıyla da hızlı bir kalkınmanın buralarda tecrübe edilmesi oldukça muhtemel. Sanayi devrimi sırasında İngiltere'nin Fransa'yı solladığı yol, bu gidişatın açık bir tarihsel öncüsüdür.

Madalyonun öteki yüzüne de bakalım. Zengin Batılılar tabii ki yaşlanıp ölüyor. Zindeliklerini ve ömürlerini artıracak her türlü gelişmeyi desteklemeleri beklenebilir. Nanoteknoloji gerçekten de fiziksel özürleri giderebilir, başka türlü özürleri ise hafifletebilir; bu da alkışı hak eden, herkesin kucakladığı bir hedeftir. Aşırı gıda tüketiminden vazgeçmemeye kararlı görünüyoruz, gerçi diyabet ve kalp damar hastalıklarından da pek hazzetmiyoruz. Nanotıp, bu cephelerden birinde ilerlemeye başladıktan sonra, ivme kazanması gayet olası. Fakat bu aşamada nanotıp, genetik müdahalenin epey gerisinde ve bu durum muhtemelen onlarca yıl sürecek; biyoteknolojinin büyük bir erken başlama üstünlüğü bulunuyor. Sonunda nanoteknoloji yerine biyoteknolojiye saplanıp kalabiliriz ki bu iki teknolojiden daha tehlikeli olan odur,[15] oysa nanoteknoloji, biyoteknolojinin yarattığı tehditleri tespit edebilir, engelleyebilir, savuşturabilir.

---

[15] Bkz. On Altıncı Bölüm, "Gerçek Tehlikeler."



ON BİRİNCİ BÖLÜM

TAŞIMACILIK
Aslında Dünya Çok Küçük

> En iyi malzemelerden, paranın tutabileceği en iyi adamlardan, çağdaş mühendisliğin yaratabileceği en basit tasarımlardan faydalanarak motorlu arabalar yapacağım hem de bol miktarda. Düzgün maaşı olan herkes bu arabalardan alabilecek ve ailesiyle birlikte Tanrı'nın muhteşem açık alanlarında haz dolu saatlerin keyfini çıkaracak.[1]
>
> Henry Ford

1990'lara gidelim. Orta kuzey New Jersey'den geçen 78 numaralı eyaletler arası yol sonunda tamamlanmıştı. Onlarca yıl mahkemelerde sürünmüş ve bitirildiğinde, her mili otuz milyon doları aşan bir paraya mal olmuştu ki bu maliyet o dönemde kent dışından geçen yollar için doruk noktası sayılırdı. Otobanı merkez alan kırk kilometre genişliğindeki şeritte arsa fiyatları bir gecede âdeta ikiye katlandı.

Peki neden? Yeni otoban sayesinde artık New York Şehrine bir saat içinde ulaşmak mümkün olmuştu, oysa öncesinde aynı yol iki saate yakın sürüyordu. Broadway oyunlarından büyük merkezî havalimanlarına kadar şehrin sunduğu olanaklar, evlerin arka bahçelerinde geyiklerin cirit attığı, kapı komşusunun bir bizon çiftliği olduğu (gerçekten!) kırsal sayılabilecek bir çevrede yaşayan insanlar için kullanılabilir hale gelmişti.

Ülkenin Alaska gibi bazı yerlerinde şahsa ait uçaklar, New Jersey banliyölerine kıyasla daha yaygındır. Gerçi, arabalarla karşılaştı-

---

[1] Ford'un bu sözü sık sık alıntılanır. Ford internet sitesi de dahil: http://media.ford.com/newsroom/release_display_new.cfm?release=81. 1908 yılında T modelinin tanıtılmasıyla bağlantılı olarak söylendiği görünüyor. Ford, vazettiği şeyi hayata geçirmiştir. Ucuz araba üretmesinin yanı sıra, coşkulu bir doğa insanıydı. "Tanrı'nın muhteşem açık alanlarının" keyfini sürerken yemek pişirmek için odun kömürü briketini icat etmişti.

rıldığında uçakların bazı dezavantajları var. Bir kere pahalılar. Uçak sürerken sezgilerinize o kadar güvenemezsiniz ve güvenli kullanmak için bol bol alıştırma yapılması gerekir. Kötü hava şartlarından epey etkilenirler. Öteki uçaklarla aralarına mesafe koyarak uçmaları gerekir ve iniş pisti için epey boş alana ihtiyaç duyarlar.

Yine de, arabaların on katı hızla giden hava taşıtlarıyla mütemadiyen uçarız. Arabalardan daha güvenlidirler ve ülke içi uzun mesafeli seyahatler uçakla daha ucuza gelir.

Fakat hava taşıtıyla yolculuk yapmak büyük bir derttir. Orta mesafeli sıradan bir yolculuğu düşünün, mesela sekiz yüz kilometrelik bir seyahat olsun. Öncelikle, uçuşun ne zaman yapılacağını siz seçmezsiniz; belki sizin programınıza uyuyordur, fakat çoğu durumda, uçağınkine uysun diye planınızı ya da programınızı değiştirmek zorunda kalırsınız. Sonra, havalimanına gidip arabanızı park etmeniz gerekir; bu da bir saat sürer. Ardından biletinizi kontrol ettirmeli ve beklemelisiniz, çünkü havalimanına uçuştan en az bir saat önce gelmeniz tavsiye edilir. Üstelik cebinizde çakı bile taşıyamazsınız. Her yolculuktan önce, yanınıza alacağınız eşyaları paketlemeniz gerekir ve bu eşyalar işgüzar yabancılar tarafından teftiş edilir. Bu işlem sırasında bagajımdan lazer işaretleyicimin kaybolduğu oldu; işini fazla ciddiye almak yüzünden mi yoksa bir nevi arakçılık mı söz konusu bilmiyorum. Uçağın havalanmasının ardından her şey pürüzsüz gider, ta ki yaklaşık bir saat içinde yere inene kadar. Sonrasında bagajınızı almanız, araba kiralamanız ve esas varış noktanıza gitmeniz en az bir saat sürer. Üstelik her şey sorunsuz giderse, bagajınız kaybolmazsa, uçak rötar yapmazsa falan filan.

Oysa arabanız varsa, eşyalarınızı bagaja tıkıp yola çıkarsınız. Canınız isterse, her seyahat için bavul hazırlamak yerine yol eşyalarınızı arabanızda bırakabilirsiniz. Eşyalarınızı kurcalayan, dağıtan, didik didik arayan birileri olmaz; kaçırılma ihtimali de yoktur.[2] Bavullarınız falan kaybolmaz. Canınız çeker sigara içersiniz, aklınıza eser gürültülü müzik dinlersiniz, isterseniz de mutlak sessizlik içinde

[2] "Araba kaçırmak" sayılmaz; yayayken soyulma ihtimali arabadayken soyulma ihtimalinden yüksektir, dolayısıyla arabada olmak daha güvenlidir, daha tehlikeli değil. Tek tek arabalar terörizm için hedef değildir. Beklenmedik bir durum ama uçmak, arabanızın kaçırılması ihtimalini artırır, çünkü arabanızı geniş, kamusal, çoğunukla da ıssız alanlara bırakmanız gerekir, oysa arabanızı güvenli bir yerden güvenli başka bir yere doğrudan götürebilmek kaçırılma ihtimalini düşürür.

yolculuk edersiniz. Balık gibi istiflenmek yerine gönlünüzce yayılırsınız. Kafanıza estiği yerde durur, hoş lokantalarda yemek yersiniz.

1950'lerden beri insanlar, şahsa ait uçan araba fikriyle boşuna ümitleniyor. Uçan araba, bu iki yolculuk tipinin en iyi yanlarını bünyesinde birleştirme vaadi taşır. Gidiş istikametinizde doğrudan uçabilseniz, arabanın mahremiyet ve yolculuk zamanını isteğe göre belirleme üstünlüklerinden faydalanmanın yanı sıra havalimanının tüm sıkıntılarından uzak durup yolculuk süresini saatlerce kısaltabilirsiniz. Uçan arabanız uçakların ancak yarısı kadar bile hızlı olsa, yolculuktan birkaç saat tasarruf edebilirsiniz.

Nanoteknoloji, uçan araba inşa edebilir mi? Yapabileceğine şüphe yok, çünkü mevcut teknoloji de uçan araba yapabilir. Akla ilk gelen sorular şöyle: Acaba nanoteknoloji uçan arabanın fiyatını düşürebilir mi, güvenliğini artırabilir mi ve mahalleli silaha sarılmasın diye yerleşim bölgelerinde sessiz çalışmasını sağlayabilir mi?

Moller[3] gibi mevcut uçan arabaların tanesi bir milyon dolar civarında. Seri üretim bu fiyatı epey aşağı çekebilir, fakat uçan arabaların hakikaten hesaplı olabilmesi için otojenöz moleküler imalat sistemi gibi bir yöntem gerekecek. Nanotek malzemelerin dayanıklılık-ağırlık oranları ve moleküler motorların güç-ağırlık oranları düşünüldüğünde, güçlü ve ferah bir uçan arabanın ancak birkaç yüz kilogram ağırlığında olacağını öngörebiliriz. Bu, hammadde masrafının birkaç yüz dolara geleceğini gösterir. Uzun vadede, geliştirme masrafları amorti edildikten sonra, uçan arabalar bugünün kara arabalarından epey ucuz olacaktır.

Hafif bir uçağı uçurmak, ustalık gerektiren bir iştir. Büyük kazaların en yaygın sebebi, Federal Havacılık İdaresi tarafından biraz da yumuşatılarak "yere denetimli uçuş" tabir edilir; uçuş seviyesinde olduğunuzu düşünürken toprağa çakılmak mânâsına gelir. Baş aşağı uçup da bu durumu fark etmemek ya da uçak tam 360 derecelik takla atarken fincana kahve boşaltmak gayet mümkündür. Güvenli uçuş bolca eğitim ve alıştırma gerektirir.

DİK, yani dikey iniş ve kalkış yapan bir hava taşıtı uçurmak daha da zor. Yine de uçan arabamızın DİK olmasını istiyoruz. Bunun sebebi, araba boyutunda bir DİK'in mevcut kara yollarıyla uyumlu olmasıdır, fakat hızlanarak havalanan "normal" uçak için iniş pisti yapmak gerekir. (Evinizden uzak ayrı bir havalimanını düşünmeyin bile: Havalimanının tüm o izdiham sorunlarını yeniden gündeme ge-

---

[3] Bkz. http://www.moller.com/skycar/

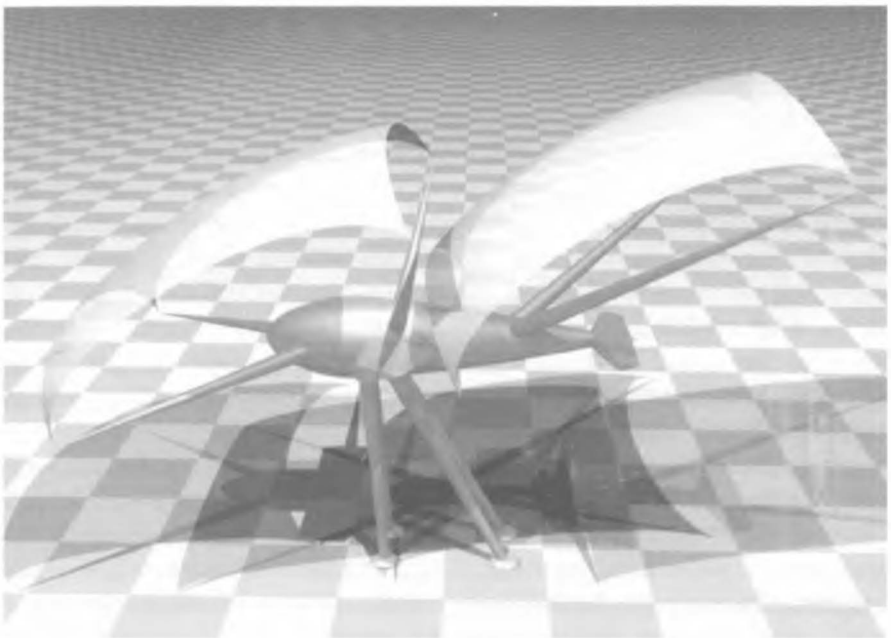
tirir, ayrıca havalimanına ulaşmak için karada giden bir arabaya da ihtiyaç duyarsınız, üstelik indiğiniz yerde kara taşıtı bulma gerekliliğinden bahsetmiyorum bile.)

Dolayısıyla uçan arabada tüm uçuş işlemlerini yapabilecek bir otomatik pilot olmalı. Otomatik pilotlar var, hatta on yılı aşkın süredir ticari uçaklarda mütemadiyen kullanılıyor. Otomatik pilot, insan sezgilerine aykırı bir şekilde, uçuş şartlarına uygun reflekslere sahiptir, bunun yanı sıra, olup biten hakkında pek çok şey anlatan bir dizi sensöre doğrudan bağlıdır. Örneğin, uçağın etrafındaki tüm basınç ve hava akımı koşullarını duyumsayabilir. Nanoteknoloji sayesinde, otomatik pilot için bu işi yapacak nanosensörler ve nanobilgisayarlar üretmek kolay olacak, oysa günümüzdeki muadilleri hem pahalıdır hem de yüksek teknoloji kapsamına girer.

Dikey kalkış ve araba boyutu gibi iki kısıtlama yüzünden, sessiz çalışan bir makine tasarlamak oldukça zor. Helikopterler, insanı çileden çıkaracak kadar gürültülüdür ve Harrier gibi itiş yönünü değiştirebilen jetler kulakları sağır eder. Basit bir şekilde ifade edersek, havalanmak için bir hava sütununu aşağıya itmek gerekir. İnce bir hava sütununu Harrier gibi hızla itebilirsiniz ya da enli bir hava sütununu helikopter gibi yavaş yavaş itebilirsiniz. Hava sütunu ne kadar hızlı itilirse, o kadar gürültü çıkar.

Helikopter tarafından aşağıya itilen hava, güçlü bir rüzgâr gibidir; bir esinti sesi duyarsınız, fakat aşırı gürültülü ya da asap bozucu değildir. Helikopterde gürültüyü pervane kanatları çıkarır. Yoğun güm-güm-güm sesini bu pervane kanatları üretir, çünkü her dönüşlerinde havayı sert bir darbeyle döverler, yumuşak ve dengeli bir şekilde itmezler. Yeri gelmişken belirtelim, helikopterin çıkardığı gürültü, daha yumuşak ve kesintisiz (trafik uğultusu gibi) seslerin rahatsızlık verme eşiğinin yirmi desibel altında olsa da vasat insanı çileden çıkarır. Bu bakımdan rock müzik gibidir (kimi insanların nazarında!).

Fakat havalanmanın en sessiz yolu sıçramaktır. Uzunluğu on beş metreye çıkan ve katlandığı zaman derinliği üç santimetreden küçük ceplere girebilen bir ayak tasarlamak nanoteknolojinin kabiliyetleri dahilinde. Bunun bize iki faydası dokunur. Havayı iten motor devreye girdiği zaman uçan araba zaten beş kat yüksekliğe çıkmış olacaktır, dolayısıyla gürültü dağılır gider. İkincisi, zaten yüksek bir hızla harekete geçtiği için, daha küçük bir ivme yeterli olacaktır. Ayrıca, hızlı hareket etmenin, aerodinamik iticileri (pervaneler, kanallı pervaneler, jet motorları) daha verimli kıldığı anlaşılmıştır; aşağıya



Şekil 17 Uçan araba kalkışa geçiyor. Katlanabilir direkler üzerinde açılan fanlı kumaş yelkenler sayesinde nanoteknoloji ürünü uçan araba, mevcut tüm DKİ hava taşıtlarından çok daha sessiz bir şekilde havalanacak.

itilen hava sütunu yüksek olduğu için, o kadar sert itmeye gerek olmaz.

Harrier'in ya da helikopterin inişi, neredeyse kalkış kadar gürültülüdür. Gerçi dikey inmenin sessiz bir yolu var: Yere paraşütle konmak. Bundan ilham alarak, dikey uçuşun bir sonraki aşamasını tasarlayabiliriz. Helikopter pervanesinin süpürdüğü kadar alanı ince malzemeden yapılma bir çarşafla kaplayın. Fakat söz konusu çarşaf, kumaş değil, pencere kafesi gibi delikli bir ağdır. Her delikte minik bir pervane kanadı bulunur. Böylece büyük bir hava sütununu, o güm sesini hiç çıkarmadan ittirebilirsiniz. Bu pervaneli kumaşı paraşüt gibi askıyla asmak yerine yelkenli gemilerdeki gibi direkler üzerinde açmak, kumaşın denetimini kolaylaştırır. Dolayısıyla hayli romantik bir manzara oluşur: gökyüzünde gezen yelkenli gemilerin görüntüsü.

Makul bir irtifaya, yüzlerce metre yüksekliğe ulaştıktan sonra, tüm ayakları ve yelkenleri içeri çekip hızlı hareket etmeniz gerekir. İlk olarak kanatları dışarı çıkartırsınız. Kanallı pervane (*ducted fan*) gibi

iticiler sayesinde havada kalıp ilerlemek gayet mümkün, fakat her halükârda hızlı gitmek istediğiniz için, kanatlar verimi artıracaktır. Bugünün uçak tasarımları genelde yaklaşık on civarında kaldırma-sürükleme oranına sahip. Yani motorlar, her on kilogramlık ağırlık için bir kilogramlık itiş üretmek zorunda; işin gerisini kanatlar halleder.

Esasen, mevcut itici motor tarzlarının her türlüsü işe yarayacaktır, bilhassa da kanallı pervaneler; fakat daha iyisini elde etmenin bir yolu var. Devinim halindeki nesne, devinim halinde kalma eğiliminde olur; uçan arabanız dış uzayda olsa, yoluna devam etmek için itici güce ihtiyaç duymazdı. Ancak atmosferde sürükleme görüngüsü bulunuyor. Sürükleme çoğunlukla üç sınıfa ayrılır; bunlar, enerjinin uçağı saran havaya yayılmasının kiplerine denk gelir. İlki endüklenmiş sürüklemedir; bu sürükleme türü, yükselmeyle ilişkilidir. Bunun neticesinde hava, uçağın ardından aşağı doğru itilir. Planörünki gibi uzun, ince kanatlar bu sürüklemeyi azaltır. Ancak bu kanatlar da bir sonraki sürükleme türü olan yüzey sürüklenmesini artırır. Esasen bu, uçak yüzeyinin, kendi üzerinden geçen havayla sürtünmesidir; bu sürtünme havayı ısıtır. Üçüncüsü, şekil sürüklemesidir; havada türbülansa neden olur. Aerodinamik bir şekil sayesinde bu sürükleme azaltılabilir.[4]

Mevcut uçaklardaki gibi, katı metal aksamın şekli aerodinamik olmaya yaklaştırılabilir, fakat hava akımları her hız, rakım, rüzgâr, türbülans vesaire değişikliğiyle değişir. Baykuşunki gibi yumuşak, uyumlu kanatlar hava akımlarına çok daha kolay ayak uydurur, dolayısıyla baykuşlar hiç türbülans yaşamadan ve insanın kulaklarının duyamayacağı şekilde uçabilir. Nanomühendislik eseri kanatlar hava akımlarına uyum gösterme kabiliyeti taşıyacak, böylece sürüklemeyi ve gürültüyü azaltacaktır.

Yüzey sürüklemesi, aslında yüzeyler pürüzsüz olmadığı için ortaya çıkar. Hava molekülleri hareketli yüzeye çarptığı zaman, yüzey bu molekülleri kendi hareket ettiği istikamete sektirir; böylece momentumu taşıttan havaya iletmiş olur. Atom ölçeğinde pürüzsüz yüzeyler bu noktada işe yarayabilir, fakat bu yapılar bile tümseklidir, üstelik atomlar yapışkandır. Bir parça momentum kaybı her daim yaşanacaktır.

---

[4] Bu konu hakkında düzgün yazılmış genel okuyucu odaklı harika bir kitap için bkz. Henk Tennekes, *The Simple Science of Flight: From Insects to Jumbo Jets* (Cambridge, MA: MIT Press, 1996).



Şekil 18 Uçan araba seyir halinde. Yükseldiği zaman ayaklarını, direklerini ve yelkenlerini içeri çekecek. Şekildeki yapı, uzun ve lleriye yatık kanatlarıyla eksi direnç için uygun hale getirilmiştir.

Fakat diyelim ki yüzeye çark ya da pervane yerleştirebiliyorsunuz ve seken molekülleri başka istikametlere yönlendirebiliyorsunuz. O durumda eksi sürükleme elde edersiniz.[5] İşte o zaman planör benzeri uzun kanatlar takılabilir, çünkü sürükleme sizi geri iteceği yerde ileri çekecektir. Böylece gerekli itiş gücünü beş kat azaltabilirsiniz, çünkü en kaliteli planörlerin kaldırma-sürükleme oranı elliye çıkabilir. Endüklenmiş sürüklemeden epey bir kesinti yaparak, itiş gücünüzü eksi sürüklemeden elde edersiniz.

Tüm bunlar çalışır hale getirilirse, uçmak için gerekli güç, ağırlığın ve hızın çarpımının yüzde ikisi olacaktır. Eksi sürüklemenin, enerji dönüşümünün vesairenin yol açacağı kayıpların telafi edilmesi için yüzde beş diyelim. Yine de, eğer siz artı bagajınız artı uçağınızın ağırlığı yarım ton geliyorsa, saatte 800 kilometre hızla 800 kilometrelik bir yolculuğun maliyeti yedi buçuk litreden az gazolin olur (yani 2,2 kilogramdan az hidrojen).

Bu yapılabilir mi? Eksi sürükleme dışında her şey, nanomühendislik ürünü malzemelerle ve makinelerle basit görünüyor. Şekil değiştirmek, birkaç askerî uçak dışında günümüzün tüm hava taşıtlarına fazlasıyla ciddi ve pahalı gelir, fakat moleküler teknoloji için sorun teşkil etmez; unutmayın, vücudunuz hareket ederken ve kuşlar uçarken şekil değiştirirler.

Ayakları uzatmak, kanatları katlamak ve açmak, yelken direklerini dışarı çıkarmak gibi şekil değişiklikleri için, çok ince elmas katmanlarından yapı öğeleri inşa edebiliriz. Elmas katmanları birbirleri-

[5] Sınır katmanı kontrolünü söylemeye gerek yok, zaten faydası dokunur. *Sürtünme* kelimesinin biraz standart dışı bir kullanımı olduğuna dikkat ediniz.

ne öyle tutturulur ki birbirlerinden ayrılmazlar ve hep birlikte sadece tek yöne kayarlar. Bunlar, milyonlarca mikroskobik motor tarafından birbirleri üzerinde kaydırılabilir. Örneğin uçan arabanın ayağı, radyo anteni gibi birbiri içine geçen bir dizi silindirden meydana gelecektir. Her biri 5 mikron kalınlığında, üç santimetre uzunluğunda ve 15 ila 20 santimetre çapında altı bin silindirden oluşabilir. Kendi üzerine katlandığı zaman, üç santimetre kalınlığında halka şekline dönüşecek; uzadığında ise on beş metre uzunluğunda bir tüp olacaktır. Normal teker basıncıyla şişirildiğinde, sırf basınç bile yarım tonun üzerinde ağırlık kaldırabilir.

Wright Kardeşler, *Flyer* adlı özgün uçaklarına kanat bükmek dedikleri bir işlemle yön veriyorlardı. Sonrasında aleronlar, kanatçıklar, slotlar vesaire geldi. Kanat bükmek bir parça daha temizdir, daha az sürüklemeye yol açar ve epey çeviktir: Kuşların kanatları böyle çalışır. Sizin boyunuzdaki bir uçağı havalandırmaya ya da kanat açıklığınızla mevcut uçakları uçurmaya çalışın da görelim!

Uçan araba yerdeyken, şekli yumurtaya da benzeyebilir puroya da. Ne kadar uzun, ince olursa, o ölçüde aerodinamik olur. Bodur olanların arka tarafı uçuş sırasında uzayabilir, böylece aerodinamik bir şekle kavuşurlar. Araç yerdeyken kanatlar, yelkenler ve kuyruk içeri çekilir, böylece emniyete alınırlar ve arabanın etrafında insanların dolaşmasını engellemezler.

Eksi sürükleme devreye girerse, kontrol yüzeyleri asgariye indirilebilir. Sürükleme gücünü (ve muhtemelen istikametini) denetlemek, taşıtın etrafındaki hava akımını doğrudan idare etmeyi sağlar. Kanadın üzerindeki kaldırma kuvvetini artırmak için, üst taraftaki sürüklemeyi eksi, alt taraftaki sürüklemeyi artı yapmak gerekir. Sola dönmek için, sol kanatta eksi, sağ kanatta artı sürükleme uygulayın. Gerçekten işe yararsa, sürüklemenin programlanabildiği yüzeye sahip mercek şekilli basit bir aracı ("uçan tabak") uçurabilirsiniz.

Eksi sürükleme uygulamanın, mesela şekil değiştirmek kadar kolay olmayışının sebebi, denetlenemeyen dış ortamda nanomakinelerin kullanılmasını içermesidir. Minik toz parçacıkları, küçük çarkları ya da pervaneleri paramparça edebilir. Normalde fark edemeyeceğiniz düzeydeki nem, nanomakineleri suya boğabilir. Bütün bu zorlukları aşan, aynı zamanda istediğimiz verimlilik üstünlüğünü kaybetmeyen bir tasarım bulmak mümkün olmayabilir. Bu noktada benim çözümlemem, şans yaver giderse bu tasarımın işe yarayacağını söylüyor, fakat burada bahsettiğim öteki tasarımlar kadar kesinliği yok. İşe yaramazsa da, kanallı pervanelere döneriz, tıpkı bugünkü

hava taşıtları gibi. Kanallı pervaneler o kadar şık olmasa da, işe yaradıklarını biliyoruz.

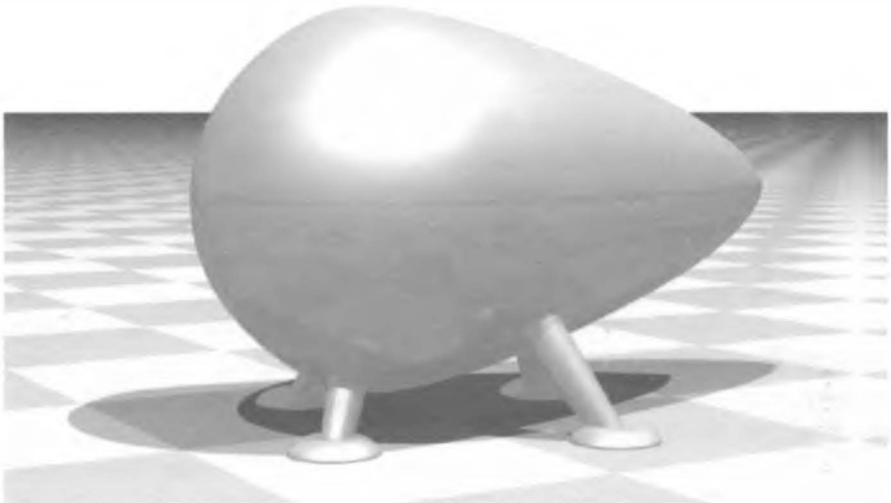
Peki, uçuş güvenliği hakkında ne demeli? Hafif hava taşıtlarının yaşayabileceği sorunların ana sebepleri pilot hatası, kötü hava şartları, büyük hava taşıtlarının yol açtığı türbülans ve bozulan motorlardır. Bütünleşik otomatik pilot ve sensör sistemiyle pilot hatası asgariye indirilir. Öbür hava taşıtlarıyla ve radar sistemleriyle doğrudan iletişim kurulabildiği için, beklenmedik çarpışmaların olasılığı düşüktür. Taşıtı büyük havalimanlarının yanında kullanmayıp, büyük uçaklardan uzak durabilirsiniz. Mevcut hava taşıtı modellerine kıyasla on ila yüz kat fazladan gücü olan hava taşıtları, sert uçuş koşullarıyla daha rahat başa çıkacaktır. Sert ve çalkantılı rüzgârlar, günümüzün uçaklarını yaprak gibi oradan oraya savurur, fakat nanoteknoloji sayesinde uçakların ağırlığını ya da maliyetini fazla artırmaksızın azami güç kapasiteleri yükseltilecek. Bu gelişme, uçuş güvenliğini iyileştirecektir. Son olarak, nanoteknoloji, bir ya da bir avuç büyük motor yerine milyonlarca minik motorun kullanılması seçeneğini sunacak. Motorlardan birinin bozulduğu fark edilmeyecektir bile.

Hava trafik kontrol sistemine aşırı yük binmeyecek mi? Evet, binecek, çünkü bu sistem, miadını doldurmuş bir bürokrasi karmaşasıdır. Araba sürerken yapacağınız her dönüş için "yer trafik denetçisinden" izin istemek zorunda olsaydınız, araba sürmek de keza arapsaçına dönerdi. Bunun yerine özerk bir denetim mevcut; bu sistem, trafik ışıkları gibi otomatik karar makamlarıyla birlikte gayet düzgün çalışır. Bir kuş sürüsünün yere konuşunu ve havalanışını izleyin. Birbirlerine kanat açıklığı mesafede uçarken, hızları şehrin araba trafiği hızına eşittir, üstelik kuşların sinir sisteminin giriftliği sizinkinin yanına bile yaklaşamaz. Oysa kuşlar birbirlerine bindirmez ya da çarpışmazlar. Çöp kutusuna üşüşen sinek bulutunu izleyin. Sinir sistemlerinin becerisi, sizin PC'nize eşdeğer. İki örnekte de merkezî bir denetim bulunmaz; yerel bilgiye dayalı, eş dağılımlı, özerk bir seyrüsefer sistemi söz konusudur. Kalıbımı basarım, bütün o gösterişli teknolojimizle, sineklerin yaptığını bizler de yapabiliriz.

Kalabalık ve izdiham konusunda ne yapılmalı? Şehirler üzerinde kesinlikle izdiham olacak; o halde yeni olan ne? Bunlar dışında, Amerika Birleşik Devletleri'nde 200 milyon araba[6] ve 6.430.000 kilo-

---

[6] US Census Bureau (ABD Nüfus Dairesi), *The Statistical Abstract of the United States*, http://www.census.gov/statab/www/, Trasportation (Taşımacılık),



Şekil 19 Eve dönüş. Uçan araba yere inince tüm kanatlarını ve yelkenlerini katlayacak ve aerodinamik nitelikli uzun şeklini kısaltıp garaja sığar bir hale gelecek. Şekli değiştiren nanotek malzemeler, kapalı haldeki kapıları, pencereleri vesaireyi tespit edilemez duruma getirir.

metrelik yol[7] olduğunu belirterek izdiham konusunda öngörülerde bulunabiliriz. Arabaları yollara eşit aralıklarla dizseydik, 32 metre arayla sıralanırlardı. Ülkenin üzerinde uçuşa elverişli yaklaşık iki yüz milyon kilometreküp hacim olduğu için, eşit aralıklarla dizilmiş aynı sayıdaki araba sekiz yüz metreyi aşkın mesafelerle ayrılır. Bu rakam, hepsinin aynı zamanda havalandığı durum için geçerli.

Ortalamada, her Amerikan arabası yılda 16.000 kilometre yol gider.[8] Şehirleri yine dışarıda bırakıp, bu yolun saatte ortalama 80 kilometre hızla 200 saat içinde gidildiğini varsayalım, yani o bir yılın yüzde iki buçuğu kadar zamanda. Uçan arabaların ortalamada aynı sürede on kat uzağa gittiğini varsayarsak, havada bulunan ortalama taşıt sayısı yaklaşık dört milyon olur ve dört kilometreyi aşkın aralıklarla dizilirler. Başka bir deyişle, New York'tan San Francisco'ya uçan arabanızla tamamen dikkatsiz bir şekilde gitseniz, yani trafiği hiç gözetmeseniz bile, başka bir uçan arabaya çarpma ihtimaliniz

tablo 1084.

[7] Aynı yer, Transportation (Taşımacılık), tablo 1074.

[8] Aynı yer, Transportation (Taşımacılık), tablo 1091 ve bazı hesaplar.

yüz milyonda birdir. Araca radar, uydu alıcı-vericisi ve daima tetikte duran bir otomatik pilot eklerseniz, çarpışma konusunda endişelenmenize gerek kalmaz.

Yoğun nüfuslu alanlar üzerinde giderken, merkezî yetkililere ayrıntılı uçuş planı vermek zorunda kalabilirsiniz (ya da otomatik pilotunuz bunu yapmak zorunda kalabilir), böylece hava sahasında peş peşe işgal etmeyi düşündüğünüz her nokta için rezervasyon yaptırırsınız. Bu iş bütünüyle otomatik, aslında tamamıyla ademimerkeziyetçi hale getirilebilir, tıpkı internet trafiğinin mevcut hali gibi.

Dünya atmosferinde işleyen motorlu taşıtların çoğu gibi uçan arabalar da yakıt olarak muhtemelen hidrojen kullanacaktır. Daha önce gördüğümüz üzere hidrojen, gazolin benzeri hidrokarbon yakıtlara nazaran, verdiği enerjiye kıyasla epey hafiftir. Uçan makinelerde işe yarar bir özelliktir bu.[9]

Uçan araba ne kadar hızlı uçacak? 1920'den 1970'e değin ticari uçakların hızları (ve rakımları) düz bir üstel eğriyle arttı. Sonra bu artış durdu. Bunun iki sebebi var. Birincisi, büyük hava taşıtları daha hızlı ve verimli uçabilir, fakat 747 serisi söz konusu olunca, aynı zamanda aynı yere git gide daha fazla insanın taşınması ile, ekonomik denklemin öteki tarafında kârlılığından kaybetmeye başlar ve azalan verim oranları devreye girer.

İkinci sebep, ses duvarıdır. Sesten hızlı uçma teknolojisi artık elli yaşında, fakat ses hızının biraz üstünde uçmak için harcanan enerji, ses hızının hemen altında uçmak için gerekli olan enerjinin üç katıdır. Dolayısıyla günümüz uçakları ses hızının hemen altında, stratosferin tam kenarında, kabaca on kilometre üzerinde uçar.

Sesten hızlı şahsi uçaklar gayet mümkün. Kimi insanların mülkiyetinde var, fakat düşünebileceğiniz gibi, son derece pahalılar. Ancak, günümüzün yolcu uçaklarında uçuş düzeni, verimlilik üzerine kurulmuştur. Gündelik uçan araba tasarımının aynı mantığı izleyeceğini ummamız makul.

---

[9] Yakıt olarak hidrojenin gazolinden güvenli olacağını belirtmek muhtemelen yerinde olacaktır. Yakıt olarak hidrojene dair düzgün bir özet için bkz. http://www.borderlands.com/journal/h2.htm. Ortak inancın aksine, *Hindenburg* felaketine hidrojen değil, zeplinin dış boyası yol açmıştır. Boya bir alüminyum/demir oksit bileşeniydi. Bu bileşen, kaynak işlerinde kullanılan termite benzer. Bkz. Addison Bain, "Colorless, Nonradiant, Blameless: A Hindenburg Disaster Study," http://www89.pair.com/techinfo/Aerostation/22_1/12_1.d.pdf.

Yolcu uçağı hızı bakımından, şu an için Pennsylvania eyaletinin Punxsutawney kasabası New York'a zaman olarak, New Jersey merkez kadar yakın. Ayrıca Philadelphia'ya, Pittsburg'a, Cincinnati'ye, Cleveland'a ve Toronto'ya daha yakındır. Punxsutawney'in ünlü dağsıçanı Phil'in belki yeni komşuları olacak. I-78 (otoban) görüngüsü tekrarlanırsa, ki hiç de münferit bir hadise değil, Kuzey Amerika'nın mevcut metropol alanları dışında kalan pek çok toprağının değeri kayda değer ölçüde artabilir. Bu, topluma devasa faydası dokunacak bir işe işarettir.

Yolcu uçağı hızlarının aşılmasını istemeyi gerektirecek sebepler de var. Diyelim ki Avustralya'yı görmek istiyorsunuz. New York'tan oraya gitmek için yirmi saat uçmak lazım, üstelik molalarla bu süre daha da uzar. Büyük Okyanus etabı, çağdaş yolcu uçaklarının uçuş menzilinin sınırındadır; bindiğim uçak bir keresinde, programda olmamasına rağmen Fiji'ye inip yakıt ikmali yapmak zorunda kalınıştı, çünkü sefer sırasında uçak ön taraftan çok rüzgâr alıp fazla yakıt tüketmişti.

Uzay mekikleri bu mesafeyi elbette bir saatin altında kat eder (hatta John Glenn'in *Merkür* kapsülü). Bunun sinir bozucu yanı, mekiğin yörüngeye ulaşmak için harcadığı enerjinin, bir uçağı atmosferde sürükleyerek dünyanın çevresinde yarım tur yaptıracak enerji kadar olmasıdır.

Nanotek çağında yolcu roketleri, günümüzün yolcu uçakları gibi görünebilir. Her yeni teknoloji gibi, başta ticari amaçlı olacak ve dar bir kesime hitap edecek, örneğin demiryolları sahneye şahsi arabalardan önce çıkmıştır. Gerçi roketin içinde sadece, birinci sınıf tek kabin bulunacak; gerisini yakıt ve oksijen depoları teşkil edecek. Roket, pistten kalkış yapacak (en azından bu havalimanlarına zaten sahibiz) ve günümüzün jet uçakları gibi kanallı pervanelerle yükselecek. Burnunu düzeltmek yerine, tırmanmaya devam edecek. Kalkış sırasında roketin üzerinde sadece hidrojen yakıtı olacak. Uçarken bol miktarda hava emip, motorlarında kullanmak üzere oksijen sıvılaştıracak.

Nanoteknoloji, bugüne kıyasla daha güvenli ve ucuz roketler yapabilir, fakat çok daha verimli olmayacaklar; günümüzün roketleri fiziksel sınırların eşiğinde. Standart ateşlemeli ve püskürtmeli motorların dışında roket etkisi elde etmenin birkaç yolu var. Yakıtı yakıp enerji üretmek ve bu enerjiyle elektrik üretip tepkime kütlesini hızlandırmak bu yollardan biri. Bugün uzay iyon iticileri bu şekilde çalışır, fakat mevcut biçimleri yeterli itişi sağlamaz. Oksijen içinde

hidrojen yakmak ve ortaya çıkan su moleküllerini iyonlaştırmaksızın hızlandırmak mümkün olabilir, çünkü bu su moleküllerinin, elektrikle yakalanmalarına olanak tanıyacak kadar kutuplu elektrik özellikleri mevcuttur.

Bahsettiğim nanotek uygulamaların çoğu, teknolojinin sınırlarını zorlamayacak, dolayısıyla şu an için benzetimle çözümleyebildiğimiz tasarımları kullanarak güvenli öngörülerde bulunmak mümkün. Roketler ise sınırları zorluyor, tıpkı reaktif iticilere dair olası tüm tasarılar gibi. Bu yüzden, nasıl çalışacaklarını ayrıntısına varana kadar gönül rahatlığıyla söyleyemeyiz; daha yapılması gereken pek çok dahice icat var. Fakat şu an için roketlerin nasıl yapıldığını biliyoruz, yani mümkün olduklarının farkındayız. Binlerce minik roket motoru yapabiliriz ve içlerinden herhangi birinin bozulması güvenliğimizi tehdit etmez. Bir seçenek olarak, ölçekleme yasaları büyük motorların lehinedir. Mühendisliğin çözümünün ne olacağını ise gelecekte göreceğiz.

Yolcu roketiniz, oksijen tanklarını dolduran fanların çalışmaya başlamasının ardından iki üç dakika içinde hızlanır. Sonra roket motorları devreye girer ve kanatlar hayli yatık, keskin kenarlı bir şekil alır; bu esnada taşıt en az on altı kilometre yüksekliktedir, dolayısıyla roketlerin ve ses patlamalarının gürültüsü yeryüzündeki insanlara o kadar berbat gelmez. Yaklaşık on dakikada en az iki G ivmeyle hızlanırsınız, yarım saatte okyanusun karşı kıyısına ulaşırsınız, on dakika da fren yapmakla geçer ve havalimanına inersiniz.

Peki, bilet fiyatları ne kadar olur? Günümüzün havayolları yakıt masrafının altı katını alıyor;[10] buradan yola çıkarak bir tahminde bulunabiliriz. Günümüzün roketleri için yolculuk maliyeti, mevcut teknolojiyle nispeten çok daha pahalıya gelir, fakat nanoteknoloji bu maliyeti günümüzün jet yolcu uçaklarıyla aynı çizgiye indirebilir. Ağırlıktaki payınızın çeyrek ton olduğunu varsayalım. Aynı ağırlıkta hidrojene ihtiyaç var. Bugünün fiyatlarıyla gaz hidrojen yaklaşık 190 dolar. 1.200 dolarlık biletlerle bir hava trafiği oluşacaktır ama o kadar yoğun değil. Eğer yakıt fiyatı, bugün sanayi tesislerine gönderilen kömür fiyatları seviyesine inerse, bilet fiyatları 200 dolara iner ve bu yolculuk türü epey rağbet görür.

---

[10] Bkz. http://www.investopedia.com/features/industryhandbook/airline.asp.

YÜK TAŞIMACILIĞI

Kömür fiyatları, taşımacılığın daha sıradan tarafları hakkında bizi aydınlatabilir. Wyoming'de, maden ağzında kömürün tonu beş dolardır. Ivır zıvır üreten tesislere trenle taşınan kömürün tonu yaklaşık otuz dolardır. Maine'de evlere getirilen kömürün tonu ise 135 dolar.

Demiryolları eski, yerleşik, ideal halini bulmuş bir taşımacılık biçimidir. Nanoteknoloji, mevcut donanımdan daha da fazla faydalanabilir, örneğin kendi bakımını yapan raylar, daha hızlı trenler ve arızasız yolculuklar gibi.

Gerçi, uzun vadede yüzey taşımacılığının pahalanmasından kaçış yok, çünkü bu tür taşımacılık toprağa gereksinim duyar. İster tren ister kamyon olsun yüzey araçları, insanların yaşamayı seçtiği yerlere gürültü ve tehlike getirir. Şahsi uçan arabalarda kullanılacak teknolojiler, hava kamyonlarına on tona kadar yük taşıtabilmelidir; ki bu araçlar günümüz kamyonlarından çok da gürültülü olmayacak. Hava kamyonları, uzun mesafeler söz konusu olduğu zaman, enerji açısından en az normal kamyonlar kadar verimli olmalı. Kamyonlar enerjilerinin büyük kısmını havayı yarmak için kullanacak, küçük bir kısmı ise asfalttan havalanmaya harcanacak. Taşıt şeklinin itinayla aerodinamik yapılması ve tepelerin, vadilerin, dur işaretlerinin üzerinden uçarak geçecek olması, enerji giderini azaltacaktır.

Genel amaçlı sentez cihazlarının gelişiyle, hatta yerel dükkânlarda özel amaçlı sentez cihazlarının ortaya çıkışıyla birlikte yük taşımacılığının büyük bir kısmı artık gereksiz olacak. Tarihsel gidişat bu istikamette. Ben gençken, film ruloları banyo edilsin diye Rochester'a postalanırdı ve fotoğraflar bir hafta sonra elinize postayla ulaşırdı. 1970'lerde ve 1980'lerde, alışveriş merkezlerinde ve ana caddelerde bir saatte fotoğraf banyo eden teknolojiye sahip dükkânlar türemişti. Elbette şimdi dijital makinenizle fotoğraf çekiyorsunuz ve isterseniz kağıda basıyor, isterseniz de fotoğrafları kağıda bile değdirmeden e-postayla ona buna gönderebiliyorsunuz.

Fotoğrafları dijital olarak görmek ve saklamak, ihtiyaç duyulan fotoğraf kağıdı miktarını düşürmüştür, fakat hâlâ bir miktar kağıdın imal edilmesi ve bir yerlere yollanması gerekiyor. Aslında, bilgisayar ve büro yazıcıları, ayrıca fotokopi makineleri, baş etmemiz gereken kağıt miktarını büyük oranda artırmıştır. Eksik olan ve nanoteknolojinin tamamlayabileceği nokta, yerel geri dönüşümdür. Ev içi geri dönüşüm sistemleri sayesinde atık akışı yerel bağlamda kaldığı zaman, uzun mesafeli yük taşımacılığı azalacaktır (atık taşımacılığın-

dan bahsetmiyorum bile).

IŞINLA BENİ SCOTTY

Madde iletimine ne demeli? Ayrıntılarıyla söylemek gerekirse, bir nesneyi alıp her atomunun türünü, konumunu ve bağlanma şeklini belirleyerek bu bilgiyi başka yere gönderen molekül parçalayıcılar ve gönderilen noktada o nesnenin özdeşini meydana getiren molekül montajcıları hakkında ne anlatalım?

Bu işin bugünden yarına olmasını beklemeyin. Diyelim ki evinize gelen yüksek bant genişlikli bağlantı, nüvesi bir milyon optik fiberden oluşan bir kablodur; yine diyelim ki sinyal çeviriciler, optik frekanslarda veri gönderebiliyor ve bugünün gigabitlik fiberlerinden 100.000 kat hızlılar. Toplam veri gönderme hızınız saniyede 100 exzabittir (yani 100 milyar gigabit). Yirmi birinci yüzyılın ikinci yarısında nanotek veri hatları için makul bir beklentidir bu. Söz konusu hat, bugünün tüm internet içeriğini milisaniyenin onda biri kadar sürede aktarabilir.

İnsan bedeni yaklaşık yedi milyar kere milyar kere milyar atom içerir. Her atomun türünü, konumunu ve bağlarını betimlemek için aşağı yukarı 100 bite ihtiyaç var, hem de dosya sıkıştırılsa bile. Başka bir deyişle, atom seviyenizin tasvirini bütünüyle nanotek veri hattı üzerinden iletmek 222 yıl civarında sürer. Aynı yere bu sürede yürüyerek de gidebilirsiniz.

Aslına yakın fakat özdeş olmayan bir kopya ileterek pek çok veriden tasarruf edebilirsiniz. Vücudunuzda bol bol su var; her molekülün konumunu iletmeye gerek yok, sadece "burada su var" deyin, tuz oranına dair notlar koyun, yeter. Dahası, karmaşık moleküllerin pek çoğu aynıdır, yani öyle olması gerekir; proteinler ve DNA'lar, az sayıda molekül türünün pek çok kopyasından ileri gelir, varyasyonlar ise düzeltebileceğiniz hasarlardır. Biraz düzeltmeye göz yumarsanız ve saniyenin onda biri kadar sürede gerçekleşecek atom konumu varyasyonlarını anlayışla karşılarsanız, gerekli bilgiyi muhtemelen makul sürede aktarabilirsiniz.[11]

Gerçi kendinizi bu şekilde aktarırken bir hususa dikkat etmelisiniz: Bir yerine iki, hatta yüz kopya yapmak da mümkündür. Kendimizi beklenmedik ne gibi sorunların içine atabileceğimizi allah bilir! Fakat bana soracak olursanız, sağlam tek kopyamı bile göndermek

[11] K. Eric Drexler ve Robert Freitas, kişisel görüşme.

ister miyim bilmiyorum. Işınlamanın şüpheli bir mesele olduğunu söyleyebiliriz: Açıkça imkânsız değil, fakat pek uygulanabilir de değil.

Öte yandan, imal edilmiş nesnelerin tasvirlerini göndermek sıradan iş haline gelecek. Bunlar, hiyerarşik bir düzende özdeş aksamın pek çok kopyasından inşa edilmiş ve ham, doğal nesnelerden çok daha basit nesnelerdir. Tüm duyularla birlikte telemevcudiyet verisinin aktarılması da kolay olacak; günümüzde gigabitlik bağlantılarla bu tür bir aktarımı gerçekleştirmeye yaklaşabilirsiniz. 10 gigabit, insan duyu çözünürlüğünün aslına sadık bir şekilde aktarılması için herhalde yeterli olacaktır.

Şahsen gerçekleştirilen iş seyahatleri bu durumda azalabilir, çünkü aslına son derece sadık telekonferanslar gerçek toplantıların çok daha hızlı bir türü olarak kabul görebilir. Gerçi kişisel turizm artabilir. Yük taşımacılığı azalabilir, fakat el işi, anı, hediyelik eşya gibi, değeri bir kimliği olmasında yatan kişisel nesnelerin taşımacılığı yoğunlaşabilir. Posta robotu yine tonla istenmeyen kağıt çöp getirir, fakat bunları geri dönüşüm cihazınıza atarsınız olur biter.



ON İKİNCİ BÖLÜM

UZAY
Engin Bir Alem Bizi Bekliyor

Yıl 1969'du, *Apollo 11* ve Woodstock yılı. Çalkantılı 1960'lar muhalif bir kültür devrimine tanıklık etmişti. Geniş kesimler bilimden ve teknolojiden soğumuştu, özellikle de devlet himayesi altındaki araştırmaların Vietnam Savaşı'yla bağdaştırıldığı üniversite kampüslerinde. Princeton Üniversitesi'nde birinci sınıflara fizik dersi verme sırası, parçacık depolama halkasının mucidi olan fizik profesörü Gerard O'Neill'e gelmişti ve bir şekilde bu dersi toplumsal meselelerle ilişkilendirmek istiyordu.

Aynı yıl San Francisco şehir konseyi, Dünya Günü tatilini kabul etti. 1970'te bahar ekinoksunun yaşandığı gün kutlanmıştı. Başka bir deyişle, çevrecilik gündeme oturuyordu. O'Neill tüm bunları bir araya getirdi ve öğrencilerine âdeta meydan okudu: "Gezegen yüzeyi, teknoloji uygarlığının genişlemesi için doğru yer mi?" Sorunun gizli altmetni, eğer değilse neresidir diye soruyordu.

O'Neill ve meraklı öğrencilerden meydana gelen küçük bir kadro çalışmaya girişti. Birkaç yıl içinde ilginç ve pek beklenmeyen bir yanıt belirmeye başladı. Yüzyılın ilk yarısında bir nevi tutuculuğa dönüşmüş olan ortak bilimkurgu görüşü, nihayetinde başka gezegenlerin yüzeyine yerleşeceğimizi varsayıyordu. Fakat O'Neill'in ekibi, belki bu sorunun ezkaza dile getirilmesiyle birlikte, farklı bir bakış açısı şekillendiriyordu. Değişik bir seçenek bulmuşlardı: Uzayda sıfırdan yerleşimler inşa etmek. Bu görüşü irdeledikçe, uzaya yerleşmenin olurunu gösteren yeni rakamlar buluyorlardı.

1960'lardan çıkıp 1970'lerin ortasına gelindiğinde, bu fikrin farkına varılmıştı ve muazzam ayrıntılar barındıran tasarımlar meydana getiriliyordu. Roma Kulübünün, *Büyümenin Sınırları*[1] başlıklı raporu

[1] Donella H. Meadows ve diğ., *Limits to Growth* (New York: Potomac Associates,

ortaya çıktı; enerji buhranı doludizgin eleştiriliyordu; çevreyle ilgili endişeler artıyordu; dünya nüfusu, bu küçük, kalabalık gezegenin dikişlerini patlatacak gibiydi.

"O'Neill kolonileri" denen bu yerleşimler, ters yüz olmuş minyatür dünyalardı. Yerçekimi temin etmek için kendi etraflarında döneceklerdi; yer dış tarafta olacağı için, dünyanın bir buçuk kilometre kalınlığındaki atmosferi yerine ışınım kalkanı görevi görecekti. Planlara ve sanatçıların fikirlerine göre, bunlar yemyeşil bahçelere sahip topluluklar olmalıydı; onca bitki, havanın temizlenmesine yardım edecekti. Çiftçilik ve sanayi, yakında bulunan ayrı yapılarda gelişecekti.

Uzaya, evde kullandığınız alüminyum folyodan daha ince aynalar kurabilirsiniz. Rüzgâr ya da hava olmadığı için, ayrıca yörüngenin mikro kütle çekimi öngörülebildiği için bıraktığınız yerde dururlar.[2] Bu gibi aynalar, tamamıyla temiz, kesintisiz, güvenilir güneş enerjisi toplar. Örneğin, uzayda ocağınızı, birkaç metre dışarıdaki güneş ışığını aynayla yansıtarak yakabilirsiniz. Kömür madenciliğine, atmosfere salınan atıklara, nükleer enerji santrallerine, tüm ülkeyi kaplayan enerji nakil şebekesine gerek yok; büyükçe bir şemsiye boyutunda güneş ışığı toplayıcısı yeter.

Yaşam alanlarını inşa etmek için gerekli olan malzeme genelde aydan gelecektir, çünkü aydan söz konusu yörüngelere ulaşmak, dünyadan malzeme taşımaktan katbekat kolay olacaktır. Art arda gerçekleştirilen Apollo görevlerinde ay toprağı tahlil edildi ve gerekli tüm elementleri içerdiği bulundu; dünyadan sadece hidrojen getirmek gerekecek. Dünyada yapılamayacak kadar masraflı olan yüksek enerjili döküm ve benzer sanayi işlemleri, esasen bedava, sınırsız güneş enerjisiyle mümkün olacak.

Bu fikirler rağbet gördükçe, meraklı heveslilerin yanı sıra MIT, Stanford, NASA ve çeşitli havacılık şirketlerinde çalışan ciddi mühendisler de çözümlemeler yapmaya ve fikir katkısında bulunmaya başlamıştı. (Yeri gelmişken belirtelim, bunlar arasında genç K. Eric

---

1972). Şüpheli önermelerle birlikte incelikli matematik hesaplamalar kullanan bu inceleme, Batı uygarlığının kaynaklarını tüketmek üzere olduğunu söylüyordu.

[2] Aslında, "güneş yelkenlerinin" yararlanabileceği ışık ve radyasyon "güneş rüzgârları" vardır. Fakat hatırı sayılır miktarda enerji elde etmek için, yelkenin boyutu millerce olmalı. Uygulamada, aynaların karmaşık nanoyapısı olacak, mikrometeorların açtığı hasarları onaracak bakım robotları da dahil; yine de alüminyum folyo kadar ince olacaklar.

Drexler de bulunuyordu; MIT'de yüksek lisans tezinin konusu, uzay boşluğunda buhar-çökeltileriyle imalattı.) 1970'lerin teknolojisiyle uzay yerleşimleri hem mümkündü hem de kendi masraflarını çıkartabilirlerdi: Güneş enerjisi toplanıp dünyaya gönderilebilir, böylece fosil yakıtların yerini alarak pek çok çevre sorununu çözüme kavuşturulabilirdi.

Hepsinden ilginci, uzay yerleşimleri, aşırı nüfus sorununa adamakıllı, kati çözüm getiriyordu. İşin püf noktası, insan eksiği bulunmayan uzay yerleşimlerinin kendi kendine çoğalabilmesidir. Yani yerleşimdeki insanlar yeni bir yerleşim daha inşa eder, bunu da dünyadan gelen insanlar doldurur. Her yerleşim bir yenisini bina eder, vesaire. Hesaplamalara göre, inşaat asteroit kuşağında gerçekleştirilirse, dünyadakinin yirmi bin katı yaşam alanı barındıracak sayıda yerleşimin inşa edilebileceği doğru malzeme cinslerine kolaylıkla erişilebilir. (Bu kaynak tükenince, aylara, gezegenlere, kuyruklu yıldızlara falan bakabilirsiniz.)

Bu fikirlerin ortaya çıkışından otuz yıl sonra dünya nüfusu dört milyardan altı milyara çıkmıştı. Bu yükseliş, yıllık yüzde 1,4 artışa denk geliyor. Yoksul ülkelerde daha yüksek, zengin ülkelerde daha düşük artış söz konusu. Amerika Birleşik Devletleri'nin son dönemlerde nüfus artışı ortalama yüzde bir civarındadır.[3] Örneğin, yaşam standartları yükseltilip bir de bu oran tüm dünyada geçerli kılınabilirse, nüfusun sabit kalması için her sene gezegenden altmış milyon insanın taşınması gerekecek. Gözümüzde canlansın diye şu örneği verebiliriz: New York bölgesindeki üç havalimanı 2003 yılında 92,6 milyon biletli yolcuyu misafir etmiştir.[4] Başka bir deyişle, üç büyük uzay limanı, dünya nüfusunun ABD'deki oranla gerçekleşecek artışıyla başa çıkabilir; üçüncü dünyanın nüfus artış oranlarıyla altı uzay limanına ihtiyaç duyarız.

Neticede, uzay yerleşimleri 1970'lerde görüldüğü haliyle dünya sorunlarından bazılarına çözüm sunuyordu: Nüfus (ve açlık, çünkü bu yerleşimler kendini besleyebilir); enerji buhranı; çevre kirliliği; eğer yaşam alanı için savaşılıyorsa, bir yere kadar savaş. 1977'de zirve noktasına ulaştığı zaman artık buna bir hareket denebilirdi; L5 cemiyetinin on bin üyesi ve tanınan sayısız sima bu hareketin arka-

---

[3] US Census Bureau (ABD Nüfus Dairesi), *The Statistical Abstract of the United States,* http://www.census.gov/statab/www/, Population (Nüfus).

[4] http://www.panynj.gov/AboutthePortAuthority/PressCenter/PressReleases/PressRelease/index.php?id=55.

sındaydı. Dahası, öncü biliminsanlarının ve mühendislerinin geniş bir kesimine göre, uzay yerleşimlerini yapmak o günün teknolojisinin yetenekleri dahilindeydi.

O halde ne oldu?

> Yirmi beş yılı aşkın süre önce uzay hayalperesti Arthur C. Clarke'ın gözlemlediği gibi, tek kullanımlık uzay taşımacılığı araçları işletmek, H.M.S. Queen Elizabeth II transatlantiğini inşa edip okyanusu aştıktan sonra ulaştığı ilk limanda bu gemiyi batırmaya benzer.
>
> Harry Stine, *Halfway to Anywhere*

Uzay yerleşimi, birtakım gerçekliklerin üzerine kurulmuştur. En büyüğü ve dolambaçlısı yörüngeye çıkmaktır. 1970'lerde, çizim tahtalarını uzay mekikleri süslüyordu ve NASA, bu yöntem sayesinde uzaya gitme maliyetinin düşeceğini kendinden emin olarak öngörüyordu. Kalkış sürecinin bir noktasında çöpe atılan Satürn V besleme roketiyle, 1960'larda bu işin maliyeti, roket yükünün her kilogramı için 1.900 dolar olarak belirlenmiştir. Elbette yörüngeye çıkmak, tekrar tekrar kullanılabilecek bir uzay kamyonuyla daha ucuza getirilebilir. Bunun ardından, kaçınılmaz bürokrasi gerçeği geldi. 1980'lerde NASA'nın ortaya koyduğu son derece iyimser rakamlara göre (roketlerin infilakından önce), yörüngeye gitmenin maliyeti kilogram başına 3.000 dolardı. Bağımsız çözümlemecilerin daha gerçekçi hesapları, kilogram başına 10.000 ila 17.500 dolar maliyet belirlemiştir. Mekik savunucuları, O'Neill'e maliyetin kilogram başına 215 dolara ineceğini vaat etmişti. Hay Allah![5]

Sonrasında, 1970'lerdeki çevre korkularının büyük oranda abartılı olduğu anlaşıldı. Enerji buhranı, en azından orta vadede, OPEC'in fiyat ayarlamalarının neticesiydi, yaklaşan felaketin işareti değildi. Yüksek petrol fiyatları, yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesini teşvik etmiştir, evet, yüksek fiyatların bu etkisi var. Rekabet yüzünden kartel çökmüştü, evet, rekabet, kartelleri bitirir. Her ne kadar nükleer enerji Amerika Birleşik Devletleri'nde siyasi şamar oğlanı haline gelmiş olsa da, Fransa gibi yerlerde ana enerji kaynağına dönüşmüş-

---

[5] Bkz. Gerard K. O'Neill, *The High Frontier* (New York: Morrow, 1977), s. 134; Greg Klerkx, *Lost in Space: The Fall of NASA and the Dream of a New Space Age* (New York: Pantheon, 2004), s. 77-78, 158; Harry Stine, *Halfway to Anywhere: Achieving America's Destiny in Space* (New York: Evans, 1996), s. 26; James Van Allen, "Appendix E: Economics of the Space Shuttle," şu kitaptadır: *Space Science Research in the United States*, http://www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv-prl/~ota/disk3/1982/8226/822611.pdf.

tü. "Yeşil devrim" ve çiftçilik yöntemleri ile hububat rekoltelerindeki sürekli gelişmeler, nüfus artışına ayak uydurmuştu ve kasıtlı siyasi müdahalelerin sebep olduğu kıtlıklar haricinde tüm kıtlıkları engellemişti. *Büyümenin Sınırları* raporunun ve benzerlerinin öngörüleri gerçek çıkmamıştı: Daha 1985 yılında petrolümüzün ve kilit madenlerimizin tükenmiş olması gerekiyordu.[6]

Son olarak, müstakbel yerleşimcilerin öngördüğü gibi, bu proje, yirmi yıl boyunca Apollo Projesi boyutunda ulusal bir çaba gerektirecekti. Böyle bir siyasi irade mevcut değildi.

O halde dünyaya saplanıp kaldık mı? (Gitme becerisinin olmayışı, saplanıp kalmak demektir.) Yanıt hayır; burada mahsur kalmış değiliz. Otuz yıl önceki teknolojinin yapabildiğini bugün de yapabiliriz, hatta gelecekte daha da kolay olacak. Dünyada açlıktan kıvranır halde karanlığa gömülmek üzere olmasak da, arsa fiyatları git gide yükseliyor. İnsanlar da fosil yakıtları konusunda hâlâ endişeli. O halde öyle bir noktaya gelinecek ki uzayda toprak yaratmak dünyada arsa almaktan hesaplı olacak.

Havacılığın ilk günlerinde duyulan şu şaka, başka bir meseleye değinir: "Uçaklar tavşan gibi ürer, hava gemileri fil gibi." Proje ne kadar büyükse, hayata geçirmek de o ölçüde zordur, hatta getirisi aynı olsa da. Uzay yerleşiminin gerçekten bir etken haline geleceği noktaya, muhtemelen, orta büyüklükte bir topluluk, mesela 250 kişi, kaynaklarını bir havuzda toplayıp kendilerine yeni bir yuva kurmaya kalkıştığı zaman ulaşılacak; tıpkı Atlas okyanusunu Avrupa'dan küçük yelkenlilerle yola çıkarak aşan ya da at arabalarıyla Doğu Amerika'dan yola çıkıp Batı'ya ulaşan küçük topluluklar gibi.

Nanoteknoloji, bu soruna ne tür bir çentik atabilir ve bu iş ne kadar yakın? Diyelim ki bugünden itibaren elli yıl sonra, yani Kitty Hawk (Wright Kardeşler'in uçağı geliştirdiği yer) ile Boeing 707 arasında geçen zaman kadar. Nanoteknolojinin daha girmediği tonla mesele var, fakat çeşitli alanlarda muazzam ilerleme kaydedilmiştir. Bilhassa, ilerlemelerin özellikle uzaya yerleşmeyi hedef almadığını, sıradan dünyevi gereksinimleri karşılamaya yöneldiğini varsayalım.

En başta geleni nanotıp. Bazı hastalık cinsleri, serbest radikaller ve ışınım gibi etkenler aracılığıyla molekül seviyesinde hücre içi hasara yol açar. Kemik erimesi hastalığı, kemiklerden kalsiyum kaybedil-

---

[6] Örneğin bkz. http://www.freerepublic.com/focus/f-news/1071333/posts ve http://www.philantropyroundtable.org/magazines/1998/november/bailey.htm.

mesi anlamına gelir; bedende doğru yere yerleştirilen ufak kimyasal ve elektriksel desteklerle bu hastalığı tedavi etmek mümkün. İnsanlar, her gün spor yapmak zorunda olmaksızın sağlıklı ve zinde vücutları olsun ister. Nanotıbbın bu meseleleri ele alması gayet muhtemel.

Bu, uzay yaşam alanının tasarımını epey kolaylaştıracak (aynı zamanda ucuzlatacak). O'Neill tarzı uzay yerleşiminin tek devasa aksamı radyasyon kalkanı olacaktır, yani yaşam mekânını iki metre kalınlığında ay toprağı çevreleyecektir. Hücre tamir makinelerinin sağladığı yüksek ışınım toleransıyla birlikte, manyetik alanın temin etiği ucuz bir kalkan ve büyük güneş patlamalarına karşı küçük bir sığınak gayet yeterli olacak.[7]

Tasarımı kısıtlayan başka bir etken ise yapay yerçekimini sürdürmek için yapının kendi etrafında dönmesi zorunluluğudur. Nanotıp bu meseleyi de ele alır. İnsan bedeninin, spor yapmadan zinde kalmasını sağlayacağı için zaten revaçta olacak nanotıbbi müdahale türlerinin, mikro yerçekiminde de bedeni zinde tutması muhtemel görünüyor.

Bu kısıtlamalardan uzak durduğumuz takdirde, fillerin ekonomi diyarından çıkıp tavşanların arasına döneriz. Çok daha küçük yaşam alanları elverişli hale gelir. Radyasyon kalkanlarını geçen güneş ışığını kanalize etmeye yarayan incelikli ayna sistemleri ortadan kaybolur. Yapay yerçekimi olmayacağı için, ağır inşaat yapma gerekliliği de kalmaz. Dönüş bakımından simetrik olan büyük dairesel yapılar inşa etme zorunluluğu da ortadan kalkar.

Uzayda çiftçilik ve gıda üretimi, O'Neill incelemelerinin ele aldığı en kolay sorunlardan biriydi; sebebi kısmen aynıdır: Bitkiler genelde ışınıma dirençlidir ve ağırlıksız olmayı dert etmezler. Nanoteknolojinin desteği olmasa bile, uzay ziraatı mümkün ve hesaplı görünüyor. Kimi besinlerin ve gıdaların doğrudan sentezi, atıkların parçalanması vb. gibi nanoteknolojik katkılar sayesinde uzay ziraatı bütçede ve yerleşimcilerin angarya takviminde mütevazı bir kalem teşkil edecektir.

Aslında, nanoteknoloji, uzay yerleşimlerinin ekonomisini o kadar iyileştirir ki inşaat malzemeleri ta dünyadan bile getirilebilir. Fakat aydan gelen malzemeler yine de her seferinde maliyetin ancak yüzde

---

[7] Bkz. Alan C. Tribble, *The Space Environment: Implications for Spacecraft Design* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003), üstesinden gelinmesi gereken ayrıntılara dair; ayrıca, Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine, Vol I: Basic Capabilities* (Austin, TX: Landes Bioscience, 1999), nanotıptan beklenen temel becerilerin ayrıntılarına dair.

bir ila yüzde beşini teşkil edecek. Muhtemelen hidrojen ve nanomakineler dünyadan getirilip aydan da hammadde satın alınacak.

1970'lerin on bin kişilik yerleşim tasarımlarından farklı olarak, 2050 yılının teknolojisi uzayda tek ailelik, kendine bütünüyle yeten, eğer mevcut ekonomik gidişat sürerse o dönemde ortalama Amerikan ailesinin ekonomik imkânlarıyla haydi haydi satın alabileceği meskenleri mümkün kılacak. O zamana gelindiğinde bu konutlar, Amerika Birleşik Devletleri'nin ya da Avrupa'nın pek çok bölgesindeki eşdeğer evlerden gayet ucuz da olabilir. Elbette başka seçenekler de olacak, mesela dağlarda, yüksek enlemlerde, deniz yüzeyinde ve denizaltında kurulan yerleşimler gibi. Fakat zamanı geldiğinde bu yerleşimler bile kalabalıklaşmış olacak.

Nanoteknoloji sayesinde böyle bir evde bazı eşyalardan falan tasarruf edebiliriz, fakat nanoteknoloji, ev içinde ne gibi yenilikleri mümkün kılacak? Pencerelerle başlayalım. Yapısal uygulamalar için elverişli dayanıklılığa ve sertliğe sahip malzemeden şeffaf, büyük cam levhalar, örneğin. Muhakkak faydalarından biri, bu gibi cam levhaları (ve başka kısımları) yapının bütünlüğünden taviz vermeden eve eklemek olacak. Başka bir faydası ise, sadece pencerelerin değil, tüm gövde malzemelerinin akıllı oluşudur. Sadece aydınlatmayı denetlemek bakımından değil, sıcaklığı ayarlamak için de camlar, optik özelliklerini değiştirebilecek nitelikte olmalı. Kendi durumunu sürekli denetlemeli, en azından ufak tefek tamiratlarını kendi başına yapabilmeli ve büyük bir onarım gerektiği zaman insanları ikaz edebilmeli.

Evin içinde, nanoteknolojinin dünya insanlarına temin ettiği aynı tür eşyaları bulacaksınız; sanal gerçeklik duvarları ya da odacıkları, robotlar ve enformasyon ekonomisine yönelik eksiksiz bir altyapı. Dünya evlerindekine kıyasla daha kapsamlı bir imalat imkânı da bulacaksınız, tıpkı günümüzde şehir evlerine nazaran, çiftliklerde tamir işleri söz konusu olunca insanın kendi başının çaresine bakabilmesi gibi. Bugünün apartman sakinleri, traktörün kırılan rot çubuğunu kaynaklamak zorunda kalmaz; yarının apartman sakinleri ise uzay gemilerini geri dönüşüme kazandırmak zorunda kalmayacak.

Gerçi, uzayla ilgili mevcut uygulamalardaki en büyük gelişim uzay giysisidir. Drexler, 1980'lerde bu konu hakkında çözüm üretmiş ve *Engines of Creation* başlıklı kitabında çözümünü anlatmıştı. Derigiysisi gibidir ama daha kalındır. Derinizin "hiçbir temas hissetmeyeceği" bir arayüzü olmalıdır bu giysinin, fakat sizi sıcaklık farkından korumak yerine, basınç farkından koruyacak. Bu amaçla daha

kalındır, parmaklar kısmında kalınlığı bir milimetre civarındadır, sırt tarafında ise depolama alanı yaratmak amacıyla üç beş santimetre kalınlığı bulunur.[8]

Giysinin kalın oluşunun sebebi, içerdiği atmosfer basıncının epey kuvvet uygulamasıdır. İnsan bedeninin yaklaşık iki metrekarelik yüzey alanına, dünyadaki havanın 100 kiloPascallık basıncı 200 kiloNevtonluk, yani yirmi tonluk kuvvet uygular. Normalde bunu hissetmezsiniz, çünkü bu kuvvet, tüm bedeninizde her istikamete doğru eşit şekilde dağılır ve bedeniniz büyük oranda sudan meydana geldiği için tatbiki sebeplerden dolayı sıkıştırılamaz. Fakat uzay giysisi, karşı taraftan ittiren olmadığı için aynı miktarda kuvvet uygulayacak, yani balon gibi şişmeye çalışacaktır.

Bugünün uzay giysileri içinde hareket etmek hayli zor. Bir şambreli, suda bununla yüzecekmişsiniz gibi 15 psi havayla şişirin. Şimdi ikiye katlamaya çalışın. Kolunuzu oynattığınız her seferinde aynı çabayı sarf ettiğinizi düşünün! Şambreli katladığınızda, içerdeki havayı daha küçük bir hacme sıkıştırmaya çalışıyorsunuz; bıraktığınız zaman baştaki şekline ve hacmine kavuşur. Bugünün uzay giysileri, işleri kolaylaştırmak için insan bedeninin telafi edebileceği kadar düşük bir iç basınçla kullanılır; iç basıncı, deniz seviyesi basıncının yüzde yirmisi kadardır (bu kadar düşük basınçta saf oksijen olması gerekir). Buna rağmen, uzay giysisi içinde uzun süre hareket etmek ve çalışmak oldukça zahmetli ve epey yorucudur.

Dünyanın deniz seviyesi basıncında bedeniniz çaba harcamaksızın hareket eder, çünkü hareket ettiğinizde, vücudunuzun boyutu değil şekli değişir. Genişleseniz ya da daralsanız, o yirmi ton ağırlığa karşı çalışmak zorunda kalırdınız. Uzay giysisi için de çözüm aynı: İçeride hacmi sabit tut, böylece belirli bir konfigürasyonu kollayan bir kuvvet doğmaz. Bedeninizin hacmi sabit olduğu için, giysi de derinizi tam sararak hacmini sabit tutabilir. (Soluk alıp vermek başka bir meseledir ve farklı bir çözüm gerektirir.) Fakat derinizin şekline uyması için, giysi muazzam dayanıklı olmalı, yoksa balon gibi şişer. Dahası, hareket ettiğinizde hem şeklini değiştirmeli hem de bu dayanıklılığı devam ettirmeli!

İki metrekare yüzey alanına sahip elmas küre bir balonun, deniz seviyesi basıncını sürdürmesi için yarım mikrondan ince olması gerekir. Basıncı sabit tutmakta en çok düz şekiller zorlanır. Otuz san-

---

[8] K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (New York: Anchor/Doubleday, 1984), s. 90-92.

timetrelik eniyle deniz seviyesi basıncı tesis eden düz elmas tabaka, neredeyse bir milimetre kalınlıkta olmalı; kalınlığı balonun iki bin katıdır! Gövdenin ön ve arka yüzleri gibi vücudun geniş düz alanları üzerinde bir iki santimetrelik kalınlık, bize bir güvenlik mesafesi temin eder, ayrıca yük mukavemeti sağlayan yapıyla birlikte pek çok makinenin yerleştirilebileceği boş alan da sağlar.

Aslında, yük mukavemeti sağlayan yapı bütünüyle faaldir. Bu giysi fiilen, sizin içine sığdığınız içi boş bir robottur. Bedeninizin her milimetrekaresine değen basınç sensörlerinden komut alır ve öyle hızlı, öyle hassas tepki verir ki hareketlerinize karşı bir direnç hissetmezsiniz bile.

Yetkin bir uzay giysisi, basıncın yanı sıra, dünyanın başka çevresel özelliklerini de temin etmeli. Deri, oksijene ihtiyaç duyar, terin buharlaşması için oksijen gerekir. Güneşten gelen güçlü morötesi (UV) ışınlardan korunmalıdır, fakat günlük ritminde D vitamini alması için orta karar UV de gerekli. Uygun bir şekilde tasarlanmış, programlanmış giysiler hepsini sağlayabilir. Size banyo da yaptırır, güneş banyosu da, akarları ve bakterileri kimyasal maddelerle değil fiziksel yollarla uzaklaştırır, hatta masaj yapar.

Pek çok seçenek içinde "başlık" için en basiti, boynun etrafına tutturulmuş baloncuk şeklinde bir kapakçık malzemesidir. Kullanım sırasında şeffaf bir küre olarak şişer, kapalı mekâna girdiğinizde ise kendisini yaka olarak katlar, tıpkı rüzgârlıkların başlıkları gibi.

Evinizin duvarları gibi giysi de iç ortam sıcaklığını, içeri giren ve dışarı çıkan ışınımı (güneş ışığı) denetleyerek ayarlar. Giysinin ana işlevlerinden biri, kendisini denetleyip onarmasıdır. Kapalı mekân kıyafetleri, günümüzün eylemsiz giysileri kadar rahat olmalı, dolayısıyla uzay ortamında yaşamayı ve çalışmayı, dünyada ılımlı bir çevrede yaşamak kadar elverişli hale getirmeli.[9]

MENZİLE ULAŞMAK

Uzaya çıkmanın önündeki en büyük engel ekonomidir. Devletin kendi hesaplarına göre, O'Neill yerleşimlerinin hayata geçebilmesi için, yirmi yıl boyunca L5 Cemiyetinin on bin üyesinden her birine yılda bir milyon dolar vermeye eşdeğer bir harcama lazım.[10] Günümüzde

[9] Çırılçıplak uyumayı seviyorsanız sorun değil; mesele şu ki içinize elbise giyebilirsiniz, gerçi zorunlu da değilsiniz.

[10] O'Neill, *The High Frontier,* s. 159-60. L5 Haberlerinin tüm arşivine inter-

NASA'nın fırlatma maliyetleri, hesaplı bir uzay yerleşimi kurmanın yüz kat üzerinde. Araba fiyatları bir milyon papel olduğu için Cumartesi akşamları evde pineklemeye benziyor bu. Bu sorunu aşmak için ne yapmalı?

İlk adım, tek kullanımlık olmayan uzay taşıtları inşa etmek. Bunun iki yolu var: Ya tıpkı arabanız gibi tek parça olarak havalanan, uçan ve inen bir uzay gemisi yapılır ya da mevcut roketler gibi kademe kademe parçalanan fakat her aksamın dönüp tekrar kullanıma elverişli hale geldiği bir uzay gemisi yapılır.

NASA, uzay mekikleriyle bir bakıma iki yöntemi de uygulamaya çalışmıştır. Yörünge mekiği, tek kademeli yörünge (SSTO) taşıtı yapmak için gerekli teknolojinin artık ustalık mertebesidir; başa çıkması kolay olan kerosen yerine hidrojen yakar, eşsiz verimliliğe sahip roket motorları vardır. SRB'ler (*solid rocket booster*; roket besleme tankları) uçuş sırasında ana gövdeden ayrılır, fakat paraşütle okyanusa inerler ve yeniden değerlendirilirler. Sadece dış yakıt tankı ziyan olur ("sadece" o; gerçi en büyük parçadır). Sorun, teknolojinin sınırlarını çok zorlamaları ve her uçuştan sonra mekiğin bütünüyle elden geçirilmesi gerekliliğidir ki çok pahalı bir işlemdir bu; üstelik buna rağmen arada sırada infilak eder.[11]

Nanoteknoloji muhtemelen gerçek SSTO taşıtlarının yapımını mümkün kılacak. Fakat, bu teknolojiye ulaşmak için işe mutlaka bununla başlanması gerekir diye bir şart yok. 1990'dan beri *Orbital Sciences Corporation* adlı şirket, kendi Pegasus fırlatma sistemiyle yörüngeye mütemadiyen küçük küçük (yarım kilogramlık) yükler yerleştiriyor. Tıpkı 1947'de ses duvarını ilk kez aşan Chuck Yeager'in X-1'i gibi, yüksek irtifada uçan bir uçaktan roket bırakan bir sistemdir bu.

Yörüngeye ulaşmak için, esasen farklı iki şey yapmalısınız. Atmosfer dışında bir yüksekliğe çıkmanız gerekir: 95 kilometre iyidir, 190 kilometre ise daha iyi. Sonrasında, yatay giderek saniyede 8 ki-

---

netten erişilebilir: http://www.l5news.org/.

[11] Richard Feynman, *Challenger* soruşturma raporuna yazdığı ek bölümde, uzay mekiği güvenilirliğine dair tahminlerin, NASA idaresine uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir. Örneğin NASA yönetimi, ana motor için 100.000 uçuşta bir hata tahmin etmişti; motorun imalatçısı olan Rocketdyne şirketi 10.000 uçuşta bir hata öngörmüştü; NASA'ya danışmanlık yapan bağımsız bir mühendis ise 50 uçuşta bir hata hesaplamıştı. Bkz. Klerkx, *Lost in Space*, s. 163.

lometreyle ivme kazanırsınız. Genelde roketler bunu, dikey konumda hızlanmaya başlayıp yeterli yüksekliğe ve hıza ulaşana kadar eğri çizerek gerçekleştirir. Uçuş yolunu tasarlayan mühendisler bazı şeylerden ödün verip bir denge tutturmak zorunda. İvme ne ölçüde yüksek olursa, yükseliş sırasında roketin kendisini dik tutmak için yakıt harcayacak o kadar az vakti olur;[12] fakat roket sakinleri için bu ivme o kadar zorlayıcı olur, ayrıca bu kuvvete dayanması için roketin daha ağır inşa edilmesi gerekir. Hızlı kalkarsanız, alt atmosferde sürtünme çoğalır, bunun da üstesinden gelmek için ilave yakıt gerekir.

Roketi havadan fırlatmak bu sorunu bir yere kadar çözer. Kanatlı uçaklar on dokuz kilometreyi aşan irtifalara çıkabilir (örneğin U2). Bu noktada atmosferin yüzde doksandan fazlasının zaten üstündesinizdir ve yatay fırlatma mümkündür. Uzay gemisine küçük kanatlar eklenebilir (Pegasus'ta var), böylece hızlanırken havada kalması sağlanır ve düşük bir ivmeyle hızlanmak mümkün olur. Bu, motorun küçük ve hafif, çerçevenin hafif olması ve yolcular için daha fazla rahatlık imkânı demek. Bulunduğunuz irtifa, gerekli yüksekliğin zaten yüzde on ila yüzde yirmisine tekabül eder. Roket motorları, düşük basınç sayesinde daha verimli çalışır. Neticede, roketin başlangıç ağırlığının sadece yüzde seksen beşi yakıt olmalı, oysa yerden havalanan SSTO araçlarda ağırlığın yüzde doksan beşi yakıt.

Bu, devasa bir fark. Bagajlarla birlikte siz ve aileniz yarım ton çekseniz, kabin, yakıt tankları, roket motorları, kanatlar dahil her şey boş haliyle bir ton gelse, yüklendiği ve yakıt doldurulduğu zaman roketin toplam ağırlığı on ton olur. Boeing 737'yle karşılaştıralım; nispeten küçük bir yolcu uçağı olan 737'nin on beş tonluk taşıma yükü var. Dolayısıyla, havadan fırlatılan uçakları yapmak mevcut imkânlar dahilinde kolaydır, yine de nanoteknolojinin imkân ları işi daha da kolaylaştıracak.

Peki, bu iş kaça patlayacak? Nanotek fabrikalarda, doğal gaz

---

[12] Şunu düşünün: Eğer bir roketin itiş gücü tamı tamına ağırlığı kadar olursa, havada hareketsiz asılı kalır ve hiçbir yere gitmez. İtiş gücü, ağırlığının iki katıysa, 1 G'yle hızlanır (saniyede 22 mil/saat ivmelenir). 165 saniyede, bir mil/saniye hıza ulaşır, yani saniyede bir ünite, toplamda 165 ünite yakıt harcar. Saniyede beş ünite yakıt harcayan ve beş kat itiş gücü (ağırlığının on katı) kazanan bir roket tahayyül edin. 9 G'yle hızlanır, yaklaşık on sekiz saniyede bir mil/saniye hıza ulaşır. Sadece 5 kere 18 eşittir 90 ünite yakıt kullanmıştır, 165 ünite değil. Yerçekimiyle mücadele ediyorsanız, yüksek ivme daha etkindir.

benzeri hidrokarbonları alıp, nesneler imal etmek için bu karbondan faydalanabilirsiniz, hidrojeni ise bir kenara ayırıp yakıt olarak değerlendirebilirsiniz. Kömür benzeri yoğun maddelerin karbonundan da faydalanabilirsiniz. Doğal gazın mevcut emtia fiyatı kilogram başına elli sentten az; kömürün tonu ise otuz dolar. Kömür, saf karbon değildir, dolayısıyla bir tonluk uzay gemisi için iki ton kömür gerekebilir. 50 kilogram da hidrojene ihtiyacımız olur, bu da 200 kilogram doğal gaz ister. Uzay gemisi için maliyet-fiyat farkı katsayısına yüz desek, 6.000 dolara gelir. Bugün sıvı hidrojenin kilosu yaklaşık on dolar; sıvı oksijen ise on sent civarında. 50 kilogram hidrojene, 800 kilogram oksijene ihtiyacımız var. Bugünün fiyatlarıyla tek uçuş 580 dolara geliyor. Bu fiyatın düşmesini bekliyorum, çünkü hidrojenin önümüzdeki yirmi otuz sene içinde yaygınlıkla kullanılan bir yakıt olması muhtemel; rekabet de fiyatları aşağı çekecektir.

Uzay gemilerinin fiilî fiyatını neredeyse bütünüyle amorti edilmiş geliştirme maliyetleri teşkil edecek, hammadde maliyetinin ise çok küçük bir payı olacaktır. Bugün, yeni bir roketin mühendislik maliyetleri on milyon dolar sınırı içinde kalabilir. (Bu noktada, sıvı yakıtlı roket motorlarının yaşı yüzyılı geçmiş olacak; yaratıcı dehaların bu konuda büyük eserler sunmasına gerek kalmayacak.) Aracın tüm teknik işlerinin 100 milyon dolara geldiğini varsayalım: Bir milyon gemi satabilirseniz, tanesini sadece yüz dolara verebilirsiniz; sadece yüz adet satarsanız, parça başına bir milyon dolar fiyat biçmeniz gerekir. Sonuç şu: Yeterince insan ilgi gösterirse, maliyet sorun olmaktan çıkar.

UZUN VADELİ SEÇENEKLER

Uzayda oldukça yoğun bir trafik oluştuğunda, maliyet daha da aşağı çekilebilir. Muhtemelen bahsini duyacağınız tasarılardan biri, "uzay asansörü," "gökçengel," hatta "fasulye sırığı" denen tasarıdır. Bu tasarıyı, nanoteknolojiyle, hatta fulleren kimyagerlerinin faydalandığı nanoölçekli teknolojiyle bağlantılı olarak duyarsınız, çünkü öyle fiyakalı, zorlama bir fikirdir ki maalesef kusursuz elmas lifler ya da fulleren nanotüpler (buckytüpler) haricinde herhangi bir malzemeyle gerçekleştirilecek gibi değildir.

İşte size o fiyakalı, zorlama fikir. 42.164 kilometre yarıçaplı (yani deniz seviyesinin üstünde 22.000 mil) yörüngeye oturtulmuş bir uydu, dünyanın çevresini tam yirmi dört saatte döner, böylece ekvator üzerinde belirli bir noktada sabit duruyormuş gibi görünür.

Günümüzde iletişim uyduları bu özellikten faydalanıyor; söz konusu yörüngeye yer-ahenkli yörünge ya da Clarke yörüngesi denir ve bu yörünge, uydulardan geçilmez. (Uydular kıpırdamadan durduğu için, çanak antenler de hareketsiz durur.)

Diyelim ki yerahenkli uydu üzerindesiniz ve aşağıya kırk iki bin kilometre uzunluğunda bir sicim sarkıttınız. Ucuna paket bağlansa, bunu yukarı çekersiniz; işte oldu, roket kullanmaksızın yörüngeye paket yerleştirdiniz. Aslında, sicimi makaraya bağlasanız ve paketlerden biri yukarı çekilirken biri aşağı gönderilse, net enerji harcamanıza gerek bile kalmaz! Gökçengel kavramları, genelde asansörlerle ve sicimin ağırlığını dengelemek adına uyduda bulundurulan karşıt ağırlıklarla falan daha fazla ilgilenir, fakat temel fikir budur. Dahası, kuramsal olarak bu sistem çalışır.

Ancak, işin kuramsal yanıdır bu. Uygulamaya gelince, dar da olsa bu yapı devasadır. Kablo koparsa, atmosferi kırk bin kilometre uzunluğunda bir göktaşı gibi kırbaçlar, geniş çaplı bir dehşet yaratır. Kopma ihtimali ise yüzde yüz. Yerahenkli yörüngede olmayan her uydu illaki bu kabloya saniyede sekiz kilometre hızın katlarıyla çarpacak. ABD Uzay Komutanlığı'na göre 2000 yılında yörüngede insan yapımı 8.927 nesne vardı.[13] Tüm bunları temizleyip yeni uyduların yerleştirilmesini yasaklasak bile, sorunların hepsi çözülmez. Gökçengel ekvator yakınında olmak zorunda, dolayısıyla Van Allen radyasyon kuşağından geçer. Yukarı roket hızıyla değil, asansör hızıyla çıkarsınız, dolayısıyla yukarı çıkarken epey ışınıma maruz kalırsınız. Eğer asansör saatte yüz altmış kilometre hızla yol alırsa, yerahenkli yörüngeye ulaşmak dokuz günden uzun sürer.

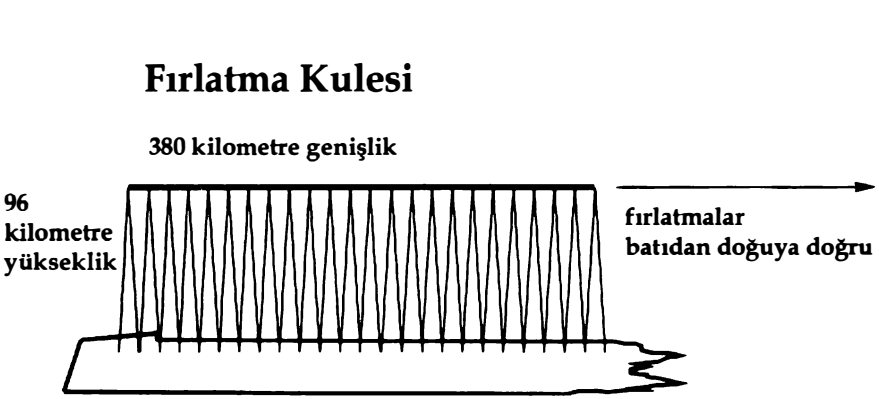
Roketler tavşan gibi ürer, gökçengeller fil gibi; ayrıca bu iki yöntem birbirinin yerine geçmez. Teknolojinin ve ekonominin gökçengelleri mümkün kılacağı zamana gelindiğinde, uyduların yörüngesini değiştirmek için gereken yatırımlar fazlasıyla büyük olacak.

Gemilere göz atarak daha gerçekçi bir fikir edinebiliriz. Gemiler suda rahat hareket eder, fakat karada epey zorlanırlar. Gemiye binecek ya da gemiden inecekseniz, gemiyi kumsala oturtmaz, iskeleye yanaştırırsınız. İskele, karanın bir uzantısıdır ve gemi kumsala oturmadan iskeleye yanaşarak ne işi varsa görsün diye inşa edilmiştir.

Uzay gemilerinin yanaşabileceği bir iskele nasıl yapılır? Kumsalın dünya için muadili atmosferdir. On dokuz kilometre yüksekliğinde bir kule inşa edersek, havadan fırlatmayla aynı faydaları elde

---

[13] Bkz. http://www.space.com/spacewatch/space_junk.html.



Şekil 20 Uzay iskelesi. Pennsylvania'da dikili fırlatma kulesi, ölçekli gösteriliyor. Bu ölçekte dünyanın eğimi göz ardı edilebilir.

edebiliriz. Uzunluğu, en az yüksekliği kadar olursa, üste bir kütle hızlandırıcısı yerleştirerek rokete yardımcı olabiliriz. Kütle hızlandırıcısı, esasen bir toptur; ateşleme yerine manyetizma kullanır, böylece insan bedeni gibi nispeten kırılgan nesneler "gülle" gibi fırlatılabilir.

Fırlatma işini ne ölçüde kolaylaştırabiliriz? Aslında, kulenin yüksekliği 95 kilometre, uzunluğu 290 kilometre olursa, rokete ihtiyacımız bile kalmaz. Sizin boyunuz, atmosferin olsa olsa milyonda birinin üzerindedir. Kütle hızlandırıcısında 10 G'yle ivme kazanarak yörüngeye ulaşabilirsiniz ki bu ivme sağlıklı insanlarda hasara yol açmaz. Doksan beş kilometre yükseklik, kütle hızlandırıcısıyla yörünge hızına ulaşmak için yeterli, hem de uyduları rahatsız etmeyecek kadar alçaktır. Saatte yüz altmış kilometre hızla ilerleyen bir asansörün, kulenin tepesine çıkması yalnızca otuz altı dakika sürer. Kütle hızlandırıcısıyla kalkış bir buçuk dakikadan kısa sürer.

Yük taşımacılığına gelince, alçak yörüngenin ötesine de geçilebilir. 30 G üreten kütle hızlandırıcıları 1970'lerde inşa edildi. 290 kilometrelik rayda otuz G'yle hızlanan gemi Venüs'e ya da Mars'a gidecek kadar ivme kazanır; aya ve L5'e gitmek için sadece 20 G yeter. İnsanlar ise, daha uzun bir hızlandırıcıda ivme kazanmak üzere yörüngede mola vermek zorunda.

Bu kuleyi inşa etmeye değer mi sorusunun yanıtı, uzaya gönderilecek yükün hacmine ve elektrik maliyetlerine bağlı. Kütle hızlandırıcısını mütemadiyen çalıştırmak, (uzay gemilerinin on ton olduğunu varsayıyoruz) her sene uzaya yaklaşık dört milyon ton yük gönderilmesi ve 4 gigavatlık kesintisiz enerji tüketimi anlamına gelir.

Nanoteknoloji temelli güneş enerjisi uyduları muhtemelen, ton başına on megavat enerji üretebilecek şekilde tasarlanabilir, dolayısıyla kule sırf kendi kullanımı için kırk fırlatma yapmalıdır; bu da bir saat sürer. Kulenin kendisinin 10 milyar dolardan ucuza geleceğini sanmam, öyleyse bu uydular masrafın önemsiz bir kısmını teşkil edecektir. Eğer kule 10 milyar dolara mâl olsa ve tam kapasiteyle çalıştırılsa, masrafın çıkarılması için, taşımacılık fiyatı ton başına en fazla yüz dolar olur, ki bu fiyat, günümüzün denizaşırı yük taşımacılığı fiyatlarıyla mukayese edilebilir. Sırf Snake nehri üzerinden yılda beş milyon tonu aşkın yük taşındığını unutmayın; ABD'de büyük suyollarının çoğunluğu bunun yüz katı yükle baş eder.



ON ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ROBOTLAR
Ne İş Olsa Yaparlar

1940'larda genç Isaac Asimov, bilimkurgunun başlıca öğelerinden insanımsı robotu ele aldı ve kendi bildiği gibi şekil verdi. Robotlara dair yazdığı dizi öyküler ve romanlar, yüzyılın geri kalanına fakat bilhassa fütürizm meraklısı 1950'lere, bir robotun nasıl görünmesi ve ne yapması gerektiğini tanımlamıştır.[1]

Bu tanıma göre, robotlar fiziken, kabaca insan şeklinde olup çelikten yapılmış makinelerdi. Makinemsi özellikleri vardı: Güçlülerdi, yorulmuyor, acı hissetmiyor, acıkmıyorlardı.

Günümüzün gerçek robotları, çeliğin yanı sıra, genelde alüminyumdan, plastikten ya da alaşımdan yapılır; fakat yarının robotları mücevher balonlar ya da sis kümeleri olacaktır.

Eski tanıma göre robot zihnini pozitronik bir beyin meydana getiriyordu. Bu sadece havalı bir bilimkurgu sözcüğüdür. Pozitronlar daha yeni keşfedildi, yani pozitronik beyinler, elektronik beyinlerin ötesine atılmış açık bir bilimkurgu adımıydı. Aslında, antimadde parçacığı olarak pozitronlar, gerçek makinelerin içinde, zücaciye dükkânına girmiş kızgın boğa gibi davranır; kendisini ve çarptığı ilk elektronu yok eder ve gama ışınımına yol açar.

Bu meseleyi çeviklikle atlayan Asimov, ilk robotunu bir hayvandan örnek almıştır. Konuşma dilini sınırlı bir şekilde anlayabiliyordu, fakat konuşamıyordu. Pek zeki sayılmazdı, fakat köpek kadar sadıktı.

Sonrasında gerçek makinelerle yaşanan tecrübeler, konuşmanın kolay ama anlamanın zor olduğunu göstermiştir; insanlarla münasebetlerimizden ötürü, bu kanıya zaten uzun süredir sahibiz.

Bugün robotlar, insanların fark edebileceğinden çok daha yay-

---

[1] Isaac Asimov, *I, Robot* (New York: Doubleday, 1950). Türkçesi: *Ben Robot*, 1992, Altın Yayınevi.

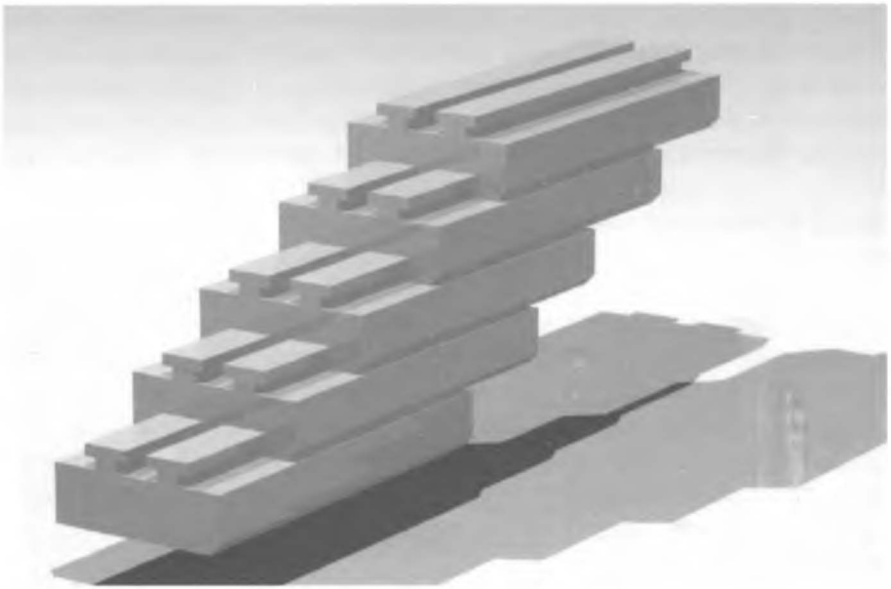
gın. Arabanız ve bilgisayarınız olasılıkla kısmen robotlar tarafından yapılmıştır. Sanayi robotları, itinayla planlanmış denetimli ortamda çalışması gereken epey pahalı makinelerdir, çünkü duyu kabiliyetleri çok sınırlıdır ve sağduyuları falan yoktur. Nanoteknolojinin devreye girmesiyle bu durum kökünden değişecek. Aslında, değişim çoktan başladı, çünkü mikromakineler gibi öncü teknolojiler etkilerini artık gösteriyor.

Mevcut robotlar çoğunlukla böceklerden aptaldır. Ancak, bilgisayarlar nasıl güçleniyorsa, robotlar da zekileşecek, yapılandırılmamış ortamlarda çalışma becerileri yükselecek, nihayetinde insanın yaptığı her şeyi yapar hale gelecekler. Maliyetleri düştükçe, imalat sanayisinde, hizmet sanayilerinde ve ev hizmetçisi olarak kullanım alanları git gide artacak.

Kullanışlı bir robotun fiziksel bedeni, günümüz teknolojisinin yetenekleriyle rahatlıkla yapılabilir. Hevesli amatörler, çeşitli ev işlerinin altından kalkabilecek robotların aksamını birkaç bin dolara imal edebilir. Açmazın yaşandığı aşama, sensörlerden gelen veriyi yorumlayıp motorlara ne yapması gerektiğini bildiren denetim birimi ve sensörlerdir. Bugünlerde robotlar neredeyse geçen her dakika daha da yaygınlaşıyor, çünkü bilgisayar, sinyal alıcı devre, video kamera, mikrofon, minyatür jiroskop, ivmeölçer, basınç sensörü ve benzeri donanımın fiyatları git gide düşüyor.

Gerekli tüm sensörler elde edildiğinde, ki bugün kemiklerden ve kaslardan pahalılar, geriye denetim birimini uygun şekilde programlama sorunu kalır; yani bu birim, sensörleri yorumlayıp faydalı, eşgüdümlü bir faaliyet elde etmek üzere robotu harekete geçirebilmeli. Bu, tamamıyla çözülmüş bir sorun değil, fakat son on yılda kaydedilen ilerlemeler sizi epey şaşırtabilir.

Amerikan Yapay Zeka Vakfı, düzenlediği çeşitli robot yarışmalarının yanı sıra bir de yıllık konferansında "robot kayıt günü" tertipliyor. Yarışma niteliğindeki bu etkinlik, gerçek müstakil robotlar içindir, uzaktan kumandalı araçlar için değil. Görevini tamamlamak için robot, "konferans merkezinin girişinden itibaren kayıt masasını bulmalı, konferansa kaydını yaptırmalı, ondan istenilen gönüllü işleri yerine getirmeli ve konuşma yapmak üzere daha önceden belirlenmiş bir zamanda konferans salonunda bildiride bulunmalıdır." Hepsini kendi başına gerçekleştirmelidir. 2003 konferansında bu işlemleri, biri Carnegie Mellon'dan, biri Washington Üniversitesi'nden iki robot



Şekil 21 Esnek malzeme. Malzemenin şekil değiştirmesi, birbirine tutturulan elmas katmanlar sayesinde mümkün; içlerine yerleştirilen motorlar istediğiniz tarafa kaymalarını sağlar. Bu doku, uçan arabalardan robotlara kadar her yerde kullanılacak.

tamamlayabilmişti.[2]

Nanoteknolojiyle birlikte robotların duyusal sinir sistemi, insanlarınki kadar karmaşık ve hassas yapılabilir. Bu, milyonlarca sensör anlamına gelir, oysa mevcut robotlar yüzden az sensörle idare etmek zorunda. Nanobilgisayarlar, sensörlerin duyumlarını birleştirip yorumlayan büyük bir işlem gücü sağlayacak. Benzer bir köklü ilerleme motorlarda da yaşanacak. Bugünün hantal robotlarının yetinmek zorunda olduğu on ya da yirmi motor yerine, nanotek robotlar yüzlerce motor içerebilir, böylece insanlar gibi zarif ve uyumlu hareket edebilirler, ya da binlerce motorları olur, ahtapotların esnekliğine ve akıcılığına kavuşurlar.

İnce elmas tabakalarıyla yapılmış, insan kolunun şekline ve boyutuna sahip bir balon (şekli koruyan iç bölmelerle birlikte), kol kadar güçlü olmak için birkaç mikron kalınlığında dokuya ihtiyaç

---

[2] "2003 AAAI Robot Competition and Exhibition" *IEEE Computational Intelligence Bulletin* 3, no. 1 (February 2004): 5-6, internet erişimi için: http://www.comp.hkbu.edu.hk/~cib/2004/Feb/cib_vol3no1_confreport2_pdf.

duyar. Katlanabilir yapılara, motorlara, yerel denetim birimlerine, iletişim ve enerji şebekelerine vs. yer açmak için kalınlığı 5 mikrona çıkaralım. Kolla yetinmek olmaz; balonu insan boyutunda yapalım. Sizin robotunuz işte bu. Şişirilmemiş haliyle doku 10 santimetreküp hacim kaplar (tükenmez kalem kadar) ve ağırlığı on beş gramdan azdır.

Sert esintilerde ayakta kalabilmek için bu robotun ağırlığa ihtiyacı olabilir, yoksa fiziken insan boyutunda ve gücündedir, üstelik muhtemelen çok daha zarif ve esnek olacaktır; ayrıca, yakıtı dayandığı müddetçe yorgunluk nedir bilmeyecek. Kendi üzerine katlanmak gibi bir meselesi olmasaydı, balonu yakıtla doldurabilirdiniz, yine de insandan hafif olurdu ve uzun süre kesintisiz çalışabilirdi.

Eski bilimkurgu romanlarında robotlar kullanılmadıkları zaman, bir duvar oyuğu içine girip heykel gibi durur. Gerçek hayatta ise elinizi uzatacaksınız ve robot, kalem boyutuna inecek, siz de onu cebinize koyacaksınız. Ortadan tamamen kaybolması ise başka bir seçenek.

ALET SİSİ

Tabiat, noksanı çok olduğundan,
Garibeler ortaya koymakta hayalimizle yarışamaz...[3]
William Shakespeare, *Antonyus ve Kleopatra*

Maddenin fiziksel özellikleri, nesnelerin sertliği ya da mukavemeti ve katı mı sıvı mı oldukları, moleküllerinin üzerine uygulanan kuvvetlere nasıl tepki verdiğine bağlıdır. Moleküller, onları birbirleri üzerinden kaymaya zorlayan bir kuvvete direniyorsa, o madde katıdır. Çok küçük kuvvetler molekülleri birbirinden uzaklaştırabiliyor, yine de moleküller komşularıyla sabit bir mesafeyi koruyorsa, o madde sıvıdır. Aralarındaki mesafeden bağımsız bir şekilde moleküller birbirlerinden uzaklaşmaya çalışıyorsa, o madde gazdır.

Süngerimsi kauçuk gibi yumuşak katıların bu tarz kuvvetlere direnci zayıftır, fakat esnedikçe, gösterdikleri direnç kuvvetlenir. Elmas gibi sert maddelerin direnç kuvveti, biçimlerindeki en minik mikroskobik değişimle bile muazzam artar. Metaller bir noktaya kadar direnir, sonra sıvı gibi akışkanlık kazanırlar. Oyun hamuru da buna benzer, fakat geçiş noktası çok daha zayıf bir kuvvet gerektirir.

---

[3] Alıntı: *Antonius ve Kelopatra*, Saffet Korkut (çev.), MEB Yayınları, s. 161 —*çev. notu.*

Oyun hamuru ve süngerimsi kauçuk elbette basit malzemeler değiller. Özellikleri kısmen, moleküler ölçeğin çok üzerindeki yapılarından türer. Aynısı odun, kağıt, kemik, kas, beton ve plastik gibi aslında tüm yaygın malzemeler için de geçerli. Metallerin bile, özelliklerinin değişmesine yol açan taneli bir yapısı var. Taneli yapıyı değiştiren ısı işlemi, metalin dayanıklılığını iki kat artırabilir.

Taneli yapıya bir yere kadar katlanabiliyorsanız, karşılığında epey esneklik elde edersiniz. Televizyon ekranına bakın: Televizyon görüntüsü, renk değiştirebilen noktalardan meydana gelir. Bu noktalar hareket etmez, fakat görüntü, noktalar boyunca hareket eden bir renk deseni gibi görünür. Eğer tüm noktalar aynı anda renk değiştirirse, bir görüntü kaybolur, yerine anında yenisi gelir.

TV ekranınızdaki noktaların bir boyutu ve değişme hızı var; bunlar, gözlerinize hareketli bir resim yanılsaması yaşatacak kadar küçük ve hızlı. Bu, genelde işe yarar, gerçi yakından bakarsanız tek tek noktaları ve gözünüzün köşesi dışında bir kıpırdama görebilirsiniz. Televizyonun 300.000 noktasını yüksek kalite lazer yazıcıyla basılmış bir kağıdın 130 milyon noktasıyla takas etseniz, bu yanılsama neredeyse mükemmel hale gelir.

Nanoteknoloji sayesinde, lazer yazıcıdan çıkmış kağıdın santimetresi başına düşen dört yüz noktanın her biri boyutunda robotlar yapabiliriz. Bu robotlar, sırf farklı bir denetim programı çalıştırarak, sıradan maddelerin özelliklerini taklit edebilecek şekilde kendi özelliklerini değiştirebilir; örneğin bir kuvvete direnç göstermek ya da kuvvetin ittiği istikamette hareket etmek gibi.

Bu robotlarla dolu bir kutu alalım. Şimdi elinizde TV ekranının somut bir muadili var. Üç boyutlu bu noktaların her biri, renklerin yanı sıra maddelerin fiziksel özelliklerini de benimseyebilir. Her robota ne yapması gerektiğini söyleyen sesli komutlar sayesinde, TV ekranındaki görüntüler gibi somut nesneler belirebilir, ortamla etkileşime girebilir, ortadan kaybolabilir. TV görüntülerinin aksine, sanal nesneler gerçek nesneleri kaldırıp taşıyabilir, ağırlıklı, katı, yumuşak, esnek, hatta sıvı olabilirler. Bu nesneler, gerçek dünyada gerçek işler yapabilir.

Sadece bir kutuyla yetinmeyip evinizi bu robotlarla doldurursanız, komutla beliren ve yiten mobilyanız, ev aletleri, robot hizmetçileriniz, hatta giysileriniz olur.

Bu gibi robotlardan meydana gelen malzemeye Alet Sisi denir.[4]

---

[4] J. Storrs Hall, "Utility Fog: The Stuff That Dreams Are Made Of," *Nanotech-*



Şekil 22 Alet Sisi. Bir sisçik (sis robotçuğu) ve kollarla birbirlerine bağlanmış bir sisçik tabakası. Bu madde, bu tabakaların binlercesinden oluşacak. Her sisçik çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olacak.

Bunu aşağı yukarı 1990 yılında icat ettiğimde, "hazır" sanal nesneler yaratabilen ilk "robot sürüsü" kavramı buydu. Başka yazarlar, özellikle de Ray Kurzweil,[5] daha iyi bir isim konabileceği görüşünü belirttiği için, en azından bu "Alet Sisi" isminin nereden geldiğini açıklamalıyım. Öncelikle, bu malzeme havayı sis gibi doldurur ve içinde dolaşabilirsiniz. Ayrıca sis gibi görünür. "Alet" kısmına gelince, 1960'lardaki *Batman* dizisini hatırlıyor musunuz? Batman, ne zaman bir alete ihtiyaç duysa, şu işe bakın ki "alet kemerinde" o aleti bulurdu. Bu kemerden çıkan aletlerin sonu gelmeyecek gibiydi ve kemer her zaman elinin altındaydı.

Alet Sisi içinde yaşamak, bayağı, yapay bir TV dizisinde, hat-

---

nology: Research and Perspectives, içinde, ed. B. C. Crandall (Cambridge, MA: MIT Press, 1996), s. 161-84.

[5] Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines* (New York: Viking, 1999), s. 145.

ta çizgi filmde olmak gibidir. Çizgi film karakterleri durup dururken silah, çekiç, örs, takım elbise, sahte sakal, masa, sandalye, esprili tabelalar, ara sıra da buharlı lokomotif bulur ve kullanır.

İçinden geçme konusuna ne demeli? Oyun hamuru içinde dolaşmak gibi olmaz mı? Hayır, çünkü malzemenin büyük çoğunluğu "havayı taklit eden" bir program çalıştıracak. Her ne kadar yoğunluğu havadan fazla, balsa ahşabı kadar olsa da, Sisi duyumsamazsınız, çünkü kendi enerjisi var ve yolunuzdan çekilir. İnsan-Sis arayüzünün ayrıntılarına dair pek çok seçenek mevcut, fakat akla yakın gelen bir tanesi, uzay giysisi başlığı gibi başınızın çevresinde baloncuk oluşturmasıdır.

Baloncuğun iç yüzeyinde yer alan "sisçikler," yani tekil robotlar, faz-denetimli ışık cihazlarıyla donanmış olur, böylece çevrenizde ne görmek istiyorsanız onun gerçek zamanlı hologramını yaratabilirler; siz de bir sis bulutu görmek zorunda kalmazsınız. Elbette Sis, ortamdaki nesneler hakkında yüzey renklerinden fazlasını biliyor olacak; görüş alanına giren her şeye dokunur, böylece size nesnelerin başka özelliklerini ifşa eden suni renkli imgeler sunabilir ya da nesnelerin şeffaf görünmesini sağlayıp arkasını görmenizi mümkün kılar ya da canınız ne istiyorsa onu gösterir.

Hatta bütünüyle farklı bir mekânın görüntüsünü yansıtabilir ve o ortamdaki herhangi bir nesnenin size verebileceği hissi taklit edebilir. Diyelim ki boş bir kabin içinde duruyorum; Alet Sisiyle dolu olması dışında boş bir kabin bu. Kabinimden sizin oturma odanıza uzanan yüksek hızlı bir veri hattı olsun. Kafamın çevresindeki Sis baloncuğu, karşılıklı oturup ikindi çayı içiyormuşuz gibi bir görüntü gösteriyor. Şu aşamaya kadar, video kamerayla bağlanıp ekran görüntüsünü izlemekten farklı değil. Fakat oturmaya karar veriyorum ve etrafımdaki Sisçikler hareket edeyim diye yolumdan çekiliyor, gözlerimin bana anlattığına göre koltuğunuzun durması gereken yere sezgilerimle kendimi bırakıyorum.

Bu noktada Sisçikler havayı değil koltuğu taklit ediyor. Koltuk hissi uyandırıyorlar. Bir koltuğa yaslanır gibi onlara yaslanıyorum. Önümde duran Sisçikler, sehpayı taklit ediyor. Çay fincanımı onların üzerine biraz sert bırakabilir, vurma sesini işitebilir ve çay sıçrattığımı görebilirim. En gerçekçi his için çay fincanı gerçek ve gerçekten orada olmalı, ayrıca eğer içeceksem çayın da gerçek olması *mecburidir*.

Bu, bir telemevcudiyet uygulaması; en azından yarısı öyle. Peki, sizin gerçek oturma odanızda neler oluyor?

En basitinden, orada bir robot durur ve duyularını benim kabi-

nime gönderir, böylece Sis aynı hisleri benim için üretebilir. Bu, sıradan bir robot da olabilir, Sis robotu da, yani boyutu ve şekli benimkiyle aynı olan bir Sis kütlesi de olabilir. Bunun faydası, ortamdan "ayrıldığımda," bu Sis yığınının başka işlere de yarayacak olması. Fakat en ilginci, sizin oturma odanızın da tamamen Sisle dolu olması olurdu.

Oturma odanıza robot halimin yürüyerek girmesi yerine, belirli bir alandaki Sisçikler havayı taklit etmeyi bırakıp beni taklit etmeye başlayınca, orada aniden belirebilirim. Orada bizzat bulunsam, yapabileceğim her şeyi –elime birtakım nesneler almak, kapıları açıp kapamak, çay içmek gibi– bu şekilde yapabilirim; Alet Sisi en az insan eti kadar kuvvetlidir.

Fakat sizin oturma odanızda gerçek çay içmeme gerek yok kendi kabinimde gerçek fincanım elimde. Sizin oturma odanızda elimde tutuyor göründüğüm çay fincanı da Sisten meydana gelebilir, ayrıca çay da; orada olmadığım için gerçekten içecek değilim.

Diyelim ki üzerinde oturduğunuz sandalye gerçekten oturma odanızda duruyor, fakat sehpa aslında yok. Sis tarafından oluşturulmuş sanal bir nesne. Burada, görünüşte aynı mekânda birlikte oturuyoruz, fakat aslında farklı mekânlardayız. Kullandığımız nesnelerin bir kısmı aslında sizin yanınızda ve benim olduğum yerde canlandırılıyor. Bazıları gerçekte benim yanımda ve sizin olduğunuz yerde canlandırılıyorlar. Kimi nesneler ise aslında yok ve iki yerde de taklit ediliyorlar.

İki yerde de canlandırılan ortak nesneler ne kadar çoksa, saf sanal gerçekliğe o ölçüde yakınsınız demektir.

Elbette sohbet ediyoruz; çay bunun için. Robotbilim konusu açılıyor. Evinizden "Asimov'un robot romanlarını" istiyorsunuz ve sağınızdaki boşlukta küçük bir kitaplık beliriyor. Uzanıyor, diyelim ki *Ben Robot* kitabını tutup bana veriyorsunuz. Kendi kitaplığımı benzer bir şekilde çağırıyorum ve kitabı içine tıkıştırıyorum. İki kitaplık da ortadan kayboluyor.

Gerçekte ne oldu? Bu bir dosya aktarımıydı. Kitaplığımı yeniden çağırdığımda, kitabı orada görecek, açıp okuyabileceğim. Temelde, bilgisayar ekranınızda bir klasörden simge alıp başka klasörün içine bırakmaktan farklı değil.

Telemevcudiyetin başka bir biçimi ise ölçek değiştirmedir. Diyelim ki gökdelen ya da nanomakine inşa etmek istiyorsunuz. Eğer aksam elinize kolaylıkla otursa ve tüm iş kucağınızda ya da çalışma tezgâhınızda gerçekleşse, iki inşaatı da daha rahat idare edersiniz.

Öteki uçta uygun boyuta sahip robotlar olduğu takdirde, o inşaat işi size böyle görünecek ve hissettirecektir. Oturma odası örneğindeki gibi, robot aşırı büyük (ya da nanoölçekli) bir insanımsı mekanizma olabilir, fakat birçok durumda Alet Sisi olması daha makul.

Alet Sisi, belirli bir görevi yerine getirmek bakımından, nanomühendislik ürünü özel amaçlı makineler kadar iyi olamaz. Yaklaşık balsa ahşabı kadar ağırlığı, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) plastik kadar dayanıklılığı, ayrıca bunlar kadar bükülme direnci olacaktır. Fakat dokunma hissinizi yanıltacak ölçüde ağırlık, dayanıklılık ve bükülme direnci benzetimi yapabilir. Mobilya benzetimi yapacak ölçüde dayanıklı olacak, fakat bir bıçağı taklit edip de gerçekten bir şeyi kesecek kadar sert olamaz. Ancak, nesneleri son derece akıcı bir şekilde idare edebilecek; böylece Sis kümesi, benzetimin gerektirdiği yerlerde kullanmak üzere, örneğin bıçak gibi kendi mikroskobik aletlerine sahip olacak.

Aynı durum hesaplama ve iletişim için, ayrıca ısının ya da kimyanın işe dahil olduğu her türlü şey (yemek pişirmek gibi) için de geçerli. Enerji ve denetim, Sisin yanında taşıdığı özel amaçlı birimler tarafından temin edilecek. Tek tek sisçikler, kendi üstlerinde denetim üniteleri ve minik yakıt tankları taşıyacak; fakat birkaç milimetre aralıklarla kum tanesi boyutunda birimler, birkaç santimetre aralıklarla bezelye boyutunda birimler, yaklaşık bir metre aralıklarla golf topu boyutunda birimler de olacak.

Sisçiklerin, her yöne uzanan on iki kollu, küçük, aşağı yukarı küresel gövdeleri olacak. Kol ucundan kol ucuna on mikrondan büyük herhangi bir boyutta olabilirler; santimetre başına dört yüz noktalık çözünürlük, dokunma duyunuzu yanıltacak kadar yüksektir ve sisçik boyutunun 20 mikron olmasını gerektirir. Eğer duyuları yanıltmak için çözünürlük gerekli değilse, sisçikler makroskopik boyutlu bile olabilir. Dolayısıyla Alet Sisi robotları ve yazılımlarıyla ilgili tasarımlara ve deneylere başlamak için nanoteknoloji şart değil. Fakat Alet Sisinin, yüksek teknolojili eşyaları astronomik miktarlarda üretme becerisi için nanoteknoloji lüzumlu. Sıradan bir odayı, tabanından tavanına kadar, katrilyonlarca Sis robotu doldurabilir.

Nesnelerin birdenbire belirmesi ve havada asılı kalması gibi soyut bazı etkilerden feragat etmek isterseniz, bu rakamı hatırı sayılır bir miktarda düşürebilir, birkaç yüz trilyona indirebilirsiniz. Havayı dolduran Sis yerine kalın bir Sis halısı söz konusu olur. Bu durumda, örneğin sandalye istediğiniz zaman, Sisçikler istediğiniz şekli oluşturmak üzere fiziken hareket etmek, yani uçmak zorunda kalacaktır.

(Buna sade kip denir, öteki ise Sis kipidir.) Anında gerçekleşmese de, bu Sis akını sandalyeyi bir saniyeden kısa sürede oluşturacak kadar hızlı olabilir.

Sade kipin arıza güvenliği tüzüğü, Sis kipininkinden farklı Enerji ya da denetim sinyallerinin kaybedilmesiyle birlikte, sade kip nesnelerinin şekilce donup kalması sorun değildir; fakat Sis kipinde, özellikle hava, yolunuzdan çekilebilmeli. Eğer tüm yedek enerji kaynakları tükenmişse, sanal hava içe göçer ve bilye ya da golf topu boyutunda küreler oluşturur, böylece gerçek hava açığa çıkar. Kendinizi, çocukların o çok sevdiği plastik toplarla dize kadar dolu olan oyun alanlarına benzer bir yerde bulursunuz.

İki kipin de yararlı tarafları var. Sade kipte denetim epey kolaydır. Sis kipinde, balsa ahşabından ağır halterlerin benzetimini yapabilirsiniz; halter barının dokunmadığınız yerlerinden hava gizlice aşağı iter. Sade kipte, etraftaki öteberinin hologram benzetimini yaratıp çalıştırmak zorunda değilsiniz. Sis kipinde, belirip ortadan kaybolan nesneler mevcuttur; sanal nesneler gibi, kendiniz de dahil gerçek nesneleri havada asılı tutabilirsiniz.

UÇMAK

Tek sıçramayla yüksek binaların üzerine çıkmak hoşunuza gider mi? Lokomotiflerden hızlı koşmak ya da bunları havaya kaldırmak? Maalesef elinizde kömürü sıkıp elmas yapamayacaksınız, fakat gizli sentez cihazları sizin için bol bol elmas üretebilir.

Uçmak bilhassa eğlenceli olacak. Kendinizi uçuyor hissettiğiniz fakat aslında kabininizde bir nevi yüzdüğünüz sanal uçuşu, dışarıda açık havadaki gerçek uçuştan ayırabiliriz. Gerçek uçuş elbette bol miktarda Alet Sisi gerektirir, çünkü tüm alanı kaplaması lazım. Burada büyü yok; havada asılı kalmanızın sebebi, çok minik olsalar da bir yığın robotun sizi taşımasıdır.

Geniş bir alanı bir mil kalınlığa sahip mikroskobik robot tabakasıyla kaplamak abartılı görünebilir; fakat eminim ki Manhattan'ı bir bina tabakasıyla kaplamak fikri 1492'deki sakinlerine de abartılı gelirdi. Alet Sisi tabakasının, gelecekte en etkili şehir biçimlerinden biri olması muhtemel görünüyor. Üç metrelik Sis küpü, tek kişi için her türlü şeyin sanal gerçekliğini yaratmaya yeterli mekânı sağlar, ayrıca uçma becerisi, şehir içi fiziki buluşmalar için ulaşım sorununu çözer. Sis, günümüz şehirlerinde olan tüm altyapıyı ve daha fazlasını tedarik eder.

Büyük kubbeler, bazı şehirler, evlerin etrafındaki mülkler gibi kimi alanlar muhtemelen Sisle dolu olacak, fakat her yer değil. Evi Sisle doldurmanın faydalarını çoktan gördük; komutla birlikte eşyalar birden belirip kaybolabilir, güç gerektiren işlerin hakkından bu nesneler sayesinde gelebilirsiniz. Dışarıdaki Sis Küreleri aynı rahatlığı bahçenizde de yaşamanızı sağlar, üstelik istenmeyen yabancıları da uzak tutar; örneğin insanlar, köpekler, sivrisinekler ya da bakteriler gibi.

Uçmak uzayda da yararlı olabilir. Uzayda zaten ağırlıksız değil miyiz? Evet, fakat denetim bizim elimizde değildir: İstediğimiz an başlayıp duramayız. Sisle birlikte tüm ortam ve kendi hareketimiz üzerinde denetim kurabiliriz. Eğer gemimizin ya da uzay yaşam alanımızın dışı Sisle kaplıysa, bakım onarım, yük istifleme, ziyarete gelen insanları ya da taşıtları yakalayıp yanaştırma gibi işleri halledebilir.

Uzayda madde seyrektir, dolayısıyla geri dönüşümün önemi büyük. Alet Sisi en faydalı madde biçimlerinden biri olacak, çünkü elinden nice iş gelir. Dahası, anında masadan yatağa, aygıt paneline, robota, gemi bölmesine kadar çeşitli şekillere girebildiği için geri dönüşüm konusunda varılacak son nokta sayılmalı.

SANAL GERÇEKLİK

Sis dünyasında neyin gerçek neyin sanal olduğunu anlamak, bizim dünyamızdan zor olacak. Bugün yaygınlıkla kullandığımız ve aynı durumun söz konusu olduğu tek teknoloji, seslerin taklit edilişidir; yüksek kaliteli ses kayıtlarını ve hoparlörleri, gerçek ses kaynağından ayırmak zor.

Alet Sisi buna görme ve dokunma duyularını da dahil edecek. Öteki sanal gerçeklik biçimleri de bu duyulara el atacak, fakat Alet Sisi, sanal ile gerçeği öteki biçimlerden çok farklı bir şekilde harmanlar.[6] Dahası, Alet Sisiyle birlikte düşünmemiz gereken bir felsefi muamma da doğar. Eğer odamda Alet Sisinden bir benzeriniz varsa, bunun gerçek bir insan olmadığı bellidir. Fakat Alet Sisinden oluşan koltuğumun gerçek koltuk olduğunu iddia edebilirim; koltuk tanımında minik robotlardan meydana gelemez diye bir kaide yok.

Bugün, birisiyle telefonda konuştuktan sonra "falancayı duydum" demekte sakınca görmeyiz, fakat görüntülü telekonferansta

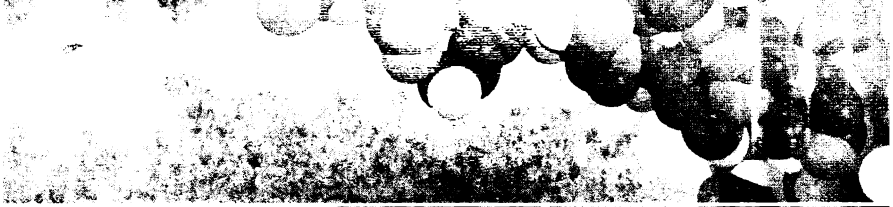
---

[6] Dolaysız sinir musluklarının devreye girmesiyle birlikte daha az karıştırılmaları mümkün olacak, ayrıca koku ve tat duyuları da işe dahil edilecek.

konuştuktan sonra o insanı gördüğümüzü pek söylemeyiz. Bu, ses ile görüntü arasındaki fark değil, *duymanın* ve *görmenin* anlamları arasındaki ince bir farktır; bu duyular kati şekilde koşut değil. Görmek, mevcut olmakla ilgili güçlü bir ima barındırır. Normal sohbetlerde bu ayrıntıları fark etmeyiz ama yine de kullanırız.

Telemevcudiyet hattının ucundaki Sis yığını insan gibi görünür ve hareket eder, fakat başka bir yerdeki kişinin eylemlerini bire bir taklit ettiğini bilirsiniz. Ancak, ya Sis, bir robot olup küçük Sisçiklerin işlemcilerinde bulunan denetim programlarını çalıştırıyorsa? Sis yığını şimdi elbette "gerçek" bir robottur. Bir adım ileri gidelim ve diyelim ki birisi beynini yazılım olarak yüklüyor (Bkz. On Sekizinci Bölüm), sonra bu bilgiler Sis robotuna indiriliyor. Artık "gerçek" kişi olmak için başka şeye gerek yok; Sis yığını yeter. Eğer indirme işlemi Sis kipinde yapılmışsa, belirli bir Sis robotu grubuyla değil, hareketli bir hesaplama şablonuyla ilişkiliyse, işler daha da çetrefilleşir.

Konuşma dilimiz, gerçekliğe yetişmek için kapsamını genişletmek zorunda kalacak. Her zaman böyle olmuştur. Televizyon ve bilgisayar ortaya çıktığı zaman, dildeki bu genişlemeye bir nebze ihtiyaç duymuştuk. Televizyon ekranında gördüğümüz ayı, gerçek ayı değildir; fakat bilgisayar ekranında okuduğumuz *Hamlet* gerçekten *Hamlet*'tir. Aradaki farkı insanlar pek dert etmez; yaklaşmakta olan kısmi sanal dünyada tecrübe kazandıkça, bununla başa çıkmak için gerekli olan yeni kelimeler ve kavramlar zaten icat edilecektir.



ON DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YAPAY ZEKÂ
Zannettiğinizden Yakın

> Ne gariptir ki, 1984 Eylülünde, [YZ] çılgınlığı doruk noktasındayken, yazdığım bir makalede... gelecek on sene hakkında epeyce karamsarlık sergilemeye cüret etmiştim. Şimdi dünya YZ hayalinden hemen hemen vazgeçmişken, yapay zekânın, başarının eşiğinde durduğuna inanıyorum.
>
> Douglas Lenat
> *Scientific American: Key Technologies for the 21st Century*

Taşınabilir olmayan bilgisayarların sayısı, robot sayısından zaten fazla ve aynı işlem gücü bazında hep daha ucuz olacaklar; dolayısıyla insan kadar zeki sabit bilgisayarlar, insan düzeyindeki robotlardan biraz daha önce belirecek. Dahası, sabit bilgisayarlar, insanların fiziksel faaliyetler için barındırdığı tüm duyu ve motor mekanizmalarına ihtiyaç duymaksızın masa başı işleri yapabilir ve iş dünyasıyla ya da teknik dünyayla meşgul olabilirler. Bu yüzden, belki de bu bilgisayarların inşası daha kolay olacak ve dünyaya daha erken bir tarihte gelecekler.

YZ teknikleri iş dünyasına şimdiden egemen (çoğunlukla bunlara başka adlar verilir). Ne zaman uzun mesafeli telefon konuşması yapsanız ya da kredi kartı kullansanız, bir bilgisayar programı bu işlemi tahlil eder ve kartınızın dolandırıcılık amacıyla kullanılıp kullanılmadığına karar verir. Bunlardan bazıları görgül kurallara sahip, basit, kaba saba programlardır; örneğin Avustralya'da tatil yaparken kredi kartım sırf Avustralya'da kullandım diye iptal edilmişti; fakat bazı programlar epey inceliklidir ve müşterinin kullanım şablonunu ve tipik dolandırıcı kullanım şablonunu temel alarak dolandırıcılığı yasal kullanımdan ayırt etme konusunda insanlardan daha başarılı olurlar. Dahası, söz konusu sistemler bu vazifeyi, her gün gerçekten yapılan yüz milyonlarca telefon konuşması ve kart işlemi için gerçek

zamanda yerine getirir.

Bir düşünün: Dünyanın en büyük şirketlerinden bazıları sat/satma kararlarının büyük kısmını bir makinenin sözüne bırakıyor, hem de (zaman zaman gayet işe yarayan) basit kurallara göre değil, matematiğini artık işadamlarının bile anlamadığı, istatistik temelli incelikli çıkarım yöntemlerine göre işleyen bir makinenin.

Makineler, her türlü kararda aynı başarıyı sergiledikleri zaman, kullanıma girecekler. Benzer tekniklerin, işe alıp almama kararlarında da işe yaradığını düşünün. Ya da çalışanı kovup kovmama kararlarında.

SİBERNETİK

1700'lerde, sanayi devriminin şafağında buhar gücü, makinelerde ana kuvvet olmadan önce, sabit değirmenlerin ana güç kaynakları rüzgâr ile suydu. Su gücünden yararlanmak kolaydır ve su genelde dengeli ve güvenilir bir enerji kaynağıdır; fakat çoğu yerde uygun akıntı bulamazsınız. Rüzgâr gücü, suyun bulunmadığı pek çok yerde mevcut, fakat iki sorun teşkil eder: Rüzgâr hep aynı hızla ve her zaman aynı yönden esmez.

Dolayısıyla yeldeğirmenleri çoğunlukla ana mile ve kanatlara monte edilen zekice eklentilerle inşa edilmiştir. 1745 yılında Edmund Lee, otomatik kuyruklu pervane patentini aldı;[1] bu ikincil pervane, büyük pervaneye doğru bir açıyla tutturulur. Küçük pervanenin bağlı olduğu çarklar, koca değirmeni kendi çevresinde döndürür. İşin püf noktası, küçük pervanenin rüzgârdan üstün bir konumda olmasıdır; böylece büyük pervane rüzgârı dosdoğru cepheden almadığı müddetçe küçük pervane, dönme işlemi yapmaz. Dolayısıyla küçük pervane, yeldeğirmeninin duruşunu doğru konuma getiren hem enerjiyi hem de zekâyı sağlar. Aynı zamanda, yeldeğirmenlerinin, rüzgâr kanatlarının alanını daraltmak için otomatik bir düzeneği de bulunur; bir ağırlık sistemi kanatları rüzgâra doğru tutar, fakat değirmen çok hızlı dönmeye başlayınca, merkezkaç kuvveti, ağırlıkları yukarı çeker ve kanatlar kısmen katlanır. Kaynaklar, bu sistemin aslı konusunda fikir birliğine varamaz, fakat on sekizinci yüzyılda yaygınlıkla kullanılmıştır.

---

[1] Charles Singer ve diğ., *History of Technology*, cilt 3 (New York: Oxford University Press, 1958), s. 98. Kuyruklu pervane sık sık hatalı bir şekilde Andrew Meikle'ye atfedilir.

Bu araçlar, çağdaş Batı teknolojisinde geri bildirimli mekanik düzeneklerin aslı ya da en azından giriş kapısı gibi görünüyor. Kurumlarda ve iletişim alanlarında geri bildirim kelimesi bir nevi moda sözcük haline geldi, fakat bundan önce, mühendislikte sık sık kullanılan bir kelimeydi. Mühendislik bağlamında, bir makinenin verdiği çıktının ölçüldüğü ve bu ölçümün makineyi denetlemek için kullanıldığı süreç anlamına gelir.

Geri bildirimli denetimin en basit ve yaygın örneklerinden biri termostattır. Tipik bir ev ısıtıcısı termostatı, termometrenin ve kazanı yakıp söndüren anahtarın bileşimidir. Evin sıcaklığı, istenen seviyenin üzerine çıktığında, yani ayar noktasını geçtiğinde, termostat, kazanı söndürür; ayar noktasının altına indiği zaman, kazanı yakar.

Bu sistemde bir duraksama süresi vardır; histerezis (gecikme) denilen durumu meydana getirir. Öncelikle, termostat, kazanı aslında aynı sıcaklıkta yakıyor ya da söndürüyor değildir. Örneğin, sıcaklık yirmi iki santigrat derecenin üzerine çıktığında kazanı söndürür, yirmi bir derecenin altına inmeden tekrar yakmaz. Buna ilaveten, odanın karşı duvarındaki radyatörlerden ısının süzülüp termostata ulaşması biraz zaman alır. Bu iki etkenin sonucunda, kazan bir açılıp bir kapanmak yerine bir süre açık ya da kapalı kalır; bu durum, kazan için iyidir, fakat sıcaklığın aşağı yukarı dalgalanmasına yol açar.

Kolunuzu olabildiğince uzatın ve parmaklarınızdan birini, görebileceğiniz şekilde açın. Arka planda sabit bir nesneyi kerteriz noktası alarak parmağınızı izleyin. Titremeden durmadığını göreceksiniz. Tutturmaya çalıştığınız noktanın çevresinde gezinir; sıcaklık da buna benzer bir şekilde ve aynı sebepten ötürü termostatın ayar noktası çevresinde dolanır. Başka bir deyişle, kas denetiminiz de geri bildirimden faydalanır.

Diyelim ki sıcaklığın (ya da kolunuzun) sabit durmasını istiyorsunuz. Yapılacak şeylerden biri, sadece yanıp sönen bir kazan (ya da devridaim pompası ya da pervane) değil, hızlı ya da yavaş çalışmak üzere ayarlanabilen bir kazan kullanmaktır. Şimdi sorun, termostatın işinin zorlaşmasıdır. Kazanı kapatmak ya da açmak yetmez; kazana hangi hızla çalışacağı söylenmeli. (Elbette sinir sisteminiz bu işi zaten yapıyor; kolunuzu yukarıda tutarken kaslarınızı ne tam sıkıyorsunuz ne de bütünüyle gevşetiyorsunuz.)

Kazan hangi hızda çalıştığında evin sıcaklığının dengeli kaldığını bilmek işimize yarayabilirdi. O zaman termostat, kazanı ayar noktasında bu hızda çalıştırabilirdi, böylece ev biraz soğuyunca ayar noktasına kadar ısıtmak için hızlandırır, biraz ısınınca soğutmak için

yavaşlatırdı. Bu tür bir düzeneğe orantılı denetim denir. Yukarıda betimlenen iki yeldeğirmeni denetim düzeneğinin de orantılı denetim örnekleri olduğuna dikkatinizi çekerim; bunlar, çağımızdaki pek çok termostattan daha incelikli düzeneklerdir!

Orantılı denetimin sorunu, hem dengeli sıcaklık sağlayan bu büyülü hızın ne olduğunu önceden bilememektir hem de bu hızın değişmesidir. Dışarıda sıcaklığın değişmesi, kapıların ya da pencerelerin açılması ve/veya ev içinde başka ısı kaynaklarının bulunması, baştaki öngörü doğru olsa bile onu boşa çıkarabilir. Örneğin, eğer pencerelerden biri açık kalmışsa, sıcaklığı aynı düzeyde tutmak için aletin daha hızlı çalışması gerekir. Doğrusu, basit bir orantılı denetim düzeneği, sıcaklığın koşullara göre bir miktar değişmesine göz yumar.

Daha akıllısı, hem dışarıda hem içerde termometresi olup, termostatın, kazanın hangi hızda çalıştırılacağını öngörmesini sağlayan bir sistem olurdu. Pencerelerde ve kapılarda sensörler olduğunu ve bu sensörlerin acaba güneş ne kadar parlıyor ya da dam karla kaplı mı gibi sorulara yanıt verdiğini tahayyül edebiliriz. Elbette evler aslında bu kadar incelikli bir denetime ihtiyaç duymaz, fakat bazı varlıkların buna gereksinimi olur. Hayvanlar ve insanlar, bunun tipik örnekleri.

Genelde ev ısıtma sistemleri, oda termostatının kazanı denetleyebileceği şekilde kurulmamıştır; termostat, devridaim pompasını denetler ve brülörün üzerinde bilfiil kazanı denetleyen bir termostat bulunur. Birbirlerinin ayar noktasını denetleyen ikili bir sistem düzeyinde orantılı bir kontrol düzeneği kurmak da mümkün, gerçi bu yaygınlıkla başvurulan bir uygulama değil. Yani ev ısıtma sistemlerinde yaygın değil; daha karmaşık sistemlerde ise sıklıkla rastlanır. Hayvanların, hatta böceklerin sinir sistemi, geri bildirim ağlarını denetleyen geri bildirim döngülerinin oluşturduğu karmaşık bir hiyerarşidir.

Sinir sistemlerine ait geri bildirimli denetleme sistemi vasfının, sibernetik için ana saiklerden biri olduğu açık. Sibernetik aslında, yüksek matematikte denetlemenin geri bildirim meselesini matematiksel olarak ele alan bir daldır; İkinci Dünya Savaşı zamanında Norbert Wiener'in kapısını açtığı bir konuydu.[2] Çeşitli tasarımların yanı sıra, radar denetimli otomatik uçaksavar toplarının tasarımlarında başarıyla kullanılmıştır. Bu kuramın, hayvanlardan ekonomiye

[2] Norbert Wiener, *Cybernetics* (New York: Wiley, 1949).

kadar her şeyi anlamak için bir temel teşkil edeceğine dair büyük umutlar vardı. Doğrusu, devingen geri bildirim döngüleri pek çok görüngüye nüfuz etmiştir. Fakat nihayetinde matematik, tüm bunlar için ortak, geniş bir temel kurmaya yetemedi, böylece *sibernetik* terimi ve yüce hayalleri zamanla silikleşti.

Bu esnada, mühendisliğin daha dar bir dalı olan denetim kuramı palazlandı; bu kuram, mühendisliğin temel direklerinden biri olarak kabul ediliyor.[3] Mekanik, hidrolik, elektronik sistemlerde geri bildirim özelliği etraflıca kullanılır; ayrıca geri bildirim çözümlemesi yapmak, mühendisin standart alet takımının bir parçası sayılır. Hatırı sayılır karmaşıklığı olan faal mahlukların tasarımında kullanılabilir. Gerçek sinir sistemlerinin yapısında her yere sirayet etmiştir. Yoğun odaklanmadan dalgınlığa kadar çeşitlilik gösteren bilinçlilik halleri, hipnoz, transa geçmek ve hayal kurmak gibi zihinsel görüngülerin geniş yelpazesi, basit algoritmadan ziyade geri bildirim döngülerinden oluşan bir şebekeye benzeyen örgütlenmeler gösterir.

ESKİ TOPRAK YZ

Bilim tarihi, indirgemecilik kavramından ayrı düşünülemez. Karmaşık bir doğal görüngüye bakalım; gökyüzünde yıldızların ve gezegenlerin izledikleri yollar klasik bir örnektir. Bunu basit bir modele (gökbilim söz konusuysa, nihayetinde her gezegen için az sayıda model bulunur, gezegenin kütlesini ve konumunu belirtirler) ve modelleri yönlendiren basit kurallara (çoğunlukla diferansiyel denklemler biçiminde olur) indirgeyelim.

Yapay zekâ (YZ) çalışmaları başladığında, doğal olarak aynısı bu alanda da uygulanmaya çalışıldı, ne de olsa doğa bilimlerinde işe yaramıştı. Dil tercüme etmek, klasik bir örnektir. Dilden dile çeviri yapmanın çok basit bir modeli, çevirisi yapılacak metinde her kelimenin karşılığını bulup çeviri metnini oluşturmak için bunları uygun sırayla dizmektir.

Tahmin edebileceğiniz gibi, bu tarz bir yaklaşım pek işe yaramaz. Belki de elde edilen sonuçları o dönemde yapılan şakalarla anlatmak en iyisidir: "Bazı araştırmacılar tercüme bilgisayarlarını sınamak istemiş. "Ruh istekli, fakat vücut takatsiz," cümlesini bilgisayara vermişler, önce Rusçaya çevirip, sonra neticeyi tekrar İngilizceye çevirmesini

---

[3] Gordon J. Murphy, *Basic Automatic Control Theory* (New York: van Nostrand, 1957).

istemişler. Bilgisayarın onlara verdiği cümle, "Votka güçlüdür, fakat et çürük," olmuş."[4] (Yazarın suflesi: Günümüzde internette bulabileceğiniz bedava çeviri yazılımları bundan çok da iyi sayılmaz; Rusça yerine Portekizceyi deneyerek esasen ben de aynı sonucu elde ettim!)

Pekâlâ, sil baştan yapalım. Nihayetinde bazı görüngülerin modelini kurmak daha zordur. Fizik biliminin elektromanyetikle ya da akışkanlar dinamiğiyle başa çıkması, gezegen ölçeğinde kütleçekimi dinamiğini çözmesinden uzun sürmüştür.

Böylece YZ araştırmacıları başka meselelere eğildi; gerçekten etkileyici sonuçlar elde etmeye başladılar. Doktora tezlerinin karmaşıklık düzeyinde olan YZ programları, üniversite birinci sınıf kalkülüs problemlerini çözmek, satranç oynamak, IQ testlerindekine benzer örnekseme problemlerini çözmek gibi şeyleri yapabiliyordu.

Belki de bu dönemi taçlandıran başarı, Terry Winograd'ın SHRDLU programı olmuştur.[5] Bu program, (simüle edilmiş) oyun küpleriyle oynayabiliyor, yaptığı iş hakkında sohbet edebiliyor, muhatabının basit konuşma diliyle söylediklerini anlar gibi görünüyordu.

SHRDLU kavramsal bir buluştu, çünkü anlambilimsel bir model içeriyordu; yani, programın ele aldığı simgelere anlam veren ya da en azından basit anlam kıvılcımları çıkaran bir benzetimci olarak kullanılabilecek bir iç programı vardı. Başka bir deyişle, çok kısıtlı bir biçimde olsa da, SHRDLU'nun bahsettiği şeylerden anladığı cidden söylenebilirdi.

Ancak elinden öğrenmek gelmiyordu (yeni bir kelimenin açık tanımının verilmesi dışında). Bu özelliği SHRDLU'dan bir şey eksiltmez; en ufak parçasına kadar, betimlediğim o kilometre taşıdır ve öyle bir zamanda yazılmıştı ki o günün MIT'sindeki tüm bilgisayarlar bir araya getirilse bugünün sıradan bir PC'sinin ham bit işleme gücüne ve saklama kapasitesine erişemezlerdi.

Sorun şu ki SHRDLU'nun vücut bulmasından bu yana geçen otuz yıl içinde kimse ortaya çıkıp bu işin sonunu getirmedi. SHRDLU'nun yaptığı, örneğin sözdizimsel analiz, önceden kurulmuş anlambilimsel

---

[4] Bu hikâye ve benzerleri daha şimdiden sahte statüsü kazanmıştır. http://www.snopes.com/language/misxlate/machine.htm internet sitesi şunu bildiriyor: "Bu masalların nasıl başladığı bilinmiyor, fakat otuz kırk senedir dolaşımdalar, kısmen de olsa bunun sebebi, o masalların ayrıntılarının, ortaya çıktıkları dönemi doğru bir şekilde yansıtmasıdır."

[5] Terry Winograd, *Understanding Natural Language* (San Diego: Academic, 1972).

dünya modeli uyarınca meseleleri netleştirmek, böyle bir modeli idare etmek vesaire gibi şeyler neredeyse tanınmayacak kadar gelişmiştir. Satrançta herhangi bir insanı alt edebilecek makinelerimiz var, fakat hayat satranç değil. İnsanların başa çıkamayacağı kadar büyük veri kümelerinde inanılmaz aramalar yapan programlarımız var. En karmaşık makinelerin tasarımları için vazgeçilmez olan sistemlerimiz var ve bu sistemler, en karmaşık yazılımların tasarımını kolaylaştırıyor. Deneysel düzeyde, bilgisayarlar, konuşma İngilizcesiyle sohbet edebilir, video kameralarla yüzleri görüp tanıyabilir, iki ayak üzerinde yürüyen robot gövdelerini denetleyebilirler.

YZ cemiyeti, kendilerine yönelen eleştirilere karşı kısmen haklı bir tutum takınmıştır; bilgisayarların yapamadığı ne varsa YZ olarak nitelendirildiğini, uygulamaya geçirdikleri her şeyin derhal "bilinen yazılım tekniği" sınıfına alındığını ve artık YZ sayılmadığını söylerken çok da haksız değiller. Dolayısıyla YZ, başardıklarından ötürü hiç itibar görmezken, her zaman yapamadıklarıyla ölçülmüştür.

Bununla birlikte 1960'larda, satranç oynamak ve simgesel cebir işlemleri yapmak YZ olarak kabul ediliyordu. 1970'lerde görüntü ve doğal lisan işlemek YZ sayıldı; 1980'lerde çıkarımsal veri tabanları, kurallı teşhis ve yapılandırma sistemleri YZ kabul edildi; 1990'larda araba süren ya da yürüyen robotlar YZ sayılır olmuştu.

Öte yandan, 1950'lerde dilden dile çeviri yapmak YZ kabul ediliyordu; hâlâ da öyledir. Meseleye bir de öteki taraftan bakarken adil olmak gerekirse, YZ kendisini öyle bir tanımlamıştır ki bilgisayarların elinden gelenlerle insanların yapabildikleri arasındaki farkla ölçülmesi doğaldır. O halde YZ şimdiye değin ne kadar yol aldı? Başarıları etkileyici bir liste teşkil eder; fakat bunlar insanların yapabildiklerinin ancak küçük bir kesiti. Bilgisayarların hâlâ yapamadıklarına şöyle bir göz atalım.

Örneğin, görme yetisi alanında, retinadaki sinir hücresi tabakalarının, görsel imgeyi, optik sinirler beyne göndermeden önce önişlemden geçirmesinin nasıl taklit edileceği gayet iyi anlaşılmıştır. Bu iş önemsiz gibi görünebilir, fakat ilk YZ araştırmacılarının elindeki işlem gücünün bin katını gerektirir.

Devam edelim; görsel sisteme dair tersine mühendislik yaklaşımı, görüş alanı içindeki nesneleri ayırarak ve seçerek onları bir ölçüde üç boyutlu dünyaya yerleştirme noktasına kadar ilerlemiştir; fakat bu zanaatın mevcut hali, genel bir kimliklendirme işlemi yapamıyor, yani hangi nesnenin ne olduğunu söyleyemiyor.

SHRDLU'nun günümüzdeki torunları, çerçevesi belirli özel ko-

nularda gündelik dille sohbet edebilir; ayrıca günümüzün uzman sistemleri, son derece karmaşık ve incelikli görevlerde uzmanlık kalitesinde iş çıkarabilir.[6] Fakat bu sistemleri kendi uzmanlık alanlarından çekip çıkarırsanız, yeni şeyler öğrenme, hatta yaşadıkları tecrübelere sağduyuyla ve genel zekâyla tepki gösterme becerileri kalmaz.

Robotbilim alanında yelpaze, fabrikalarda göz kamaştırıcı bir hızla basit işlemler yapan montaj robotlarından, yavaş da olsa yürüyen insan biçimli meşhur Honda robotu Asimo'ya kadar uzanır. Bunlar arasında özerk futbol takımları (küçük, tekerlekli robotlardan oluşan) var; bunlar, masa üstü futbolunda kıyasıya maçlar çıkarır (bu maçlarda hız ve strateji eş derecede önemlidir).

Yine de günümüzün robotları, hayvanların, hatta böceklerin yanında çok ama çok ilkel kalır. MIT YZ Laboratuvarlarının başkanı olan ve 1980'ler ile 1990'ların devrim yaratan robotlarından bazılarını icat etmesiyle meşhur Rodney Brooks, tıpkı Newton'dan ve Leibniz'den önce gezegenlerin hareketlerini anlamaya çalışırken gerekli matematikten yoksun oluşumuz gibi, kimi temel kavramlardan hâlâ mahrum olduğumuzu söyleyecek kadar ileri gider.[7]

(Brooks'un, YZ gerektiren mekanizmaları başından savarak ve mantık yerine refleksleriyle çalışan robotlar inşa ederek isim yapması ve bir yere kadar robotik alanında devrim yaratması biraz garip.)

Ancak, Brooks'u kaygılandıran, yüksek düşünme işlevleri değildir; aslında, neyin eksik olduğunu tanımlamaya çalışırken, daha fazla parametreye, bilgisayar gücüne ya da bu dalda beklenen normal herhangi bir ilerlemeye ihtiyacımız olabileceği ihtimalini göz ardı etmez. Yine de, araştırmacılardan birinin kafasında bir ampul yanmasına ihtiyacımız olduğunu ve o zaman bir "Evreka!" ânının yaşanacağını düşünüyor gibidir.

Mevcut robotları izlerken ya da mevcut programlarla haşır neşir olurken, bu meselenin hangi yüzüyle hemfikir olunacağına karar vermek kolay değil. Bir yandan robotlar, çeyrek yüzyıl öncesine kıyasla günümüzde muazzam, hatta inanılmaz bir şekilde daha ileriler. Fakat yine de hâlâ o kadar kaba saba, "lümpen" ya da cahiller ki taklit etmeye çalıştığımız doğal sistemler ile bunlar arasında nicelik değil nitelik farkı varmış gibi duruyor.

---

[6] James Allen, *Natural Language Understanding* (Menlo Park, CA: Benjamin-Cummings, 1987).

[7] Rodney Brooks, *Flesh and Machines: How Robots Will Change Us* (New York: Pantheon, 2002), s. 187-91.

Söz konusu farkı hissettirmek için, kara kalem çalışmasını renkli fotoğrafla kıyaslayalım. Kara kalem çizim, fotoğraf hakkında epey fikir verir, açıkçası sanatçının algısının ve yeteneğinin derinliğini ifşa eder, tıpkı YZ programlarının, yaratıcıları hakkında fikir vermesi gibi. Yine de çizimin yakalayamadığı ve fotoğrafta bulunan binlerce incelik bulunur.

Bunun sebeplerinden biri, YZ sistemlerinin, canlı sistemler gibi oraya buraya saçacak kadar hesaplama gücü olmayışıdır; beyin hâlâ gramı gramına, vatı vatına silikondan katbekat maharetlidir. Fakat bu durum değişiyor ve yirmi sene içinde söz konusu kısıtlama kuvvetle muhtemel ortadan kaybolacak.

Yapay sistemlerin tutumluluğunun sebeplerinden biri de doğalarına özgüdür; kara kalem çizimin fotoğraftan daha tutumlu olmasının sebebiyle aynı. Çizim her seferinde tek kişinin bıraktığı izdir; her ayrıntı ve ayrıntıların birbirleriyle münasebeti, belli bir yerde çizerin bilincini işgal etmiştir. Çizim ne kadar ayrıntılı olursa, çizilmesi için o ölçüde çaba sarf edilir. Aynısı YZ programları için de geçerli. (Evet, büyük ticari yazılımlar için kullanılan kalabalık geliştirme ekipleri faydalıdır. Yine de şimdiye kadar YZ'de bu yaklaşım öne çıkmamıştır, fakat YZ, akademi dünyasından çıkıp ticari dünyaya adım attıkça ekip çalışması da artacaktır.)

YZ'NİN İŞİ NEDEN ZOR

1999 yılından çıkıp 2000'e girerken, tüm dünyada insanlar yeni yılı, yeni yüzyılı, yeni binyılı kutlamak için toplandı. Şenlikler bittikten sonra, bu mütevazı yazarınız da dahil kimi şakacılar yeni binyıla girmek için hâlâ bir yılımız olduğuna ve her şeyi baştan yapmamız gerektiğine işaret etti. Yüzyıllar "01" yıllarıyla başlar, çünkü sıfır diye bir yıl olmamıştır, dolayısıyla ilk yüzyıl 1 yılıyla açılmıştır.

Rakamlar, hafif farklılık gösteren iki şekilde kullanılabilir. İlk olarak sayma gelir; sayma, belirli bir şeyin ne kadarına sahip olduğunuzu gösterir. Fakat aynı zamanda isimlendirme de mümkündür. Örneğin ben, Waycaster Caddesi 6742 numaralı adreste yaşıyorum; bu, caddenin bir ucundan evime kadar 6742 tane hane olduğu anlamına gelmez. 6742 rakamı isim gibidir. Arada boşluk olmasaydı, birinci haneye 1, ikinci haneye 2 vesaire diye ad verilseydi de isim işlevi görecekti.

Cetvele bakalım. Üzerinde otuz santimetre olduğunu biliyorsunuz. Ancak genelde, ya santimetreleri bölen yirmi dokuz çizgi vardır

ya da uçtakilerle birlikte otuz bir çizgi, ama tam otuz çizgi yoktur. Bu rakamlar, iki santimetre arasındaki noktalara işaret eden ölçümlerdir, yoksa santimetrelerin adı değildir (elbette bu durumda tam otuz rakam var). Fakat yıl rakamları, yılların ismiymiş gibi kullanılır: Kafa karışıklığının sebebi budur.

Bilgisayar programlarken, rakamları nasıl kullanacağınızı tam olarak anlamalısınız, yoksa programınıza yazılım hataları sokarsınız. (Bu tarz bir kafa karışıklığından doğan yazılım hatalarına zaman zaman *fencepost* sorunu denir.) Yine de çoğu insan, bu ayrımı her seferinde doğru uygulamak şöyle dursun, bu ayrımın farkında bile olmadan mutlu mesut yaşar. Dahası, her halükârda doğrusunu yaparız; isim yerine rakam kullanan doğru eve gideriz, rakamları ölçüm amaçlı kullanarak odanın boyutunu ölçeriz ve aradaki ayrımı fark etmeyiz bile. İki öğeyi de içeren bir sayma kavramımız var ve bir şekilde işe yarıyor.

Mevcut yazılımlar gibi yaratılmış olsaydınız muhtemelen bu sayma kavramı işe yaramazdı. Yazılımlar, temelden başlanıp yukarı doğru inşa edilir ve tüm ayrıntıların doğru bir şekilde belirtilmesi gerekir, yoksa program hiç çalışmaz. Biz insanlar meseleleri yukarıdan aşağıya kavrayabiliriz, gerekli olduğunda ince ayrımlar yapabiliriz, fakat genel kavramları kavramakta çoğunlukla zorlanmayız. PC'nizdeki uygulamalar gibi basmakalıp yazılımlar, baştan itibaren bunun tersi istikamette işler. Abartısız milyonlarca minik ayrıntı, ki her birinin doğru olması önemlidir, gördüğünüz toplam etkiyi oluşturmak üzere birleşir.

Soruna yanlış yönden yaklaşmanın yanı sıra, yukarda betimlenen ayrıntı miktarı meselesi de mevcut. Yazılımlar aşağıdan yukarıya doğru inşa edildiği için, YZ programı inşa etmek, genom benzeri yoğun, genel geçer bir tarifle işe koyulmak yerine sinir hücrelerini tek tek ekleyerek beyin inşa etmeye benziyor. Bu bakış açısından, olgun insan beyni genel geçer tariflerden çok ama çok daha karmaşıktır; belki bir milyon kat daha karmaşık. Bu karmaşıklık nereden kaynaklanıyor?

Bu durumun en güzel tarifi beynin otojenöz olmasıdır: Hem asıl talimatlara hem de duyulardan gelen girdilere bel bağlayan kalıplarla gelişir. Büyür, öğrenir ve kendisini inşa eder.

Başka bir deyişle, YZ programı şifrelerinin doğası ile beyni inşa eden genom şifrelerinin doğası arasında öze dair bir farklılık var (en ciddi, en soyut örneksemelerde bile): YZ, bilişsel görevler yapan bir programdır, fakat genom, bilişsel görevler yapacak makineyi inşa

eden programdır. Ya da bilişsel görevler yapacak makineleri inşa eden bir makine yapmanın programıdır.

GELENEKSEL OLMAYAN YZ

1960'larda simgesel YZ ivme kazanmışken, biyolojiden ilham alınmış sayısız seçenek arkada bırakılmıştır. Sibernetiğin yanı sıra, sinir hücresi ağları ve genetik algoritmalar da bu seçeneklere dahildir.[8] Katışıksız simgesel sistemler 1980'lerde üst sınırlarına ulaşmaya başladığında, öteki yaklaşımlar yeni bir rağbet ve inceleme dalgasına maruz kalmanın keyfini çıkarmıştır. 1990'larda ortaya çıkmaya başlayan işlem gücünün kazandırdığı yeni ufuklar düşünüldüğünde, bu yöntemler harika çözüm seçenekleri teşkil etmiştir.[9]

Bu yöntemlerin ayrıntıları elinizdeki kitap için önemli değil; pek çok yöntem var ve her birinin pek çok varyasyonu bulunuyor. Ortak noktaları, kurallı yaklaşımların kırılganlığından yoksun olmaları, fakat karmaşık büyük sorunlarla başa çıkma becerileri de yok. Geleneksel olmayan yaklaşımların özelliklerinden biri, yerine getirmeleri beklenen işlevleri öğrenmeleridir; bu bir üstünlüktür, fakat aynı sebeple bol bol alıştırma verisine ihtiyaç duyarlar ki bu da ayak bağı olabilir.

Yeri gelmişken belirtelim, biyolojik (ve fiziksel vesaire) örneksemelerden türetilen ve işe yarayan yöntemlerin düpedüz daha istatistiki bir modele indirgenecek şekilde tahlil edilebileceği anlaşılmıştır. Örneğin sinir hücreleri ağları, biyolojiden ilham almış "geri yayılım" algoritmasından ziyade ODE (*ordinary differential equation*; sıradan diferansiyel denklem) çözücüler kullanılarak daha verimli şekilde eğitilebilir.[10] Robot seyrüseferi için *Bayes doluluk ızgarası* (*Bayesian occupancy grid*) gibi yöntemler başlangıçta bir istatistik temeli benim-

---

[8] John Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975); Marvin Minsky ve Seymourt Papert, *Perceptrons* (Cambridge, MA: MIT Press, 1969).

[9] Örneğin bkz. Moshe Sipper, *Machine Nature: The Coming Age of Bioinspired Computing* (New York: McGraw-Hill, 2002).

[10] Sholom Weiss ve Casimir Kulikowski, *Computer Systems That Learn* (San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1991), s. 108-10. "Geri yayılım" yöntemi, düzeltmelerin şebekeye sızmasına izin verip yavaş yavaş her sinir hücresini ayarlamayı içerir.

ser (belki de sinir haritalarından ilham alınmıştır), fakat aynı güçlü yanları ve zayıflıkları barındırdıkları için aşağı yukarı aynı hissi verirler.[11]

Elbette ihtiyaç duyulan şey bu teknikleri öyle birleştirmektir ki biyolojiden esinlenmiş yaklaşımların esnekliği ve öğrenme becerisi, simgesel yaklaşımların yapılandırılmış karmaşıklığına eklenebilsin (YZ uygulayıcıları bunu on yıllardır biliyor). Bunu çeşitli yollarla gerçekleştirmek için pek çok girişimde bulunulmuştur.

En ilginçlerinden biri, Douglas Hofstadter'in Indiana Üniversitesi'ndeki ekibi tarafından üretilen bir dizi programdı. En ünlüsü Melanie Mitchell'in Copycat'idir.[12] Copycat, harf dizgeli örnekseme problemlerini çözen bir programdı. (Örneğin, eğer ABC, ABD oluyorsa, PQR ne olur?) Copycat'in hedefi, düz algoritmalı simgesel tekniklerden esnekliği (araştırma ekibinin ifadesiyle "akıcılık") bakımından farklılık gösteren teknikleri keşfetmekti.

Copycat'in yaptığı işin özü, yorumlayıcı bir yapı inşa etmekti, tıpkı klasik simgesel YZ programları gibi, fakat biyolojik modeli temel alan olasılıksal bir yöntem kullanıyordu: Hücrelerin iç işleyişi örnek alınmıştı. Başka bir deyişle Copycat kendi içinde, difüzyonlu bir taşımacılık ve montaj yönteminin yazılım versiyonu gibi çalışıyordu. Dolayısıyla Copycat, kendi mikro sahası dahilinde, YZ'nin ihtiyaç duyduğu simgesel karmaşıklık ile esnekliğin birleşimine sahipti.

SHRDLU gibi Copycat de, bilişimin önemli bir yapıtaşını aydınlatır. SHRDLU'da anlama yetisi, bir modelin fonksiyonu olarak söz konusuydu. Copycat'te bu yeti, örneksemeli dördün (*analogical quadrature*) dediğimiz genel bir işlemdir. Copycat problemleri, çoğunlukla IQ testlerinde gördüğünüz benzeşim problemleri gibidir. Mesele, iki olay arasında bir benzeşim kurup bir tanesinin dönüşümünün benzeşimi üzerinden ötekinin dönüşümünü uygun bir şekilde gerçekleştirmektir. Şimdiye kadar hiç kimse bunu yazmamışsa da, sanayi gücü ölçekli bir Copycat versiyonu tahayyül edebiliriz; bu versiyon, Copycat'in harf dizilerine getirdiği aynı öngörüyle, esneklikle ve rastgele yaratıcılıkla, örneksemeli dördün işlemini gerçekleştirebilir; ama

---

[11] Hans Moravec, *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind* (New York: Oxford University Press, 1999), s. 32-40. Moravec'in robotları harita yapar ve haritadaki her nokta için, aldıkları sensör girdilerine göre orada bir nesne olması ihtimalini hesaplarlar.

[12] Melanie Mitchell, *Analogy-Making as Perception: A Computer Model* (Cambridge, MA: MIT Press, 1993).

bu işlemi nesneleri, koşulları, eylemleri ve hadiseleri betimleyebilen tam teşekküllü modelleme dillerindeki veri yapılarına uygular.

Copycat'in SHRDLU'yla bir benzerliği de, maalesef kendi yeteneklerini öğrenemeyişidir; itinayla ayarlanıp şifrelenmiş tüm bilgi deposu, programı yaratan insan tarafından belirlenmiştir. Ancak, bu durum yaptığı işin değerini azaltmaz; derin sorunların hâlâ çözülmediğini unutmayalım diye söylüyorum.

SİMGESEL SERVO

YZ'nin doğduğu günlerde, bu alanın kurucularından ikisi, Allen Newell ile Herbert Simon, çığır açan ilk programlardan birini, GSÇ'yi (Genel Sorun Çözücü, General Problem Solver, GPS) yarattılar. GSÇ'ye mevcut durumun ve hedefin bir betimlemesi (ebette üst düzey simgesel bir dilde) verilir; elinde olası eylemlerin bir listesi bulunan GSÇ, mevcut durum ile hedef arasındaki farkı en çok azaltacak eylemi seçer ve yeni durumdan itibaren bu işlemi tekrarlar. YZ'nin kurucularından John McCarthy'nin GSÇ'yi ilk gördüğü zaman, "Bak sen, bu bir simgesel servo!" dediği anlatılır. (Bu hikâyeyi Marvin Minsky'nin anlattığını söyleyip YZ panteonunu tamamlayalım.)[13] Servo, yukarda betimlediğimiz sibernetikle bağlantılı bir geri bildirimli denetim döngüsüdür. GSÇ, herhangi bir simgesel YZ sistemi kadar iyi çalışır; torunları arasında, şimdiye kadar üretilmiş en başarılı genel-amaçlı klasik YZ sistemi olan Soar da var. Sinir sisteminde alt seviyelerin, bildik servolar gibi hareket ettiği aşikar. Bilişsel yetilerin üst basamaklarında olan bitenler arasında, GSÇ'nin (ya da Soar'ın) simgesel yönlendirmesi gibi bir olayın gerçekleştiği de açık. Bu boşluğu dolduran bir köprü bulsak ne olurdu acaba? Sibernetik ve nörofizyolojinin akla getirdiği üzere, geri bildirim döngülerinden meydana gelen karmaşık bir hiyerarşinin teşkil ettiği bir zihin mimarisi tahayyül edebiliriz, fakat söz konusu mimari, simgesel işleri yapma becerisini de içerir ki normalde bu becerinin eksikliği bu seviyedeki kuramların hep zayıflığı olmuştur.

Elimizde olası bir aday var. Bu aday, örneksemeli dördün işlevini ve "sanayi gücünde Copycat'i" temel alır. Buna sigma servo ya da kısaca sigma denir; sigma kelimesi koşul, hedef, bellek, eylem sözcüklerinin (*SItuation, Goal, Memory, Action*) baş harflerinden oluş-

---

[13] AAAI Güz Sempozyumunda bizzat yazar tarafından duyulmuştur; 2-4 Kasım 2001, North Falmouth, MA.

turulmuştur. Sigmanın, küçük bir beyin öbeğine gömülü olduğunu hayal edin (beyin, karmaşık etkileşimi olan bunun gibi pek çok öbek katmanından meydana gelir). Girdi olarak duyu sinyalleri alır; muhtemelen duyu organlarına doğrudan bağlıdır; bu sinyaller bol bol yorumlanır, fakat her halükârda belirli bir durumu tanımlasın diye alınan sinyallerdir. Sigma hiyerarşisinde sinir hücresi sinyalleri üst kesimden gelir; bunlar hedef olarak düşünülebilir. Ayrıca, dışarı verilen birtakım sinyaller yaratabilir; bunları da eylemleri olarak düşünebiliriz. Geçmiş eylemlerine dair bir belleği de var; bu bellek, üçlü bir yapı olarak örgütlenir; bu üçlü yapıyı koşul, eylem ve her eylemden sonra oluşan, sonuç dediğimiz yeni vaziyet teşkil eder.

Şimdi sigma örneksemeli dördünün gerçekleştirdiği aşağıdaki işlem:

[vaziyet, bellekte kayıtlı sonuç], [bellekte muhatabı olan eylem]'e eşlenir

tıpkı

[mevcut vaziyet, hedef]'in, [yeni eylem]'e eşleşmesi gibi

mevcut girdiler ve hatırlanan her üçlü arasında vuku bulur. Toplamda hedefe en çok uyan (ya da yakın ıskalardan bir ara değer çıkarır) seçeneği alır ve yeni eylemi hayata geçirir. (Daha gelişmiş bir versiyonunda, madalyonun bir de itici yüzü var; acı hatıraları olan sonuçlar ve bunlara uyan eylemler bastırılır.)

Artık sigma servonun işlem gördüğü düzey tamamen geneldir. Kendi belleği vardır ve kendi dilinde yazılmaktadır. Eğer vaziyetler ve eylemler basit rakamlarsa, dördün, bir iç değerlendirme ortaya çıkarmak üzere çalışır ve servo, orantılı denetim görevi üstlenir. Genelde bu, mesela tek kası denetleyecek kadar incelikli bir sistemdir. Bu örnekte ve genelde daha üst düzey örneklerde, mevcut vaziyete tarih oluşturma ve hatırlama mekanizmaları da eklenmiştir.

Sigma servonun alt seviyelerde yaptığı işlemlerin kesintisiz olabileceğini belirtmek gerekir. Girdi sinyali zamanla değiştikçe, çıktı da değişir. Sigmanın seviyesi ne kadar yükselir ve ne kadar simgeselleşirse, o ölçüde kesintili sıçrayışlar ortaya çıkmalıdır, ta ki sonlu makine benzeri bir şeye ulaşılana kadar. Bugünün önde gelen iki robotbilimcisinin, Albus'un ve Brooks'un, sonlu makinelerin hiyerarşik geri bildirim şebekeleri olan bilişsel mimarileri beğendiklerini unutmayalım.

Hayli soyut, yapılandırılmış, simgesel belleklerle birlikte sig-

ma servo, YZ tipi bir işleme motoruna dönüşür. Aslında bu durum, Minsky'nin çerçeve dediği şeye epey benzer.[14] İşlenen ve hatırlanan sinyal türlerinin çeşitliliği ise servonun çeşit çeşit göreve uyum göstermesini mümkün kılar. Dahası, sadece bir tane servo yoktur, bunların karmaşık bir şebekesi söz konusudur ve bazı servolar için vaziyetin anlamı, başka servoların yaptığı işin betimlemesidir; eylemleri, ötekilerin hedeflerini belirlemekten ve/veya birbirlerinin sonuçlarını tanımlamaktan meydana gelir.

Son bir nokta: Bellekteki üçlüler, bilhassa yüksek seviyelerde, kişinin sadece şahsi tecrübelerinden değil başkalarını izlemekten (dördün bunları tercüme eder, böylece kişi kendisine uygulayabilir), hikâyeler dinlemekten (en iyi hikâyeler, dinleyicinin tanımlayabileceği bir şahsiyet hakkındaki nedensel zincirleme üçlülerdir), hatta hayal gücünde modeller çalıştırmaktan, yani Karl Popper'ın harika ifadesiyle "bizim yerimize kuramlarımızın ölmesine izin vermekten" de doğar.

DÜŞÜNCENİN GÜCÜ

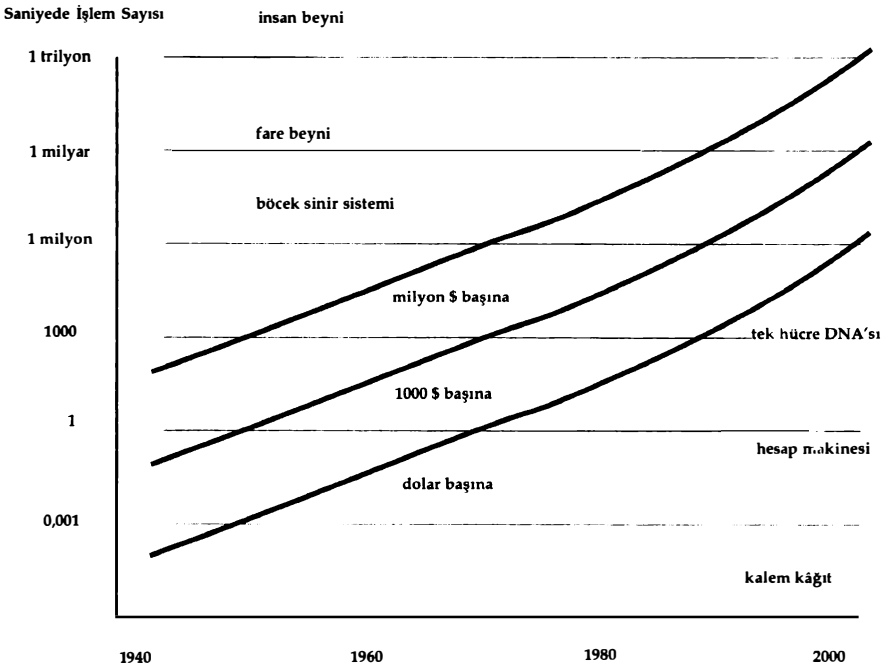
Bir dakika bekle diyebilirsiniz. Sigma, Mitchell'in tüm doktora tezi programına eşdeğer olan bu karmaşık işlemi her seferinde tek bellek için mi yapıyor? Bu, bir sürü faydasız hesap yapmamıza yol açmaz mı? (Yeri gelmişken, bütün belleği kullanan bu teknik ya da bir benzeri, YZ'de kullanıldığı zaman, buna vaka temelli uslamlama denir.)

Bazı örnekler için evet; fakat kimileri için genelliğin ve esnekliğin bedeli budur. Bunun yanı sıra, beyin, von Neumann bilgisayarının mimarisine benzemez, yani bir yanda faal bir işlemcisi, öte yanda dosyalama bürosu gibi çalışan edilgen bir belleği var diyemeyiz; bellekler, işlemi yapan sinir hücrelerinin içindedir, gerçi hangi biçimde depolandıklarını bilmiyoruz, fakat yanıt kısaca şudur: "Bütünü bir işlemcidir." Dahası, belleklerin belirli bir şekilde eşleştirileceğini bildikten sonra, eşleştirme işinin makul eşleşmelere en yakın bellekler üzerinde yapılmasını sağlayacak şekilde bellekleri bir dizine yerleştirmek, özel bir programlama marifeti gerektirmez.

Yanıtın daha ilginç öteki kısmı, içeri bellek yerleştirmenin, evrak klasörüne dosya tıkıştırmaya da benzemeyişidir. Bellekler pekiştirilmezse, zamanla silikleşir. Yeterince benzeşen bellekler bir genelle-

---

[14] Marvin Minsky, *The Society of Mind* (New York: Simon & Schuster, 1985), s. 245.



Şekil 23 Moore Yasası. Belki 5 milyon dolara, belki 50 milyon dolara gelir ama, hesap bakımından insan beyninin bir eşini yapmak artık mümkün. Yine de yazılım üzerinde biraz daha çalışılması gerekir.

me oluşturacak şekilde kaynaşır.[15] (Pek çok amaç için uzmanlaşmış birçok sigma olduğu için, belleklerin bazılarında kaynaşıp genelleşeceğine bazılarında ise kaynaşmayacağına dikkat edilmesi gerekir. Denge denetiminizle ilgili olanlar, attığınız tüm adımları hoş, düzgün bir model olarak kaynaştırmıştır, fakat başka bir yerde, diplomanızı almak için podyuma çıkarken attığınız adımlar ayrıca saklanır.)

Bu noktada elbette nanoteknoloji ve Moore Yasası devreye giriyor. Beynin işlem gücü, sinir hücresi başına saniyede bir milyon işlem çarpı on milyar sinir hücresi olarak tahmin edilir. Havalı programcılık numaraları kullanarak bu rakamı yüz ila bin kat aşağı çekebiliriz, fakat muhtemelen daha fazla değil. Yani, tam teşekküllü bir YZ'yi çalıştırmak için günümüzün en ileri PC'lerinden en az bin,

---

[15] David Gelernter, *The Muse in the Machine: Computerizing the Poetry of Human Thought* (New York: Free Press, 1994), s. 131-36.

muhtemelen on bin adet gerekir.[16] Şimdi, tüm bu hesaplamanın neler yapıyor olabileceği hakkında bir fikrimiz var.

Bazı bilimsel ve ticari bilgisayar sistemlerinin daha şimdiden bu tür bir işlem gücü olduğunu belirtelim. Elbette bunların fiyatı on milyonlarca dolar. Moore Yasasına göre, yirmi beş sene içinde bu güçte bir bilgisayar masanıza bin dolara gelecek.

Gerçi, YZ'nin boy göstermesi için o kadar uzun bekleyeceğinizi düşünmeyin. Eğer bugünün maaşlarıyla üst düzey bir mühendisin ya da müdürün yerine yirmi dört saat çalışıp hiç tatile gitmeyen on milyon dolarlık bir makine almak mümkün olsaydı, bu makineyi o mevkiye getirmek hesaplı olurdu. Bugün itibariyle donanım elimizde; eksik olan öğe, program. Bu alandaki genel ilerleme hızına bakarsak, insana eşdeğer iş çıkaracak makineler on yıl içinde ortaya çıkmazsa epey şaşıracağımı söyleyebilirim. O aşamada, bugünün on milyon dolarlık sistemi 175.000 dolara gelecek.

Diyelim ki evinizi satıp bu makineden bir tane alıyorsunuz? Onunla ne yapabilirsiniz? İster mimarlık ister işletmecilik olsun, eğer işiniz bilgiye dayalıysa, makine işinizi sizin yerinize yapar (doğru yere yerleştirilmiş bir avuç kamera ve hoparlör yardımıyla). Diyelim ki işiniz YZ yazılımı yazmak. YZ'niz, sizden yardım almadan kendisinin daha ileri bir sürümünü yazabilir. Daha ileri sürümün iki anlamı olabilir ki çoğunlukla iki anlamı da kast edilir: Ya aynı donanımla daha hızlı çalışabilir ve daha çok iş yapabilir ya da bunun bile ötesine geçmek için daha fazla donanımdan faydalanabilir. Her halükârda, artık sizden daha zekidir.

TEKİLLİK

Bir bölü on rakamının tersi ondur. Bir bölü yüzün tersi yüz, bir bölü binin tersi bin. Rakam sıfıra yaklaştıkça, tersi dik bir artış gösterir. Sıfırın tersi yoktur; sıfıra, işteş rakamların tekillik noktası denir.

Bilgisayar bilimcisi ve bilimkurgunun büyük ustası Vernor Vinge, gelecekte makine zekâsının çok dik artış göstereceği noktayı betimlemek için *tekillik* terimini kullanmıştır.[17] Bunun gerçek bir matema-

---

[16] Tahmin edebileceğiniz gibi, insan seviyesinde YZ için gereken işlem gücüne dair tahminler hatırı sayılır bir farklılık sergiler. Bana kalırsa, Moravec'in (*Mind Children and Robot* adlı kitabındaki) öngörüsü en akla yatkınıdır.

[17] Vernor Vinge, *The Coming Technological Singularity: How To Survive in the Post-Human Era*, http://www-rohan.sdsu.edu/faculty/vinge/misc/singularity.html.

tiksel tekillik olmaması muhtemel; matematiksel tekillik, belirli bir tarihten önce ilerlemenin hudutsuz bir şekilde gerçekleşeceğini akla getirirdi. Ancak, gelecekte makine zekâsının biz insanların ayak uyduramayacağı bir noktaya yükseleceği zamanı belirten genel bir terim olarak *tekillik*, teknoloji sevdalısı öncülerin arasında moda bir kelime statüsü kazanmıştır.

Evvela, makine zekâsı gerçekten bizimkini aşabilir mi? Değişik kuramlar mevcut: Diyelim ki insan zekâsı en elverişli noktada ve işlem gücünü yükseltmek, hızla azalan verim oranı yasasına takılacak. Komiteler, bu fikre kesinlikle itimat eder. Üstün insan zekâsını, hatta insan zekâsını nasıl örgütleyeceğimizi bilmediğimiz doğru; fakat bu alanda hızlı adımlar atılıyor, özellikle de insan ve hayvan zihinlerinin nasıl çalıştığını anlamak konusunda. Meseleyi tam olarak anladığımız zaman, en azından bir parça daha başarılı olabiliriz.

YZ'nin insanları aşabileceğinin başka bir göstergesi ise, şu an için bilgisayarların sahip olduğu becerilere YZ'nin alt düzey, içgüdüsel bir erişiminin olabilmesi, oysa insanların bu becerilerde zayıf kalmasıdır; örneğin kısmi diferansiyel denklemleri çözmek, milyarlarca öğesi bulunan veri tabanlarıyla başa çıkmak ve bu kitaptaki kelimeleri milisaniyede saymak gibi beceriler.

Artık mahallenin en zeki çocuğu değiliz diye hezimete mi uğradık, nal mı topladık, şanslıysak ev hayvanı mı olacağız ve sonuçta ruhumuz ezici bir darbe mi almış olacak?

Elbette hayır. Öncelikle, bu makineleri biz inşa ettik ve tüm başarılarından nineleri ve dedeleri gibi gurur duyabiliriz. (Umalım da ileride bizi gururlandırsınlar, yoksa suçlanmak da var!) Ayrıca, makineler gibi kendimizi geliştirme seçeneği de her zaman mevcut; bu, her halükârda yapmak istediğimiz bir şey.

Fakat bunun en temel sebebi, çoğumuzun zaten mahalledeki en zeki çocuk olmayışıdır. Her mahallede bunlardan sadece bir tane var. Deep Blue bilgisayarını satrançta yenemiyoruz diye kabuslar görmüyoruz; zaten Garry Kasparov'u da yenemeyiz. Üstelik hiçbirimiz bürokrasiyi de alt edemez.

Mutlakıyetlerden ve doğal, akıcı insan gruplarından ayrı olarak kulüp, cemiyet, lonca, kurum gibi yapay örgütlenmeler binlerce yıldır mevcut ve boyutları ile giriftliklerindeki artış tarihteki en açık eğilimlerden biridir. İlk genel YZ'nin, büyük şirketlerin karar mekanizmalarında boy göstermesi yüksek olasılık gibi görünüyor, çünkü o noktada böyle bir ihtiyaç bulunur ve şirketlerin gerekli kaynakları da var. Böyle bir makinenin emrinde çalışmak ya da onunla ticaret

yapmak, mevcut kağıt imalat makineleriyle uğraşmaktan pek farklı olmayacaktır. Fark olsa da iyi yönde olacaktır. Şirketler müşterilerinin tatmin olmasını, çalışanlarının da mutlu olmasını ister; yoksa ellerindeki mutsuz yetenekleri rakiplerine kaptırırlar.

YZ'nin önemli bir başka getirisi de, hiç olmadığı kadar karmaşık makineler ve sistemler tasarlamanın yine mümkün oluşudur. Şimdikilerden daha karmaşık, daha iyi çalışan ve daha güvenilir fakat yine de bedelini ödeyebildiğimiz sistemlerimizin olmasını beklemeliyiz.

Diyelim ki 2010 yılında belirli bir sistemin tasarım maliyeti 10 milyon dolar. Bunu insan ve YZ tasarımcıların maliyet bakımından eşdeğer olduğu bir zaman diye varsayalım; Moore Yasası oranları uyarınca YZ tasarımcılar gittikçe ucuzlayacak. Dolayısıyla, aynı sistemin tasarımı 2020 yılında 175.000 dolara gelir; 2030 yılında 3.000 dolar ve 2050 yılında en fazla 1 dolar olur. Aradaki bir tarihte, her aksamı tek tek tasarlamak hesaplı hale gelecektir, yani sadece o aksamı kullanacak birey için değil belirli bir kullanım türü için tasarım üretmek de hesaplı olacaktır. Kişiye özel tasarımlar yapmanın ötesinde, birinci kalite bir mühendislik ekibi yıllarca çalışıp sırf sizin o anki işinizde ihtiyaç duyduğunuz yepyeni bir makine türü icat etmiş gibi olacaktır.

Her seferinde yeni teknikler, komutlar ve marifetler öğrenmek zorunda kalsanız bununla başa çıkmak imkânsız olurdu. Fakat yeni cihaz hem YZ tarafından inşa edilmiştir hem de kendisi YZ barındırır. Yapması gereken işin uzmanıdır, fakat elinden sadece o iş gelmez; ayrıca sizi tanır, sizin çalışma ve etkileşim tarzınızı anlar ve alıştığınız arayüzlere aşinadır.

Phoenix'e tek başınıza yolculuk yapmak üzere araba garajınıza gittiğinizde karşılaşacağınız araba, ailece Nova Scotia'ya yolculuk yapacağınız zaman garajınızda bulacağınız arabadan bütünüyle farklı olacak. Her yolculuk için yeni bir araç icat etmek vur deyince öldürmek gibi görünebilir, fakat denetleyici Alet Sisi için, böyle bir uygulamanın nasıl kullanışlı olacağını gözden kaçırmayalım.



ON BEŞİNCİ BÖLÜM

BAŞINA BUYRUK EŞLEYİCİLER

Ateşle Oynamak

> Arthur ise hâlâ endişeliydi.
> "Peki, ama ona güvenebilir miyiz?" diye sordu.
> "Bana kalsa, ona dünyanın sonu gelene kadar güvenirdim," dedi Ford.
> "Ya, öyle mi," dedi Arthur, "peki dünyanın sonuna ne kadar kaldı?"
> "Yaklaşık on iki dakika kadar," dedi Ford, "haydi, bir içkiye ihtiyacım var."[1]
>
> Douglas Adams
> *Otostopçunun Galaksi Rehberi*

Yirmi birinci yüzyılda bir ara, birileri dünyanın atmosferine bir havacıl (*aerovore*) salacak. "Belki salacak" demediğime dikkatinizi çekerim; ne önlem alınırsa alınsın, bunun gerçekleşeceğine eminim.

Çoğu insanın bu beyana tepkisi, "havacıl ne ki?" olur.

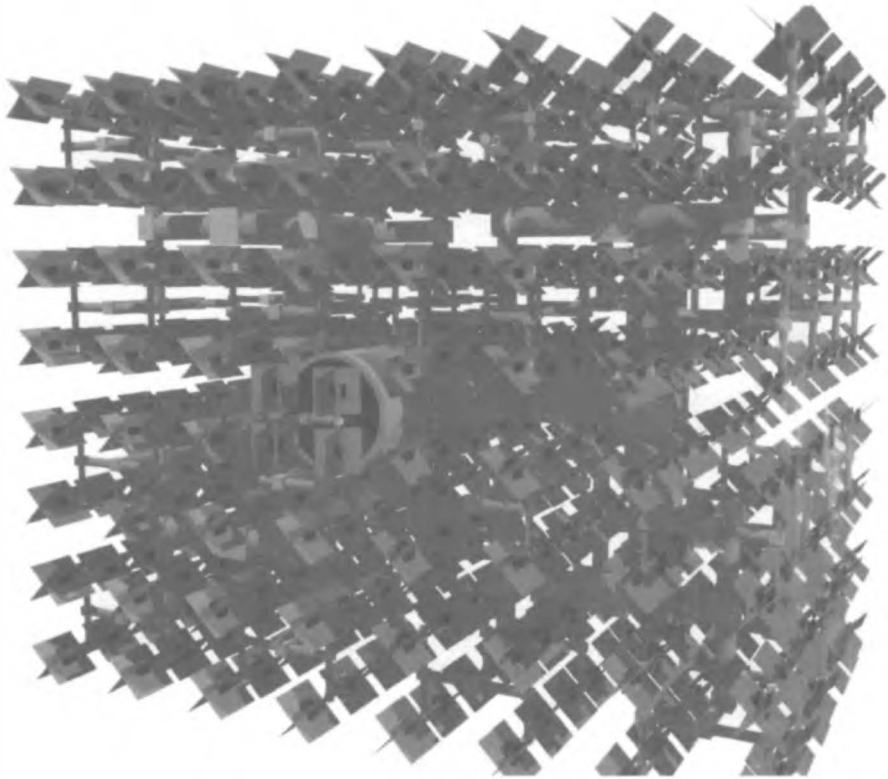
Havacıl, dünyanın sonu senaryolarına yaraşır bir kendini eşleyen nanomakine biçimi; doğal çevreden beslenir ve evreni mümkün mertebe kendi kopyalarıyla doldurmak için var olur.[2] *Havacıl* terimi, hava yiyen varlık anlamına geliyor.

Havayla beslenmek zor iş. Kayalardan derin deniz volkanlarına kadar dünyanın neredeyse her yerinde hayat yeşerir. Sadece havada yaşayan hiçbir doğal yaşam biçimi yoktur (yazarın bildiği kadarıyla),

---

[1] Alıntı: *Otostopçunun Galaksi Rehberi*, Nil Alt (çev.), Kabalcı Yayınevi, 2004, s. 28 —*çev. notu.*

[2] İlk betimlendiği yer: K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (New York: Anchor/Doubleday, 1984), s. 172. Teknik bakımdan ele alındığı yer: Robert A. Freitas Jr., *Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators*, http://www.foresight.org/NanoRev/Ecophagy.html.



Şekil 24 Havacıl. Sırf hava ve güneş ışığıyla beslenen havacıl, kendisini kopyalamaya başlıyor.

gerçi hava, oradan oraya uçuşan sporlardan ve mikroorganizmalardan geçilmez. Ancak nanoteknoloji, sadece havayla ve gün ışığıyla yaşamayı mümkün kılacak.

Havacıl aşağı yukarı şöyle çalışacak: Duman parçacığı gibi havada sürüklenir. Yapısı büyük oranda karbondan oluşur, karbonu da havadaki karbondioksitten (CO_2) ayırıp alır. Bu koparma işlemi için enerjiye ihtiyaç duyar, yani güneş enerjisi toplayıcıları barındırır. Güneş ışığı toplayıcıları yanlardan çıkan antenlere benzer, bu da onun minyatür bir siyah kar tanesi gibi görünmesini sağlar. (Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçüktür.) Güneş ışığını emebilsin diye siyah renkli olacak; güneş ışığının bir kısmı enerjiye çevrilir, geri kalanı etraftaki havayı ısıtır, cihazın havada asılı kalmasını sağlar. (Havacıl aynı zamanda hidrojen dolu bir balon içerebilir ya da bu balondan meydana gelebilir.)

Örneğin böyle bir cihaz kıyamet günü silahı olarak yaratılabilir. Amaç, tüm atmosferde havacılların çoğalması olabilir, yani nükleer kış etkisi yaratmak hedeflenebilir. Çevreci bir ekibin, sera etkisini ortadan kaldırmak ve küresel ısınmayı durdurmak için havacıl kullanmaya kalkışması ise başka bir seçenek. Bu iki saikten birine sahip insanların muazzam kaynaklara hâkim olabileceğine ve tek taraflı hareket etmekten pişmanlık duymayacağına dair bol bol delilimiz var.

Eğer atmosfere havacıl bırakılırsa ne olur? Muhtemelen pek bir şey olmaz. Havacıl, son derece optimize edilmiş, tam teşekküllü bir beşinci aşama nanomekanizması olmak zorunda. Nihayetinde, doğal yaşamın filizlenemediği bir ortamda yaşamaya çalışır. Işınlara karşı yeterince korunamayacak, dolayısıyla kozmik ışınlar onu haklamadan önce çoğalabilecek kadar küçük ve hızlı olmak zorunda. Atmosferde yükseklere çıktıkça daha fazla ışınıma maruz kalır. Düşük irtifada yaşarsa, yağmur alır götürür. Havacıl tasarımı, mühendislik bakımından yoğun bir kazanım-ödün ağı gibidir. Karbon ve hidrojeni ayrıştırmak için epey enerjiye gereksinim duyar, o yüzden bol bol güneş ışığı toplayıcısı olmalı. Elverişli tek karbondioksit molekülüne erişmek için üç bin oksijen, azot ve argon molekülünü elden geçirmek zorunda, dolayısıyla pek çok molekül tasnif mekanizması barındırmalı. Yavrularını mümkün mertebe hızlı bir şekilde üretmeli, o halde, inşaat mekanizmasını en baştan itibaren bünyesinde taşımalı. Tüm bunlar birer çatışma alanıdır ve düzgün bir şekilde dengelenmezlerse, havacılların doğru dürüst çoğalmama ihtimali hiç de az sayılmaz.

Dahası, sırf karbon, hidrojen, oksijen ve azot (kısaca CHON) atomlarından nanomakine inşa etmek zorlu bir kısıtlamadır. Şimdiye kadar benzetimlerde rastlanılan tüm çalışır aksam, sülfürden flora kadar başka elementler de içerir, dolayısıyla istediğiniz şekilleri yontmak için atom boyutunda daha kapsamlı alet takımları bulunur. Çeşitli mekanizmalar için metallere ihtiyaç duyacak olmamız muhtemel. Hücrelerinizdeki moleküler makineler çeşitli metallere eser miktarda gereksinim duyar. Hemoglobin molekülündeki demir buna bir örnek; demir sayesinde, molekülün oksijeni kavrayan cebinde uygun bir elektron dağılımı oluşur. Havacıl, moleküler tasnif rotorları aracılığıyla oksijen yakalayan ceplere ihtiyaç duyacak.

Ancak diyelim ki mühendislik doğrusunu buldu ve birileri çalışan bir havacıl üretti. O zaman ne olacak? Güneşi karartacaklar mı?

Öncelikle belirtmek gerekir ki havada o miktarda karbondioksit yok. Diyelim ki havacılın hacmi bir mikronküp ve on milyar karbon atomu içeriyor. Havacıl üretmek, karbon atomlarının, girdikleri asıl

biçimlere kıyasla sıkışması anlamına gelir; kapladığı hacim havada üç binde birken bir milyonda bire iner. (Bunların hepsi hacme göre oranıdır; ağırlık oranları değişmez.) Havanın bir milimetreküpünde üç bin havacıl olacak demektir bu.

Maalesef, güneş ışığı toplayıcıları, havacılın fiilî çapını beş mikrona çıkarır. Havadaki tüm karbondioksiti dönüştürseler, bir metreküp havada bulunan havacılların fiilî yüzey alanı dört yüz metrekare olur. Bu dokunun içinden güneş ışığı pek geçemez. Uzaydan bakıldığında, dünya kısa süre sonra mavi beyaz değil karanlık görünecektir. Işınların öldürdüğü havacıllar yüzeye siyah kar gibi lapa lapa yağar. Bitki örtüsü ise ölmeye başlar.

Elbette, havacıllar da bir çeşit bitki örtüsüdür. Yapaydır, doğru, fakat en az ağaçlar ya da otlar kadar güneş ışığına bağımlıdır. Dahası, besin kaynaklarını, yani uygun şekilde çalışabilecekleri en yüksek irtifadaki (alt irtifalar, üst kesimlerin gölgesinde kalır) karbondioksiti hızlıca tüketecekler. Karbondioksit seviyesinin düşük olduğu yerlerde havacıllar, ışınımın etkilerinden kaçacak kadar hızlı çoğalamaz ve ölür giderler. Uzun vadede, beslenme imkânları kalmadığı için soyları tükenebilir. Şimdiye kadar iklime etkisine dair ciddi bir benzetim yapan olmadı, çünkü bu aşamada havacılların parametreleri öngörülemez durumdadır. Fakat karbondioksiti tüketip büyük oranda ölmeleri olasıdır, böylece dünyayı yeni bir buz çağına itebilirler. Ya da buz çağından sakınmak da olası, çünkü siyah havacıl karı, buzulların uzaya çok fazla güneş ışığı yansıtmasını engelleyebilir.

Gezegenlerin işi zor. Nükleer kışlar, davetsiz buzul çağları, isli gökler; mümkünse bunlardan kaçınmak en iyisi. Havacılların, her türlü bitki örtüsü gibi, bir kaynak olduğu açık. Yeşil bitkiler gibi işin zor kısmını zaten yapmış olacaklar, bizim sadece sıkıştırılmış karbon olarak sakladıkları yakıtı hasat etmemiz gerekir. Toprakta kömür madenleri kazmak yerine, havada büyük elekler uçurup bu malzemeyi toplamak yeterli. Nano mühendislik ürünü bir biçme makinesi, uzaktan futbol sahası büyüklüğünde bir tülbent bez gibi görünebilir; bu cihaz, gökyüzünü süpürerek âdeta havada yüzecektir. (Aslında yerden görünemeyecek.) Bu tür bir göksüpürgesi, emanetin bir kısmını kendisine enerji sağlamak için yakar, gerisini de yerdeki yakıt toplama depolarına gönderir. Havacılların aksine, göksüpürgeleri geceleri de çalışabilir.

Buna ilaveten, yoğun havacıl dumanları, içinden geçen uçaklara yakıt sağlayabilir, fakat havacılların bu kadar yoğunlaşmasını istemeyiz; yoksa yukarda değinilen tüm kötü etkiler ortaya çıkar.

Havacıllar ister yaratılsın ister yaratılmasın, göksüpürgesi iyi bir fikir. Gök, her türlü vıcık vıcık maddeyle dolu. 1950'ye kıyasla günümüzde yeryüzüne yüzde on daha az güneş ışığının eriştiğini duymak sizi belki şaşırtır.[3] Bu duruma sebep olan pusun bir kısmı sanayi atıklarından geliyor, fakat daha fazlası biyokütle yakma kaynaklı, örneğin (yoğun nüfuslu) sanayileşmemiş ülkelerde ana enerji kaynağını teşkil eden odun ve tezek yakılmasından. Bu yapışkan madde nereden gelirse gelsin, havayı temizlemek mümkün. Eğer atmosferi temizlersek, havacılların güneş ışığını yüzde on oranında bloke etmesini sineye çekebilir, yine de bugünle aynı miktarda güneş ışığı alabiliriz. Bundan iyisi, havayı tümüyle temiz tutmak olurdu.

BİYOCUL NANOEŞLEYİCİLER

Makinelerin dünyayı ele geçirmesine dair senaryolar çoğunlukla, biyosferle beslenen mekanik bakteriler biçiminde hayal edilmiştir. Macera romanı yazarları genelde bu tür nanoeşleyicilerin bakterilerden daha açgözlü olacağını tahayyül eder; uzun metrajlı bir filmin süresinde biyosferi gri bir balçığa (bu tip senaryoların gri balçık diye nitelenmesinin sebebi bu) dönüştürebileceklerini düşünürler.

Öte yandan, başka yorumcular ise bu tür eşleyicilerin mümkün olabileceği fikrini küçümser.[4] Herhalde bakterilerden haberleri yok. Fakat elbette bakterilerin varlığı, tehdit oluşturmak konusunda bakterilerden daha etkili bir varlığın var olma ihtimalini kanıtlamaz.

Kuşlar uçar. Aynı ilkelerle çalışan fakat daha hızlı uçan makineler yapabiliriz. Yine de uçaklarımız bazı bakımlardan kuşlardan aşağıdır. Uçaklar, esaslı bir destek altyapısına ihtiyaç duyar; kuşlar ise her türlü yerde etkinlik gösterir. Uçaklar özel, hayli rafine yakıta gereksinim duyar ve özel, epey işlenmiş malzemelerden inşa edilir; kuşlar bu ikisini doğal çevrelerinden kendi çabalarıyla elde eder. Kuşlar kendilerini iyileştirir, kendi kendilerine ürerler. Kendi yakıtını çıkartıp rafine eden, kendi alüminyumunu kazıyıp çıkartarak döküp, şekillendiren, kendi bünyesinde onarım işliği barındıran, ayrıca yeni

---

[3] Bkz. http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=000C3AAE-D82A-10F9-975883414B7F0000 ya da internette Global Dimming [Küresel Kararma] hakkında araştırma yapınız.

[4] Bu ilk defa yazıldığında, Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifinin internet sitesi, http://www.nano.gov/, sık sorulanlar köşesinde böyle bir iddia ileri sürmüştü, fakat fikrini değiştirdiği gözüküyor.

uçaklar imal eden bir uçak yapmaya çalışsanız, bu uçağın bir kuştan daha hızlı uçacağı şüpheli. Aslında, muhtemelen yerden havalanamaz bile.

Fakat bakteriler de kendilerini alakasız maddelerden inşa edebilir ve bunları yakıt olarak kullanabilirler. Büyürler, kendilerini onarırlar, çoğalırlar. Bunu da epey yüksek bir verimle yaparlar.

Öte yandan nanomakineler daha çok uçaklar gibi olacak. İşlenmesi gereken malzemelerden imal edilecek ve özel hazırlanmış yakıtlardan ve besinlerden faydalanacaklar. Yaşamın mekanizmalarına kıyasla daha yüksek enerjili tepkimeleri kullanacak ve daha hızlı etkinlik gösterecekler. Bakterilerden daha hızlı olacaklar, tıpkı uçakların kuşlardan hızlı oluşu gibi. Fakat aynı sebeplerden ötürü aynı dezavantajlara sahip olacaklar.

Romancılar, kuşlarla uçakları bir araya getirip solucanlarla beslenen ve ses hızında uçan bir yaratık hayal edebilir. Aynı zamanda romancılar, bakterilerle nanomakineleri aynı potada eritip her şeyle beslenebilen ve kök saldığımız ortamı yiyip bitiren fevkalade hızlı nanoeşleyiciler düşleyebilir. Fakat her iki durumda da böyle bir hayvan olamaz.

DEVEKUŞU STRATEJİSİ

Bu öngörüyü okuyan kimi insanların, nanoteknoloji hiç geliştirilmese daha iyi olur yollu ani bir tepki vereceği kesin. Bazıları bu fikri kamuoyu önünde şimdiden savunuyor. Bu insanlar, nanoteknolojinin geliştirilmesini imkânsız hale getirecek yasaların çıkarılmasını nasıl da ister.

Aynı zihniyetle daha önce de karşılaştık. 1897'de Indiana Temsilciler Meclisinde 246 numaralı kanun tasarısı, pi sayısının değerinin o andan itibaren asıl irrasyonel değerini almayacağını, çemberin çevresinin hesaplanmasına, alanının bulunmasına ya da trigonometri işlemlerinin yapılmasına göre üç rasyonel değerden birini alacağını beyan etmişti. Indiana'lıların şansına bu yasa taslağı eyalet senatosundan geçmedi.[5]

Nanoteknoloji için de benzer girişimlere kalkışılması muhtemel. Bugünün yasa yapıcıları, bilim bakımından on dokuzuncu yüzyıldaki muadillerinden daha parlak değil. Örneğin, Avrupa Parlamentosu'nda

---

[5] Bkz. "The Indiana Pi Bill," http://www.agecon.purdue.edu/crd/Localgov/Second Level pages/indian_pi_bill.htm.

güneydoğu İngiltere temsilcisi ve Yeşil Parti mensubu Caroline Lucas, "nanoteknolojinin ticari değeri, fizik yasalarının hükmünün molekül seviyesinde geçmemesinden kaynaklanır," açıklamasını yapmıştır.[6]

Gerçeklikle daha fazla teması olan aktivistler ve siyasetçiler, içten içe nanoteknolojinin mümkün olduğunu kabul etseler de, insanların nanoteknolojiyi geliştirmesini ya da hayata geçirmesini engellemek için muhtemelen sırtlarını yasalara dayayacaklar. Yani, ilk önce nanoteknoloji üzerinde çalıştığını duyuran kişileri durduracaklar. Böylece dillere pelesenk olmuş bu kelimeye artık bulaşılmayacak, çünkü kimya, yüzey fiziği, kaplama malzemeleri ya da malzeme bilimi üzerinde çalışıp son on yıldır yaptıkları işe nanoteknoloji diyenler, araştırmalarını tekrar kimya, yüzey fiziği, kaplama malzemeleri ya da malzeme fiziği diye niteleyecek. Sonra, yasaların bu insanlara göz açtırmaması, ayrıca yarattıkları bilgiyi bir şekilde silmesi gerekecek. Keza, nanoteknolojiye doğru en kestirme yollardan biri olan biyoteknolojinin de durdurulması gerekecek: Ürün satışının engellenmesiyle yetinilmeyecek, mevcut bilgiler de karartılacak. Son olarak, yüksek hassasiyetli makine ve saat imalatını yasa dışı kapsamına almak gerekecek, çünkü Feynman'ın ileri sürdüğü özgün yol bu dallardan geçer. Aslında, kendi kulvarında yol alan çoğu teknolojik ilerlemeyi durdurmak mecburidir, çünkü hassasiyet, denetim ya da kimyasal sentez alanlarındaki her türlü gelişme nanoteknolojiye doğru atılmış bir adımdır.

Bak bakalım, diyecekler, nükleer teknolojiyle bunu yaptık. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Amerika'da nükleer teknoloji "sır olarak doğmuştur." Mümkün mertebe en katı düzenlemelerle, nükleer teknolojinin ilerlemesi fiilen bastırılmıştır; örneğin, bazı durumlarda bilimsel bilgiyi paylaşmanın cezası ölüm olarak yasalaştırılmıştır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında yeşeren öbür teknolojilerle kıyaslandığında, nükleer teknoloji yerinde sayıyor diyebiliriz. Dünya çapındaki önlemler nükleer silahların çoğalmasını engelliyor ve önceden nükleer teknolojisi olmayan ulusların bu teknolojiyle ilgili herhangi bir gelişme kaydetmesine kaygıyla bakılıyor.

Yine de nükleer silahlar bir şekilde çoğalmıştır. Nükleer teknolojinin hayli çetin olduğunu belirtmekte yarar var. Hangi yoldan giderseniz gidin uranyumdan geçmek zorunda. Uranyum nadir bulunur,

---

[6] Caroline Lucas, "We Must Not Be Blinded by Science," *Guardian*'da başmakale, 12 Haziran, 2003, http://www.guardian.co.uk/comment/story/0,3604,975427,00.html.

üzerinde çalışması zahmetlidir, tespit edilmesi kolaydır; üstelik tonlarcası gerekir. Kısıtlamalar olmasa bile, nükleer teknoloji devletlerin ve büyük şirketlerin borusunun öttüğü bir alan olurdu.

Öte yandan, eğer biyoteknolojinin açtığı yoldan ilerlerseniz, nanoteknoloji, burnunuzun dibinde duran bakterilerle de hayata geçirilebilir. Seçilebilecek yüzlerce yol var. Mevcut bilgiler dahilinde, nanoteknoloji geliştirmek için gerekli olan çabanın ebadı, sıradan devlet üniversitelerinin bilim yönelimli bölümlerinin ebadı kadardır ve bu ebat her geçen gün daha da küçülüyor.

Dahası, nanoteknoloji piyasası nükleer silah piyasasından çok daha büyük. Yine belirtelim; nükleer silahların maliyetini ancak devletler karşılayabilir, fakat neredeyse herkes nanotek ürünlerden faydalanabilir. Kanser tedavisi isteyen var mı? Ömrünün uzamasını? Zekâ artırıcı, yağ azaltıcı, AIDS engelleyici mamul isteyen?

Başka bir büyük fark ise, ekonomik öneme sahip mevcut pek çok alanın gelişimini engellemeye gerek kalmadan nükleer teknolojide frene basılabilmesidir. Nükleer ıvır zıvırın dünyası, sıradan maddelerin etkinlik gösterdiği dünyadan ayrı. Fakat yaşamın kendisi nanoteknolojiye çıkan ana yollardan biridir; örneğin tıp, kendimizi ve çevremizi anlamak gibi uğraşlar nanoteknolojiyle yakından ilişkili olabilir. Makine mühendisliği de bu yollardan biri. Katalitik kimya, malzeme bilimi, mikroçip imalatı: Bugünün standart ürünlerinin tüm teknik altyapısı, içinden geçmek için pek çok yolun tercih edilebileceği bir fundalık meydana getiriyor.

Eğer nanoteknolojinin gelişimini sekteye uğratmak için genel yasalar çıkartılırsa, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve neredeyse her ülkede askeriye bu yasalardan muaf olacak ve nanoteknolojiyi her halükârda geliştirecek. Örgütlü suç, çeşitli uluslararası uyuşturucu kartelleri, muhtemelen bazı çevre grupları da nanoteknolojiye el atacak.[7] Teknoloji karşıtı hareketler, öteki teknolojiler gibi nanoteknolo-

[7] FBI'ın Yurtiçi Terörizm Şube Başkanı James F. Jarboe'nin Kongreye sunduğu "Eko-Terörizm Tehdidi" başlıklı ifadesine bakalım (http://www.fbi.gov.congress/congress02/jarboe021202.htm): Son birkaç yılda, Hayvanlara Özgürlük Cephesi (ALF) ve Dünya Özgürlük Cephesi'nin (ELF) tanımladıkları şekliyle özel menfaat aşırılıkları, ciddi bir terörizm tehdidi olarak ortaya çıkmıştır." Sci.nanotech listesinin moderatörü olarak, fark edilen çevre sorunlarını düzeltmek için tek taraflı olarak eşleyicileri doğaya salmak isteyen eğitimli, ciddi ve normalde sorumlu insanların hevesi beni hayrete düşürmüştü.

yi de kötülemek için uğraşacak, fakat, 120 yaşını geçmiş senatörlerin koltuklarını hâlâ bırakmadığını gören insanlar bu işin içinde bir bit-yeniği olduğunu sezecektir.

Belki de koca dünyayı Karanlık Çağa bir itmedikleri kalacak, fakat yine de fizik yasalarını gözlerden saklayamazsınız. Nanoteknoloji için gerekli olan temel fizik onlarca yıldır ders kitaplarında yer alıyor. Fikirler etrafta uçuşuyor ve nanoteknolojiye çıkan pek çok yol var. Meşru, açık, ileri bir teknoloji ne kadar kısıtlanırsa, insanlar o ölçüde başka seçeneklere bakar.

Eski bir deyişe göre, eğer devlet varoşlarda okuryazarlığı yükseltmeyi ve uyuşturucu bağımlılığını azaltmayı gerçekten isteseydi, bir Uyuşturucu Bakanlığı kurar ve Eğitim Savaşı ilan ederdi. 11 Eylül 2001 sonrası sıkılaşan havalimanı güvenlik önlemleri rastgele sınandığında, havalimanlarına sokulan silahların aşağı yukarı yarısının tespit edilemediği görüldü.[8] Devlet yasakları esasen bir güvenlik battaniyesidir ve sadece sahte bir güvenlik duygusu yaratırlar.[9]

Cinayet gibi eylemlerin aleyhinde olan yasalar az çok işe yarıyorsa, bunun sebebi neredeyse herkesin bu yasalarla hemfikir olması, sadece birkaç insanın bu yasaları delmeye çalışması ve yasayı çiğneyen bu insanların, eylemleri sonrasında çoğunlukla takip edilip yakalanmasıdır. "Sonrasında" kısmına dikkat edin.

Yasaklı bir maddeyi isteyen insan sayısı arttıkça, o maddenin karaborsası da o ölçüde büyür. Uyuşturucuyu durdurmak imkânsız, fakat nispeten az kişi uyuşturucu ister. Nanoteknolojinin sağlayacağı olanakları engellemek konusunda, içki yasağı kanunu daha doğru bir model oluşturabilir; yasa gündeme geldiğinde nüfusun büyük çoğunluğu içkiye talep gösteriyordu. Bu kanuna esasen gülünmüştür. Yine de bazı insanlar, teknolojik ilerlemenin ve bunun herkese sağladığı faydaların benzer kısıtlamalarla durdurulabileceğine inanıyor. Bu insanlar acı gerçeği inkâr ediyor diyebiliriz.

Nanoteknolojiyle birlikte, riskler yükselecek. Kendini eşleyen makinelerin oluşturduğu tehdit söz konusuyken, tüm dünyada, nanoteknolojiyi geliştirme yolunda başarısızlığa uğrayacak tek bir çaba, yasama ağının harekete geçmesi için yeterli. Bu gerçekleştiğinde, ha-

---

[8] Blake Morrison, "Weapons Slip Past Airport Security," *USA Today*, March 25, 2002, http://www.usatoday.com/news/sept11/2002/03/25/usatsecurity.htm.

[9] Bkz. Marcus J. Ranum, *The Myth of Homeland Security* (New York: Wiley, 2004), s. 78-82.

vacıllar ortaya çıkmış olacak, fakat göksüpürgelerinin geliştirilmesi engellenecek. Bu girilemeyecek kadar büyük bir risk. Aslında, bir risk değil, çünkü olacağı kesin: Eğer açık, hilesiz bir nanoteknolojinin gelişimi durdurulursa, hatta ciddi bir şekilde geciktirilirse, felaket kesin.

BOYA, SABUN VE ÇAMAŞIR MAKİNELERİ

Öte yandan, eğer nanoteknoloji her yerde eşit şekilde gelişirse, öyle ki, yerleşik düzenin nanoteknoloji yetenekleri korsan devletlerin ve korsan grupların yetenekleriyle genelde aynı seviyede olursa, büyük bir sorun yaşanmaz. Sadece geleneksel teknolojinin imkânlarıyla donanmış bir dünyada yıkıcı etkileri olacak nanoteknoloji kaynaklı tehditler, nanoteknolojinin her yerde eşit geliştiği bir durumda silinecek bir lekeden, söndürülecek bir ateşten ibarettir ve sıradan temizlik ve bakımla pekâlâ engellenebilirler.

1900 yılında olduğumuzu hayal edin. Bazı insanlar (Wright Kardeşler gibi), havadan ağır araçların uçabileceğine inanıyor, bazıları ise inanmıyor. Kimileri bu fikirden ötürü telaşlanır; bir grup haydudun İkinci Dünya Savaşı'ndaki B-29 bombardıman uçağı gibi bir uçak yapabileceği senaryosunu uzun uzadıya anlatırlar. 1900 yılında bu imkâna sahip bir grup hiç dirençle karşılaşmadan Washington'u dümdüz edip koca ülkeye istediğini yaptırabilirdi.

O zamanın felaket tellalları, bunun gibi bir tablo resmedip, havadan ağır taşıtlarla ilgili araştırmaları yasaklatabilirdi. Uçurtma ve tahta-ipek planör yapan insanlar bahsedilen B-29 yeteneklerine dudak bükebilir ve o günün sağduyusuna yaslanıp bu görüşle pekâlâ alay edebilirlerdi. Bu felaket tellallığı ve alaycılık, bugün kamuoyu önünde cereyan eden nanoteknoloji tartışmalarında da boy gösteriyor. İki taraf da gerçeği bir ucundan tutmuş değil.

1950 yılına gelindiğinde, tek B-29'u olan bir grubu jet avcı uçakları gökyüzünden silebilirdi. Ancak, B-29'a eşdeğer uçaklar her gün yolcu ve yük taşıyarak gökyüzünü mekik gibi dokuyordu. Kimse, bir suç örgütü yolcu uçağı satın alacak ve onu bombardıman uçağı olarak kullanacak diye endişelenmezdi, çünkü hava kuvvetleri her an göreve hazırdı ve büyük bir fenalık yapma fırsatı elden kaçmıştı. Suç örgütleri paralarını çok daha kârlı işlere harcayabilirdi.

1900'da birilerinin B-29 uçağı inşa edip bunu hiçbir şeyden şüphelenmeyen dünyaya karşı kullanabileceği düşüncesi aptalcadır. Tam teşekküllü beşinci aşama nanosistemlerin günümüz dünyasının intizamını bozacağı hakkında duyduğunuz senaryolar da öyle.

Zaman bağlamının dışında hayal edilmiş teknolojiler, gerçeğinden çok daha korkutucudur. Başka bir örneğe bakalım; bu sefer kötü niyete değil kazaya dair bir örnek olsun bu.

Kullanılmış lastikler büyük bir sorun. Bunlardan kurtulmak zor, geri dönüşümleri kolay değil; birikip büyük yığınlar oluşturur ve bazen ateş alırlar. (Bu yangınlar oldukça tehlikelidir ve söndürülmesi zordur.) Diyelim ki zeki bir insan bu sorunu bir kaynağa çevirmeye karar veriyor. Araba lastiği kauçuğuyla beslenen ve bunun bir kısmından enerji elde edip bir kısmını da petrole çeviren lastik küfü icat ediyor. Sonra büyük bir petrol depolama tankı alırsınız ve lastikleri bunun içine atarsınız: Böylece hem lastiklerden kurtulur hem de tankı doldurursunuz.

Ardından ne olacağını aslında biliyorsunuz. Küflerin bir kısmı kaçıp kurtulur ve aracın tekinin tekerine bulaşır. Lastiği yemeye başlarlar; yol üzerinde oluşan petrolden iz, nanorobotlarla doludur. İlk lastik yok olduğunda, eyaletin her yolunda bu petrol birikintilerinden vardır ve yoldan geçen her araca bulaşırlar. Küf bir hafta içinde tüm ülkeye yayılır ve arabalarla kamyonlar kullanılmaz hale gelir.

Nanoteknolojiyi bütünüyle kendi zamanının dışında düşündüğümüzde ya da ana damar nanoteknolojinin bastırıldığı bir durumu tahayyül ettiğimizde gözümüzde canlanan manzara bu. Nanoteknoloji gelişmelerinin genelde kucaklandığı bir dünyaya dair daha gerçekçi senaryolar da var:

1. Güvenli tasarımın öğretildiği ve pek çok aletin kullanılabildiği mühendislik okullarında eğitilen mucide, kendi içinde kısıtlamaları ve sigortaları olan bir sistem tasarlamak daha kolay gelir, ayrıca bunun tek yasal yol olduğunu bilir

2. Bu yeni küf, her yere yerleştirilmiş olan çevresel sensörler tarafından çabucak tespit edilir. Küf, tahlil edilir ve sadece bu eşleyiciyi etkilesin diye tasarlanmış olan zehir molekülleri bütün şebekeye salıverilir. Etkilenen bölgedeki insanlar uyarılır. Bu zehrin tarifini evlerindeki sentez cihazına indirirler ve zehri arabalarının lastiklerine püskürtürler.

3. Lastik küfü zaten mevcuttur ve lastikler kendi bağışıklık sistemleriyle üretilmektedir. İleri bir nanoteknoloji seviyesinde, araba lastiğini kaba malzemeden meydana gelen bir balon olarak imal etmek zaten aptallık ve israftır. Bunun yerine araba lastikleri, aşınmayan, kendini onaran, mikroskobik

yol tutuşu olan makinelerdir; balon lastiklere kıyasla daha pürüzsüz ve güvenli bir sürüş sağlarlar.

4. Şimdiden herkes hava yastıklı taşıt ya da uçan araba kullanıyordur, dolayısıyla lastikler kimsenin umurunda olmaz. Eski kauçuk lastiklerin sonuncusu da yenmiştir ve o birikintilere, petrol tabakası temizleyen standart nanorobotlar püskürtülmüştür.

Toplumun genel nanoteknoloji seviyesi ne kadar ileriyse, bu nanorobotların serbest kalışının yaratacağı sorun o ölçüde küçük olur; oysa günümüzde felakete sebep olurlardı.

Odunlar çürür. Yontulmamış bir odun alıp doğal ortamda toprağa dikerseniz, bir yıl içinde süngerimsileşir ve gevrekleşir. Parmağınızı keser ve yaraya mikrop öldürücü bir madde sürmezseniz, doğal mikroskobik makinelerin, yani bakterilerin sizi kıtır kıtır kemirmek için pusuda beklediğine bizzat şahit olursunuz. Bunun gibi yeni oburlar doğada mütemadiyen evrimleşir. Geçen yüzyıl geliştirdiğimiz basit bir zehir olan antibiyotik, etrafımızdaki bakteriler evrimleştikçe güncelliğini yitiriyor.

Ahşap için boya, vücudumuz için sabun neyse, bunların nanotek muadilini geliştirmenin bizim için her halükârda daha iyi olacağı açık. Yeni mekanik oburların geleceği varsa göreceği de var; tabii bu arada aptal gibi cahil kalmamak ya da panikleyip kafayı kuma gömmemek lazım.

> Olanların olacağı belliydi çoktan;
> İyiyi kötüyü yazmış kaderi yazan;
> Ta baştan gereği düşünülmüş her şeyin
> Neden boşuna uğraşır, dertlenir insan?
>
> Ömer Hayyam, *Dörtlükler*[10]

[10] Bu dörtlük, Sabahattin Eyüboğlu'nun çevirisinden (Ömer Hayyam, *Dörtlükler*, İş Bankası Yayınları) alınmıştır —*çev. notu.*



ON ALTINCI BÖLÜM

GERÇEK TEHLİKELER

Daha Fena Oyuncaklarıyla, Yine Aynı Kötü Adamlar

Nisan ayının soğuk, ama açık bir günüydü; saatler on üçü gösteriyordu.[1]
George Orwell, *1984*

New Jersey'de soğuk bir kış akşamıydı. Burada hava sıcaklığı sıfırın çok altına düşmez, fakat her zaman nemlidir, dolayısıyla soğuk kemiklerinize işler. New Jersey'deki enstitünün özlemiyle soğuktan kaçıp, tüm gece açık olan küçük, sıcak bir restorana sığındım. Adına Ed diyeceğim bir arkadaşımdan endişeli bir e-posta almıştım. E-postada anlatmaktan çekindiği bir konu hakkında konuşmak istiyordu.

1990'ların başıydı. Birkaç yıl önce Usenet'te sci.nanotech adlı tartışma listesini oluşturmuştum. İnternet bu kadar rağbet görmeden önce, Usenet tartışma listeleri birçok teknik konuda başta gelen çevrimiçi forumlardı. Sci.nanotech listesinin bütün dünyada yaklaşık yirmi beş bin okuyucusu ve düzenli yazan yüzlerce katılımcısı vardı. Yakınlarda bir araştırma laboratuvarında çalışan Ed de onlardan biriydi.

Restoranın uzak köşesinde bir masaya oturduk ve Ed, o gün aklına gelen bir fikri fısıldayarak anlattı. Nanoteknolojinin izotop ayrıştırmak için kullanılabileceğini fark etmişti.

Bu, bir yere kadar haklı bir endişeydi. Nükleer fizyon cihazlarının (bomba ya da reaktör) özü, U235 gibi çekirdeği bölünebilir bir malzemenin niceliğine bağlıdır. U235, uranyum izotopudur ve yüzde birini doğal uranyum teşkil eder (geri kalanın çoğu U238'dir; U238 çekirdeği ise bölünmez). Dolayısıyla elinizde bir öbek saf uranyum

[1] Alıntı: George Orwell, *1984*, Nuran Akgören (çev.), Can Yayınları, s. 9 —*çev. notu.*

olsa bile, bomba olarak işe yaracak bir madde elde etmek için U235'i ayrıştırmanız gerekir.

Bir elementten izotop ayrıştırmak, iki farklı element ya da kimyasal bileşen ayrıştırmaktan çok daha zor. Genelde, farklı elementlerin farklı kimyasal ya da fiziksel özellikleri olur. Böylece, karışımınızı, örneğin maden cevherini, farklı elementler üzerinde farklı etkileri olan işlemlerden geçirirsiniz. Alkolü sudan ayrıştırmak için kullanılan damıtıcıdan basit bir örnek olarak bahsedebiliriz. Alkolün kaynama noktası suyunkinden düşüktür; eğer karışımınızı bu iki sıcaklığın arasında bir noktada ısıtırsanız, alkol buharlaşıp yoğunlaştırıcı haznede birikir, su ise ilk kapta kalır.

Fakat iş izotoplara gelince, özellikleri o kadar benzeşir ki izotop atomlarını birbirinden ayırmak fiilen imkânsızdır. Uranyumun kendisi çok ağır, oldukça eylemsiz bir metaldir. Buharlaştırmak söz konusu bile olamaz. İkinci Dünya Savaşı sırasında ABD, atom bombası yapımı amacıyla, U235 ayrıştırsın diye Oak Ridge tesisini inşa etmiştir; şehir boyutundaki bu işleme tesisinin tek bombaya yetecek kadar U235 üretmesi hâlâ aylar sürüyor.

İşin özü, izotop ayrıştırmak büyük bir teknik zorluktur ve nükleer silah kulübüne girmek isteyenler için ciddi bir bariyer teşkil eder. Aslında böylesi herkes için hayırlı.

Oysa şimdi, birkaç atom uranyumunuz ya da başka bir elementiniz olsa bile izotopları ayrıştırmanın o kadar zor olmadığı anlaşılmıştı. U235 ve U238 izotopları ağırlık bakımından yüzde bir farklıdır. Atomlarınızı iyonlaştırıp kütle tayfölçerinden geçirin; kütle tayfölçeri, atomları manyetik alana doğru fırlatır. İyonize olmuş atomlar manyetik alandan geçerken kavis çizer. Hafif atomlar daha büyük bir kavis çizerken, ağır atomlar kendi yollarından pek sapmaz; dolayısıyla manyetik alanın öbür ucunda farklı noktalara varıp, bu şekilde ayrışırlar. Kütle tayfölçeri bir bilim aygıtıdır ve ufak örnekleri incelemek bakımından epey yararlıdır, fakat bomba yapmak için gereken miktarlarda işe yaramaz.

Nanoteknoloji devreye girdiği zaman, kaba teknolojili kütle tayfölçerinin kullandığı iyonlaşma vb. gibi numaralarla vakit kaybetmeniz gerekmez. Esasında, atomları tek tek kavrayıp ağırlıklarını ölçen bir alet yapabilirsiniz. Atomik kütlesi 235 olanlar A haznesine, 238 olanlar B haznesine gönderilir. Atomları bu şekilde tartarken yerçekimi işe yaramaz, fakat merkezkaç kuvveti iş görecektir.

Daha hassas bir sistem kurmak için, bu cihazlardan milyon kere milyar tane inşa eder, bu cihazlara atomları getirecek ve çıktı

diye verilen atomları birleştirecek makineleri de eklersiniz. Böylece, bir ucundan kimyasal bakımdan saf 2.500 kilogram uranyum tozu emen, alt deliğinden 2.475 kilogram seyreltilmiş uranyum tozu boşaltan, ürün ucundan da 25 kilogramlık U235 küresi veren bir makine meydana getirirsiniz. Aman, 25 kilogramlık bu küreyi oluşturacak aksamı ayrı ayrı yapmak ve bunların birleşmemesini sağlamak herhalde daha hayırlıdır.

Dolayısıyla Ed endişeliydi. Nanoteknoloji, herkesin nükleer silah yapabileceği anlamına gelmiyor muydu? Bunu sır olarak saklamak daha iyi değil miydi? Elden ne gelirdi?

Derhal şüphelerini giderdim. Evet, nanoteknoloji sayesinde izotop ayrıştırmak kolaylaşacak; fakat bu, genel bir fikir olarak daha önce defalarca düşünülmüştür. Sır olarak saklamanın bir faydası olmaz. Yine de, nükleer silahların yaygınlaşması beni özellikle endişelendiriyor değil, dedim. Nanoteknolojiyle mümkün olabilecek öteki silahlarla kıyaslanınca nükleer bombaların inşası, saklaması, taşıması zordur ve etkileri sınırlıdır.

KENDİNİ EŞLEYEN SİLAHLAR

> Nanoteknoloji kullanılan bir savaşta, muhtemelen iki hafta hiçbir şey olmuyormuş gibi görünür. Neden sonra, kaybeden taraftaki herkes ortadan kaybolur.
>
> sci.nanotech forumundan, 1990'lar

Nanotek silahların bakteri benzeri eşleyiciler olacağı, düşman sınırları içinde kalan topraktan beslenecekleri ve nihayetinde toprağı toza çevirecekleri ya da silahı geliştirenler hangi yıkıcı etkiyi istiyorsa onu yerine getirecekleri gibi bir düşünce var. Böyle bir senaryoya ilişkin vurgulanması gereken iki husus mevcut:

İlk olarak, bu nanotek silah senaryosu, kazara doğaya karışan eşleyiciler senaryosundan çok daha olasıdır. Aradaki fark şu: Ticari nanomakineler yüksek verimlilik (ve kâr) getirsin diye üretilir; dolayısıyla hızlı çalışacak, yüksek enerjili besin kaynaklarından beslenecek, denetlenebilir olacak ve faydalı ürünler ortaya çıkaracak şekilde ayarlanırlar. Doğal dünyayla beslenmeye kalkışmak, istenilen tüm bu vasıfları ihlal eder. Yaban ortamda çalışacak bir nanomakineyi kazara yapmak, ağaç kesen, keresteleri şömine odunu haline getiren ve bu odunları içten yanmalı kazanla yan yana ambalajlayan bir arabayı tesadüfen imal etmek gibidir.

Ancak, bu tür makineleri kasten tasarlamak mümkün olacak, ayrıca verimin ve benzer kaygıların listede son sırayı aldığı yerlerde silahlar her zaman uygulama alanı bulacaktır. Eğer birisi yaban ortamda işleyecek bir nanomakine yaparsa, büyük ihtimalle bunu silah niyetine üretmiş olacak.

Fakat ikinci husus şu: Odun yakabilen, dolayısıyla ormanda işleyebilen askerî tanklar mümkün olsa da kimse bunu yapmamıştır. Aslında, güncel silah sistemleri bunun tersi yönde ilerleme eğiliminde. Bunun sebebi şu: Savaş makinelerinin tasarım ölçütleri listesinde verimlilik son sırada, güç ve hız listenin başında olsa da, ot ya da falan filan kemirmek için ha bire mola vererek bu hedeflere ulaşılmaz. Ticari nanomakineler, yüksek saflıkta, yüksek enerjili ham maddelerle beslenerek çoğalacaktır, tıpkı askerî nanomakineler gibi.

Bugünün makinelerinin işlediği seviyede, makinelere güç tedarik etmek için doğal çevreyi makinenin içerisine almaya yeterli enerji yoktur, kaldı ki nanomakineler enerji elde etmek için doğal ortamla beslensin. Odun yakan makineler kömür yakan makinelerle baş edemez, kaldı ki petrol ya da hidrojen yakan makinelerle rekabet edebilsinler. Başka bağlamlarda bahsedilemeyecek kadar uzak ve teknik bakımdan belirsiz olsa da, nükleer enerjili askerî makineler görsem şaşırmazdım (fizyon değil radyoizotop nükleer enerjisi). Günümüzde askeriyenin (fizyon) nükleer enerjili gemiler kullandığını belirtmeliyiz, fakat bu gemilerin maliyeti ticari kullanım için uygun değil.

Bugün akıllı bombalarımız ve füzelerimiz varken, nanoteknoloji sayesinde akıllı kurşunlar üretilebilir. Nanobilgisayarlar, mekanik yeteneklerin üzerine YZ özelliğini eklerse, düşman hatlarına sızmak için katlanarak sıçan boyutuna inen, nesne ya da silah kullanmak için tekrar açılıp insan boyutuna çıkan, saatte yüzlerce kilometre hızla uçan robot askerlerimiz olabilir. Faz sıralı optik deriler sayesinde fiilen görünmez olabilirler. Hareketleri, insan gözünün izleyemeyeceği bir hıza ulaşabilir (bu hiç de zor değil; sıradan bir elektrikli fanı düşünün).

Savaşa hazırlanmak için ulusların sadece yaygın bir nanoimalat altyapısına ihtiyacı olacak; bu imalat sistemi, gereksinim doğduğu zaman, bu tarz robotlar ve onlara eş silahlar ve araçlar üretebilir. Bıçak kemiğe dayanınca, hakiki ordu bir saat içinde üretilebilir.

İri bir faz-sıralı optik dokusu, istenilen hedefe ışık odaklayabilir. Eğer binaların çatıları bu dokuyla kaplanırsa, güneş ışığı toplayıcısı, radar, optik kamera, spot ışığı ve yeterince eğim verilirse sokak lambası vazifesi görebilirler. Gerekli olursa ve birçok binanınki eş-

güdümlü olarak kullanılırsa, lazer benzeri bir uçaksavar işlevleri de olabilir. 11 Eylül sonrası dünyada bunun neden arzulanacağını anlamak acı ama mümkün. Bilhassa, şahsi uzay gemilerine endişeyle bakılacaktır; "her zaman devrede" olan bir hava savunması mevcutsa bu araçlara izin verilebilir.

SAVAŞ

Yirminci yüzyılda, insanoğlunun başına gelebilecek felaketlerin sebepleri arasında en göze çarpanı savaştı. Savaşın ölümcüllüğüne teknolojinin bariz katkısı olmuştur. Nanoteknoloji, savaşları daha berbat hale mi getirecek yoksa savaş çıkma ihtimalini mi kuvvetlendirecek?

Bu konuda ciddi şüphelerim var. Nihayetinde, nanosilahlar sizi hidrojen bombasından daha fazla öldüremez. Dahası, nükleer başlıklı kıtalararası balistik füzelerin ortaya çıkmasından bu yana, dikkate değer bir hadise gerçekleşti. Bu füzelere sahip uluslara, öteki uluslar savaş açmaktan kaçınır oldu. Kitabın yazarı, bu gibi silahların varlığının, saldırgan ülkelerin önderlerini doğrudan fiziki tehlike altına soktuğu gerçeğinin bununla alakalı olduğu kanaatinde. Ambrose Bierce'in şakayla karışık söylediği gibi, Amerikan askerî konularında *art cephe*, ordunun Kongre'ye en yakın kısmı anlamına gelir.[2] Nanotek silahlar bu görüngüyü sadece körükleyecek, siyasetçileri hedef almayı kolaylaştıracak. Bu durumda savaş, hiç rağbet görmez olur.

Göz önünde bulundurulması gereken başka bir görüngü ise sanayi devrimi ve Britanya İmparatorluğu'nun egemenliği dönemindeki barış halidir (*Pax Britannica*). Bir ulus ya da aynı davaya baş koymuş bir grup, Britanya'nın on dokuzuncu yüzyılda kurduğu üstünlüğe benzer bir teknolojik egemenlik kurarsa, o zamankine benzer bir barış dönemi tesis edilebilir. Şu an için, bilinen nanoteknoloji çabalarının büyük kısmı Amerika Birleşik Devletleri ile Avrupa'nın elindedir. Batı demokrasilerinin eksiksiz olmadığı su götürmez; ama yine de muhtemelen makul düzeyde akılcı ve istikrarlı bir dünya egemenliği kurabilirler.

Bunun tersi bir senaryo ise endişeleri besliyor görünüyor; yani, başka ülkelerin nanoteknolojiyi daha önce geliştirmesi senaryosundan bahsediyorum. O zaman Amerika Birleşik Devletleri sessizce geriye düşmek yerine ciddi bir savaş tehdidi oluşturabilir. Şükür ki şu

---

[2] Ambrose Bierce, *Devil's Dictionary* (New York: Dover, 1958), definition of "rear" ("art cephe"nin tanımı), s. 107.

an için bütünüyle hayalî olan şu kısa hikâyeye bakalım:

> Yıl 2015. Amerika Birleşik Devletleri'nde, her zamanki gibi iş dünyasının hüküm sürmesine izin verilmiş. Bilime gösterilen ilgi azalmaya devam etmiş. Üniversitelerimizden çıkan tüm biliminsanları ve mühendisler başka ülkelerden gelip sonra da ülkelerine dönüyor. Bilime ayrılan ödeneklerin çoğu tıp uygulamalarına boca ediliyor; tıbbi araştırmalar da kök hücre üzerine yapılan siyasi tartışmalara saplanmış ve bu işi tamamen güvenli kılmaya çalışırken bürokrasiye boğulmuş durumda.
>
> Bu esnada Çin, pek çok cephede ilerlemiş ve üçüncü aşama eşleyicileri üretiyor. Çin'den başka hiçbir yerde üretmenin hesaplı olmayacağı mamuller belirmeye başlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde resmî makamlar bu işe uyanmaz, çünkü laboratuvarlarımız hâlâ daha pahalı ve nitelikli malzemeleri tek tek üretebiliyordur. Çinliler "ucuzculukla" suçlanır ve bazı nanotek ürünler yasaklanır.
>
> Çin, dördüncü aşamaya geçer ve Batı teknolojisi belirgin bir şekilde ikinci sınıf gibi görünmeye başlar. Çin'in, mühendislik tasarımları yapan üstün bilgisayarları olduğu söylentileri dolaşmaktadır. Yeni nesil Çin jetlerinin ve uzay gemilerinin yetenekleri bizimkilerin yeteneklerinden çok daha ileridir ve bunlar, yarı zamanda tasarlanıp imal ediliyordur. ABD ordusu tehlikeye dikkat çeker.
>
> Yönetim acil eylem planı olarak nanoteknolojiyi "kitle imha silahı" diye kötülemeye ve dünyada her yerde yasaklanması için BM kararı çıkarttırmaya çalışır. Bu hamle tartışmalarla geciktirilir ve sonuçta hiçbir yere varmaz. Amerika Birleşik Devletleri Çin'e tek taraflı bir ültimatom verir ve tüm nanoteknoloji uygulamalarının askıya alınmasını ister. Çin karşı çıkar, nükleer silahların saldırısına uğrarsa atmosfere havacıllar bırakacağını ilan eder.

Sanayi devrimi sırasında Fransa'nın birtakım savaşlara girdiğini ve en sonunda Waterloo'da İngiltere'nin kazandığını hatırlatmakta fayda var.

TERÖRİZM

11 Eylül 2001 günü limuzinle Newark havalimanına gidiyordum. Şoförün telefonu Beethoven'ın "Ayışığı Sonatı" melodisiyle çaldı; bu gibi zamanlarda insanın belleğine neler de kazınıyor. Şoförün evde televizyon izleyen karısı, Dünya Ticaret Merkezi'ne uçak çarptığını haber vermek için aramıştı. Kafamızı yukarı kaldırdık. New York'un siluetini görebiliyorduk. Dünya Ticaret Merkezi, tüten bir çift baca gibi görünüyordu. Havalimanına vardık ve elbette uçuşlar iptal edilmişti. Havalimanından dönüş yolunda, New Jersey bataklık arazisinin ve

Hudson nehrinin karşı yakasında kulelerin yıkıldığını gördük.

Terörizm meselesi iki kısma ayrılabilir: İnsanlar neden buna başvuruyor ve nasıl başarılı oluyorlar? İlki insan doğasının bir sabitidir: İnsanları al, onlara kendilerini güçsüz, kullanılmış, sömürülmüş ve kaybedecek bir şeyleri yokmuş gibi hissettir. Çoğunlukla işin içine din de karışır, fakat herhangi bir güçlü ideoloji de iş görecektir. Bazıları, ellerinden nasıl geliyorsa o şekilde patlayacaktır. Bu, insanın doğasında var. İkinci kısım ise daha karmaşık; teknolojiye ve başka koşullara bağlı.

Kalabalık, düzenli, ticari bir hava yolculuğu yapmak yerine, o gün uçan tüm yolcular kendi uçan arabalarında olsalardı, bu şartlarda 11 Eylül, bir avuç araba kaçırma hadisesiyle sonuçlanırdı. Araba boyutundaki şahsi hava taşıtları kuleleri elbette aşağı indiremezdi. El Kaide, kuleleri yıkma işini parça parça yapmaya kalkıştığında yeterince ajan bulamamıştı. Olayın birkaç yıl öncesinde, kuleleri patlayıcılarla dolu kamyonetlerle yıkmayı denediklerini hatırlarsınız.

2001 yılında şahsi uçan arabalar ekonomik bakımdan elverişli olurdu demeye çalışmıyorum, fakat terörizme karşı en iyi savunmalardan birinin merkezîleşmekten uzaklaşmak olduğuna işaret ediyorum. Savunma önlemleri uyarınca bütün nüfusun, aralarındaki muhtemel teröristler silahsız kalsın diye çaresiz bir durumda bırakılması tam da teröristlerin işine gelen bir uygulamadır. Toplu taşıma teröristlerin gözde hedeflerindendir: Amerika Birleşik Devletleri'nde havayolları, Tokyo'da metro, Kudüs'te otobüsler, Madrid'de trenler.

Boyunduruk altına girmek ya da boyunduruk altında olma algısı, bütün toplumun paylaştığı bir tür öfke yaratır; bu da muazzam kaynakların seferber edilmesi ve intihar bombacılarının harekete geçmesi için yeterli. Kısa vadede, bu sorunla uğraşmak tamamen bir devlet adamlığı meselesidir. Uzun vadede, nanoteknolojinin sağlayabileceği türde bir bağımsızlık faydalı olabilir. Orta vadede, bu geçişin gerçekleştirilmesi sorunu hassas ve zordur, fakat bununla yüzleşilmesi mecburi; çünkü uzun vadede, bazı teröristlerin eline her halükârda nanotek silahlar geçecek.

Sonrasında ne olduğunu hepimiz gördük. Kafalarımızı kuma gömersek, başımız dertten kurtulmaz. Eğer nanoteknoloji, geniş kesimleri temel alan ana damar bir gelişme haline gelirse, bu durumun etkileri bugünkü durumdan muhtemelen daha kötü olmayacak. Eğer nanoteknolojinin, merkezsizleştirme yeteneklerinden faydalanılırsa, terörizm zafer kazanmakta zorlanır. Ayrıca kurulu düzenin misillemede bulunması da kolaylaşır.

Bu satırlar yazıldığı sırada, olayın üzerinden iki yılı aşkın bir süre geçtikten ve dünyanın öteki ucunda iki ülkeyi fethettikten sonra, Amerikan güçleri, başına konan 50 milyon dolarlık ödüle rağmen hâlâ Usame Bin Ladin'i yakalayamamıştı. Afganistan'ın vadilerle dolu çorak arazisinden elde edilen işe yarar istihbaratın bir kısmı, uzaktan kumandayla uçurulan gözlem araçlarından gelmiştir, yani yarı robot hava taşıtlarından. Nanoteknolojinin devreye girmesiyle birlikte, tüm ülkeyi sinek boyutunda insansız uçaklarla doldurabiliriz. Bu durumda saklanmak çok daha zor olacaktır.

Günümüzde insansız uçaklar havadan yere fırlatılan füzelerle donatılmışlardır ve binaları, araçları vurmak için kullanılırlar. İnsansız nanouçaklar, çeşitli türlerde iğneler taşıyabilir ve insanlara öldürücü, takat kesici ya da acıdan kıvrandırıcı dozlarda kimyasal ya da biyolojik etkenler zerk edebilirler.

Terörizm hakkında son bir notum var: Bana kalırsa, yüksek teknolojili terörizm tehditlerinin en büyüğü, nanoteknolojik değil biyoteknolojik tehdittir. Bin Ladin'i yakalayamadığımız gibi, şarbon mikrobu postalayan kişiyi de yakalayamadık. Bu kadın ya da adam, yalnız çalışan bir Amerikalı olabilirmiş gibi görünüyor. Yalnız! Oysa bin Ladin ve Taliban'ın binlerce yandaşı ve destekçisi var.

Bakterilerin nanotek sürümü, yani mikroskobik boyutlu başına buyruk mekanik eşleyiciler, doğal eşleyicilerden daha etkili olabilir. Fakat virüslerin nanotek sürümü var olamaz. Bakteri kendi inşa mekanizmasını bünyesinde barındırır ki nanoteknoloji bu işin altından daha verimli bir biçimde kalkabilir. Fakat virüs bundan da verimli bir şekilde etkinlik gösterir; çünkü bünyesinde hiç makine taşımaz. Sizin hücrelerinizdeki makineleri kendi emelleri için kullanır. Basitçe söylemek gerekirse, virüs, kendi kopyasını yapmak için gerekli olan genlerden ibarettir ve tüm angaryayı sizin hücreleriniz yapar. Nanoteknoloji bu beceri seviyesine çıkamaz. Fakat, internetten ısmarlayabileceğiniz DNA (baz çifti 2,35 dolara) ve lise biyoloji laboratuvarlarında bulabileceğiniz teçhizatla virüs yaratılabileceğini hatırlatmakta fayda var.

Teknolojinin zaman cetveline bakarsak, biyoteknoloji zaten mevcut. Biyoteknolojiyi gözlerden saklamak en az nanoteknoloji kadar, hatta nanoteknolojiden de kolay. Üstelik insanlar biyoteknolojinin yaratabileceği tehditlerin ölçeğini henüz fark edemedi. İyi hazırlanmış bir üstün grip mikrobu, mesela, tüm ülkede aynı anda yirmi intiharcının salgın başlatmasıyla birlikte milyonlarca insanı öldürebilir; ya da birileri, tavuklarda etkili olabilecek bir deli dana prionu

geliştirebilir; ya da Cipro ilacına dirençli şarbon yaratabilirler; ya da botulin zehrinin genini alglere yerleştirip, su rezervlerine bu alglerden karıştırabilirler. Bunlar nanoteknoloji nitelikli tehditler olmasa da, nanoteknoloji (bilhassa nanotıp) bunlarla mücadelede paha biçilmez olacak.

EKONOMİK STATÜ

Yukarıda, nanoteknoloji uygulamalarından bahsederken sanki bunlar Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa tarafından geliştirilmiş ve hayata geçirilmiş gibi konuştum. Ancak, bunun gerçekleşmesi şu an için epey uzak. Her ne kadar, erken başlanması sayesinde şimdilik epey önde olsak da, kolaylıkla geriye düşebiliriz, tıpkı İskoçya'nın golfte, İngiltere'nin teniste, Fransa'nın sanayi devriminde üstünlüklerini kaybedişleri gibi. Bunun sebepleri, daha önce açıklandığı gibi pek çok: Amerika'da olağan sayılan bürokrasi işleri; bilime ve teknolojiye gönül veren Amerikalıların sayıca azalması, bunun yanı sıra Asya'da bilim ve teknoloji araştırmacısı sayısının devasa bir artış göstermesi; ve muhtemelen o coğrafyada risklere daha büyük bir hevesle girilmesidir.

Buna elbette, Asya'nın yekpare bir yapı olmayışını, bu kıtada birbiriyle rekabet eden sayısız ulusun olmasını da ekleyin. Bunun birçok etkisi var: Rekabet güçlü bir saiktir ve bürokrasilerin, normal durumları olan bitkinliğe düşmesini engelleyen bir mahmuz vazifesi görür. 1960'larda "uzay yarışı" devam ederken NASA'nın neler yaptığına bakın, bir de o zamandan bu yana yaptıklarına bakın. İkinci bir etkisi şu: Diyelim bir araştırma projesinde, ülkelerden biri kendisini belirli bir yaklaşıma adarken, aynı yolu takip ederse geriye düşeceğini bilen farklı bir ülke başka bir yaklaşım dener ve daha işe yarar bir şeyler bulabilir. Fakat farklı şeyler denemenin faydası kolay kolay göze çarpmaz. Hiyerarşik bir örgütlenmede, aykırı bir tasarı, yerleşik inançtan daha iyi bir fikirmiş gibi görünmeye başladığında, üst makamların bu tasarıyı bastırmak için güçlü bir eğilimi olur. ("Nanotıp" başlıklı on yedinci bölümde, Semmelweis ve doktorların ellerini yıkaması hikâyesine bakınız.) Rekabet eden unsurların ayrı uluslar olduğu bir durumda, bir yere kadar bundan kaçmak mümkün olabilir.

Eğer nanoteknoloji Asya'da muazzam bir hazırlık devresinin ardından geliştirilse, Amerika Birleşik Devletleri ikinci sınıf ülke statüsüne düşer. Engin okyanusların oluşturduğu tampon bölgenin ardında yaşamaya ve elimizi kolumuzu dünyada istediğimiz yere

uzatmaya alışkınız. İki üstünlüğü de kaybedebiliriz; örneğin egemen güç, bize sormaya gerek duymadan dünyanın iklimini işine geldiği gibi şekillendirebilir. Başı çekmeyi sürdürmezsek, ekonomik gerçeklerin yer değiştireceğine, adaletsiz alışverişlerin yanlış tarafına itileceğimize, tekellerin dışında kalacağımıza ve genel olarak, yaşam standardımızın düşüp olanaklarımızın azalacağına emin olabilirsiniz.

NANOPARÇACIKLAR

Basında nanoteknolojiye atfedilen tehlikelerden biri, nanoparçacıkların doğaya karışması ve biyolojik etkileridir. Günümüzde nanoölçekli teknoloji bazı yeni ürünler imal ediyor, örneğin bakterilerin çoğalmasına dirençli boya gibi. Haşır neşir olduğumuz mevcut maddelerden ayrıntıda farklı olsalar da bu tür maddelerin yarattığı etki öyle pek farklı değildir. Nihayetinde, işlenmemiş sıradan odunun kendi bünyesinde de bakterilerin çoğalmasını engelleyen maddeler mevcut. Sıradan kimyasallar, nanoparçacıklardan bile küçük olan moleküllerden meydana gelir.

Gerçek, pekdüzenli nanoteknoloji ile aradaki büyük fark, bunun tersi yöndedir. Mevcut teknoloji, mamul ve enerji üretirken çevreye moleküler bir çöp yığını bırakmadan edemez. Eğer kimyasal bakımdan reaktif milyarlarca nanoparçacık üretmek istiyorsanız, şöminenizde ateş yakmanız ya da araba sürmeniz ya da yemek pişirmeniz yeterli olur. Eğer koku alabiliyorsanız, moleküller serbest kalıp havayı dolduruyor demektir.

Pekdüzenli süreçler bu durumu değiştirir. Her molekül hesaba katılır. Artık kimyasalların ya da moleküllerin doğaya salınması yerine bunlar bileşenlerine ayrıştırılır ve bir sonraki ürünün inşasında kullanılır. Örneğin nanofabrikalar, karbondioksit üretmek yerine havaya saf oksijen salar ve elmas imalatında faydalanmak adına karbon moleküllerini kendisine saklar. Normalde çevreye salınacak tek yanma ürünü su olur.

BAŞKA TEHLİKELER

> Bu mekanik cihaz, insan yeteneğinin, zekâsının, ruhunun yerine geçip, bütün ülkeyi dolaşarak bizim için şarkı söylemeye ya da piyano çalmaya geliyor... Müzik yapan çeşitli makinelerin çoğalması yüzünden, ya da bu ahlaksızlıktan ötürü demek daha doğru, Amerikan müziğinde ve müzik zevkinde bariz bir yozlaşma, ülkenin müzikal gelişiminde bir aksama ve

müziğin sanatsal tezahürlerinde başka sakatlıklar öngörüyorum.
John Philip Sousa, "Mekanik Müzik Tehlikesi,"
Appleton's Magazine

Diyelim ki 1900 yılına döndünüz ve motorlu taşıtların yol açtığı tehlikeleri halka açıklamanız istendi. Eğer çevre kirliliği derseniz, yüzünüze gülerler. Kömür yakan buharlı bir trende yolculuk ettiyseniz bunun sebebini anlarsınız. O günün buharlı motorları gazolin motorlara kıyasla çevreye daha zararlıydı. Ölümcül kazalara dair bir şeyler söylemek ise ilgi çekebilir; insanlar bu sıradışı mekanik canavarlardan korkuyordu. Fakat yine de yanılmış olurdunuz: Arabaların kurtardığı can sayısı kıydıkları canlardan fazladır ve bir Amerikalının ortalama ömrü 1900 yılından beri en az yirmi yıl uzamıştır. Trafik sıkışıklığı? Kişi başına otuz dönüm arazi düşen bir ülkede insanların bunu kafalarında canlandırması zor. Geleneksel geniş ailenin parçalanması ve cinselliğe dair törelerin dağılması? Affedersiniz bayım, aynı dili mi konuşuyoruz?

İşin aslı, araba kazasında ölmek için beklemeniz gerekse, ortalama 6.700 yıl yaşardınız. Trafik sıkışıklığı başa beladır, fakat nüfusun yoğun olduğu alanlar dışında toplu taşımacılık gibi seçenekler için büyük bir talep yok. Kendi deneyimlerime göre, şehirlerde arabalarla ilgili en büyük sorun park yeri bulmak.

Sosyal etkilerinden bahsetmek belki daha doğru olabilir. Aslında, yirminci yüzyılda yaşam tarzımızda gerçekleşen değişiklikler, büyük büyük babalarımızın gözünü korkuturdu. Ancak, onlara kıyasla bizler kötü durumda mıyız? Bazı yönlerden belki; bazı yönlerden ise muhtemelen değiliz. Çoğu yönden ise bir telafi söz konusudur; bu tür değişiklikler işlerin seyrini değiştirmiştir, bilhassa iyiye ya da kötüye gitmesine yol açmıştır diyemeyiz. Dahası, bu değişiklikler, birçok sebebin bir araya gelmesiyle gerçekleşmiştir, örneğin buna arabalar, iki dünya savaşı, radyo, TV, doğum kontrol hapları, jet yolcu uçakları, bilgisayar ve internet dahildir.

Din Reformu ve yüzlerce yıl süren din savaşları için matbaa suçlanmıştır.[3] Bu durum elbette daha iyi idare edilebilirdi, fakat büyük oranda cahil bir kültürden okuryazar bir kültüre geçişin sancıları yaşanmıştır. Yani matbaadan yararlanmamak mı gerekir? Hiç sanmıyorum. Gerçi bu örnek, ileride bizi bekleyen tehlikeler hakkında

[3] Örneğin bkz. "The Printing Press and a Changing World: Luther and the Protestant Reform," internet erişimi için: http://communication.ucsd.edu/bjones/Books/luther.html.

ipucu verir. Berkitilmiş iktidar, değişim aleyhine güçlü tepki gösterir, her ne kadar değişim nihayetinde çoğu insana yararlı olsa bile.

Diyelim ki bir siyasetçinin, şirket başkanının ya da laboratuvar şefinin eline bir cihaz geçti; bunun sayesinde sizi bir koltuğa bağlıyor, başınıza bir başlık geçiriyor ve beş dakika sonra koltuktan onun fanatik müridi olarak kalkıyorsunuz, ayrıca başka insanları yakalayıp aynı koltuğa oturtmaya da can atıyorsunuz. Şimdi kimse, elinde tam teşekküllü nanoteknoloji bile olsa böylesi bir cihazın nasıl inşa edilebileceği hakkında fikir sahibi değil. Fakat biyoloji bilgisi bilimin herhangi bir dalı kadar hızlı ilerliyor, üstelik çoğundan da hızlı. Yüzyılın sonuna kadar böyle bir cihaz ortaya çıkmazsa çok şaşırırım.

Diyelim ki büyük devletlerden biri aynısını orduya yapmak istiyor, "acil durum" geçtikten sonra askerlerin normale döneceği sözünü veriyor.

Mesela, "terörizmi engellemek" için tüm yurttaşlar yeniden programlanıp, ılımlı bir hale getiriliyorlar diyelim.

Yukarda terörizm karşıtı silah olarak betimlenen insansız nanouçaklar, yanlış ellerde kolaylıkla suikast silahı haline gelebilir. İnsansız nanouçaklar ileri olmayan, erken dönem nanoteknoloji kapsamına girer; muhtemelen üçüncü aşama civarındadırlar. Buna kıyasla kaba kalan insansız mikrouçaklar günümüzde inşa edilebiliyor. Yazarın bildiği kadarıyla bunların sadece kameraları var. Her şeyi gözleyebildikleri için, bunlar bile muazzam bir toplumsal değişim tehdidi teşkil eder.

Sürekli izlenmek ayrı şey, insanların kaprisine dayanan aşırı önyargılar sonucu yok edilmek ayrı. İnsansız nanouçakları durdurmak epey zor olabilir ve tespit edilmeleri fiilen imkânsız. Genelin ulaşabileceği hale gelirlerse, avukatlar için zorlu zamanlar başlar diyebiliriz. Daha önemlisi, Amerika Birleşik Devletleri'nin, (tam boyutlu) insansız uçakları suikast amacıyla zaten kullandığını ve yirminci yüzyıl boyunca, bir sınıf olarak devletlerin, kendi vatandaşlarının on milyonlarcasını ve başka devletlerin vatandaşlarından en az bir bu kadarını öldürdüğünü unutmayalım. Eğer devletler, eylemlerini kamunun tetkikine ve denetime açmak zorunda kalsa bile, başka örgütler insansız nanouçakları elde etmeye büyük öncelik verecek. Jimmy Hoffa'lar için berbat bir zaman dilimi olacaktır bu.

Nanoteknolojiyle donanmış bir nüfus için insansız nanouçakların ve benzeri başka tehditlerin o kadar korkutucu olmayacağını belirtmeliyiz. Örneğin, nanoderi içinde yaşayan ya da Alet Sisiyle kaplı biri karşısında insansız uçaklar çaresiz kalacaktır. Esas tehlike, ko-

rumacı bir telaşa kapılan hükümetlerin bu tarz karşı önlemlere erişimi sınırlandırması olur. Bu kısıtlama yüzünden oluşacak kaygan zemin, bizi, nanotek teçhizatlara sahip yetkililerin ve korunmayan güçsüz bir avamın oluşacağı bir duruma itebilir. Böylece, halk tarafından, halk için kurulan halk devleti dünyadan silinebilir.

İLGİNÇ ZAMANLARDA YAŞAMAK

> Neredeyse herkes tersliklerle başa çıkabilir, fakat bir insanın kişiliğini sınamak istiyorsanız ona iktidar verin.
>
> Abraham Lincoln, Aktaran: François Duc de la Foucauld

Nanoteknolojinin yol açacağı gerçek tehlikeler, sinema perdesinde heyecanlı görüntüler doğurabilecek ya da kısa açıklamalarla anlatılabilecek türde şeyler değil. Bunlar, bizzat teknolojinin doğurduğu tehlikeler değil; insanın yaşayışında gerçekleşen devrim karşısında dar görüşlülüğün ve hırsın etkisiyle ortaya çıkacak tehlikeler söz konusu.

Yaşamı değiştiren her büyük gelişmeye bir de çekişme eşlik etmiştir. Geriye dönüp baktığımızda, bu çekişmelerin pek çoğunun gereksiz olduğunu görürüz; fakat zamanında bu gözle bakılmamıştır. Reform hareketinde olduğu gibi, pek çok örnekte, ortalık yatıştıktan sonra uzun süre kimse ne için savaştığını anlayamamıştır.

Nanoteknoloji gelişirken bir yandan çekişmeleri engellemenin ya da en azından asgariye indirmenin en iyi yollarından biri, bu teknolojinin getirebileceği olanakların ve yol açabileceği gerçek tehlikelerin geniş kesimlerce anlaşılmasıdır. Eğer nanoteknoloji, iktidarı elinde tutan bir avuç insanın pek anlaşılmayan bir sihri olarak kalırsa, ileride bizi tehlike bekliyor demektir. Fakat insanlar, kişisel imalat teknolojisinin herkese bağımsızlık ve konforlu bir yaşam tarzı getirebileceğini anlarsa ve bunun gerçekleşmesinin yolu açık hale getirilirse, işbirliği ve aklıselim hüküm sürebilir.



ON YEDİNCİ BÖLÜM

NANOTIP
Defoları Düzeltmek

Tarih 1847; iki ömür öncesi bile değil. O zamanın öncü bilim ve tıp merkezlerinden biri olan Viyana Genel Hastanesi'nde iki doğum koğuşu vardı. Birinci koğuşta kalan annelerle, doktorlar ve tıp öğrencileri ilgilenirdi. İkinci koğuştaki anneler ise ebelerle idare etmek zorundaydı. Ancak Viyanalı kadınlar ikinci koğuşa kaydedilmek için yalvarırdı, çünkü birinci koğuşun adı, ölüm tuzağına çıkmıştı.

Bu kötü şöhret, yersiz değildi. Birinci koğuştaki annelerin yüzde on ikisinden fazlası doğumdan sonra lohusa humması yüzünden ölüyordu, oysa ikinci koğuşta hayatını kaybeden annelerin oranı yüzde üçten azdı.

Harika bir genç doktor olan Macar asıllı Ignaz Semmelweis kısa süre önce doğum koğuşlarının başına getirilmişti ve bu ölümlerin sebebini bulmak için can atıyordu. Şöyle yazar:

> Neredeyse her gün duyduğumuz çan sesleri, hastanın ölüm duası için rahibin geldiğini bildirirdi. Çan sesini kapımın önünde duyduğum zaman betim benzim atardı... Bu dehşet duygusu, tüm hünerimi kullanıp bu gizemli etkeni keşfetmek için bana taze bir dürtü oluyordu. Birinci Koğuştaki yüksek ölüm oranının, lohusa hummasının bugüne kadar bilinen sebepleriyle açıklanamayacağı günbegün daha iyi anlaşılıyordu.[1]

Semmelweis aklına gelen her şeyi denedi. Egemen tıp kuramları arasında "miyazma" (pis hava) ve "salgıların" (beden sıvıları) dengesizliği gibi açıklamalar vardı. Miyazma kuramı geçerli değildi: İkinci koğuşun havası birinci koğuşun havasından ağırdı. Kadınların haklı olarak orada yatmak istemesinden ötürü ikinci koğuş daha kalabalıktı. Hatta bir ara, çan seslerinin bir etkisi olabilir düşüncesiyle harekete

---

[1] Kenneth Walker, *The Story of Medicine* (New York: Oxford University Press, 1954), s. 225-26.

geçip rahiplerin sesini kıstırtmıştı. Nihayetinde, Jacob Kolletschka adlı meslektaşı otopsi yaparken kendini kestikten sonra ateşlenip ölünce bir ipucu yakalamış oldu. Semmelweis, Kolletschka'nın belirtilerinin ölen kadınların belirtilerine benzediğini fark etmişti. Otopsiden ve eğitim amaçlı teşrihlerden doktorların eline geçen bulaşıcı birtakım etkenlerin doğum koğuşuna taşındığını tahmin etti.

Semmelweis, muayenelerden ve doğumlardan önce doktorların ve tıp öğrencilerinin ellerini klorlu suyla yıkaması uygulamasını başlattı. Böylece ölüm oranı yüzde ikinin altına düşüverdi. Hastanenin başhekimi olan Dr. Johann Klein, Semmelweis'ın, ölümlere doktorların sebep olduğunu söyleyen bu fikrine kızmıştı; bu yeni kurama inanmayı reddetti. Bu kan davası git gide çirkinleşti ve siyasi bağlantıları olan Klein nihayetinde Semmelweis'ı Viyana'dan kovdurttu. Semmelweis, doğduğu kent olan Budapeşte'ye dönüp St. Rochus Hastanesi'ne girdi ve lohusa hummasına karşı muazzam başarısını orada da tekrarladı.

1860'larda benzer bir ihtilaf, Britanya'da bir tıp dergisi olan *Lancet*'in sayfalarını kırıp geçirmişti, çünkü Dr. Joseph Lister, açık yaralara müdahale edilirken dezenfektan olarak karbolik asit kullanmaya tıp camiasını ikna etmek istemişti.[2]

1879 gibi ileri bir tarihte bile, seçkin bir doktorun Paris Tıp Akademisi'ne seslenip, doktorların ellerinden hastalara hastalık bulaşabileceği fikrine hakaret yağdırmaya kalkışması gayet mümkündü. Ancak bu istisnai olayda doktorun lafı dinleyicilerden biri tarafından kesilmişti; yine bir doktor, podyuma çıkıp kara tahtaya streptokok bakterilerinin mikroskopta görünen şekillerini resmetmişti. Konuşmacının sözünü kesen doktorun adı Louis Pasteur'dü.

Yirminci yüzyıla girilirken hastalıklarla ve iltihaplarla ilgili mikrop kuramı büyük oranda kabul görmüştü, ayrıca cerrahi alanında da devrim yaşanmıştı. Antisepsinin yanı sıra anestezi de ortaya çıkmıştı. Artık hastaların ameliyatları sağ atlatma beklentisi makul bir düzeye çıkmıştı.

1950'ye gelindiğinde başka bir devrim yaşandı. Sülfonamit,[3] penisilin[4] ve sreptomisin[5] keşfedilmiş, yaygın kullanımları başlamıştı.

---

[2] *A.g.e.*, s. 218-25.

[3] *A.g.e.*, s. 252-54.

[4] *A.g.e.*, s. 254-56.

[5] Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine, Vol I: Basic Capabilities* (Austin, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 15.

1890 yılında, önde gelen ölüm sebebi tüberkülozdu; her sene 100.000 kişiden 245'i bu hastalık yüzünden ölüyordu. 1990 yılına gelindiğinde bu hastalıktan ölüm oranı yüz binde birin altına düşmüştü.[6]

MOLEKÜLER SAVAŞ

1928 yılında Alexander Fleming penisilini keşfettiği zaman, bunun nasıl işe yaradığını ne o ne de başkası biliyordu. Çok geçmeden, hücreleri meydana getiren moleküler makineler incelendikten sonra, eksiksiz bir anlayışa kavuşuldu.

Olan biten şudur. Bakterilerde sert bir hücre duvarı bulunur. Esasen deriye benzeyen bu duvar, büyük, karmaşık, birbirine bağlı moleküllerden oluşur. Bakteri, bu duvarı inşa etmek için sakkarit altbirimi olan uzun moleküller sentezler, bu uzun moleküllerin her birinin tepesine bir amino asit kondurur, böylece tarak benzeri bir yapı elde eder ve bu tarakları örerek peptidoglikan denen ağ benzeri yapıyı meydana getirir. Son adımı gerçekleştiren moleküler makineye transpeptidaz denir. Penisilin molekülü, transpeptidazın faal olduğu alana çöreklenmesini engelleyerek, onu işini yapmaktan alıkoyar. Bir şekerleme parçasını zımbalamaya kalktığınızda zımbaya ne olduğunu gözünüzün önüne getirirseniz, burada ne olup bittiği kafanızda canlanabilir. Ortamda yeterince penisilin varsa, bakterinin tüm transpeptidaz "zımbaları" tutukluk yapar, böylece peptidoglikanlardan bir deri meydana getiremezler. Bakteri bölünmeye çalıştığında, ki bu işlem için bol miktarda yeni deri gereklidir, parçalanır gider.

Bedenlerimizi penisilinle tıka basa doldurabiliriz, çünkü üst düzey hayvanlar peptidoglikan kullanmaz, dolayısıyla bloke edilecek transpeptidazları yoktur. Öte yandan bakteriler, evrimleşip penisilini yıkan bir enzim geliştirerek penisiline karşı dirençli hale gelebilir. O zaman da bu yeni enzimin faaliyetini engelleyen bir ilaçla onlara saldırabiliriz; bu itiş kakış böyle sürer gider.

Çağdaş ilaçların çoğu şu şekilde çalışır: Doğru biçime sahip moleküller, özgül bir moleküler makinenin işleyişini bozar. Bakterilerle insanların işleyişlerinde yeterince farklılık olduğu için şanslıyız, böylece onları mahvederken kendimize bir zararımız dokunmuyor. Bugünün tıp araştırmaları hücre içi işleyişi meydana getiren moleküler makineleri ve tepkime yollarını inceler ve neyin işe yaradığını rastgele kimyasallar deneyerek belirlemek yerine belirli bir etki yaratmak için

---

[6] *A.g.e.*, s. 9.

yeni molekül biçimleri icat ederler.

Ancak, ilaçların bazı büyük sakıncaları var. Moleküler makineleri bloke etmek konusunda başarılılar; oysa doğru düzgün çalışmayan bir moleküler makineyi onarmak zordur. Hastalığa bir bakteri ya da başka bir yaşam biçimi yol açtığı müddetçe sorun değil, çünkü ilaçlar bu canlılarda zehir etkisi yaratabilir. Fakat bu tür pek çok hastalığı iyileştirebiliyor olsak da, kendi mekanizmalarımızda işler ters gitmeye başladığında boy gösteren hastalıklar başımıza bela kesiliyor. 1890 yılında kalp hastalığı ve kanser her 100.000 kişiden 170'ini öldürüyordu. 1990 yılında ise bu rakam 514'tü.[7]

Unutmayınız ki bugün kalp hastalığından ve kanserden ölenlerin yaş ortalaması, yüzyıl önce aynı oranda tüberkülozdan ve zatürreden ölenlerin yaş ortalamasından yüksektir. Fakat aradaki temel fark, hastalık etkenini öldürmenin, hastalığı düzeltmekten çok daha kolay olmasıdır, özellikle de düzeltilmesi gereken şey, yani insan hücresi, öldürülmesi gereken bakteri hücresinden abartısız bin kat karmaşıksa.

Elbette, ilaçlarla birtakım "düzeltme" ve "bakım" işleri yapılabilir. Vitaminler, mineraller ve benzer besinler, hücrenin üretemediği ya da yeterince imal edemediği küçük molekülleri tedarik edebilir. Hemoglobin'deki demir gibi nadir elementleri, metabolizma mekanizmalarının erişebileceği bir biçimde sağlayabilirler. Moleküler seviyedeki çeşitli işlevleri başlatıp sonlandıran ilaç benzeri küçük moleküller olan hormonlar dışardan verilebilir. İnsülin buna bir örnektir. (Hormon reseptörlerini bloke ederek hormon faaliyetlerini engelleyen ilaçlar da yaygın.) Fakat tam gelişmiş biyolojik moleküler makineleri ilaç niyetine alamazsınız: Sindirim sisteminiz bu molekülleri, yediğiniz öteki proteinler gibi parçalar.

CERRAHİ

Bugünlerde tıbbın "onarım" yapan kanadı, cerrahidir. Cerrahinin marifetleri hayli inanılmaz: Kopan uzuvları yerine takmak ve organ nakli hiç de sıradan müdahaleler değil. Bazı uygulamalarda, bilhassa eklemler için, artroskopi ameliyatları yapılabiliyor. Artroskop, kalem boyutunda bir cihazdır; cerrah, ufak kesiklerin içine soktuğu bu cihazı ışık ve kamera olarak kullanıp ameliyat yapar. Büyük kesiklerle gerçekleştirilen ve doğrudan gözlemin yapıldığı ameliyatlara kıyasla

[7] *A.g.e.*

bu ameliyatın nekahet süresi oldukça kısa.

Nanoteknoloji, artroskopiyi bariz bir şekilde ileri taşıyacak. Vücuda saç kılından kalın olmayan bir iplik zerk ederek bazı ameliyat türlerini yapmak mümkün olacak. Bu iplik büyük bir nanomakine ordusu taşıyacak, böylece istenen bölgenin etrafında bu nanomakineler bir ağ inşa edip hastalıklı ya da hasarlı dokuyu yeniden inşa edecekler. Bu teknikle nanomakineler, mevcut ameliyatlarda yapılanın aksine dokuya dışardan malzeme getirip dokudan da malzeme uzaklaştırmaz, bunun yerine eldeki malzemelerle yeni bir doku inşa ederler.

Başka ameliyat türleri de nanoteknolojiden bir bu kadar, hatta belki daha fazla faydalanacak. Bilhassa, bugünün cerrahi teknikleri hücreleri parçalar, hücre dışı bağ dokusuna zarar verir, sinirleri ve kılcal damarları keser ve genelde, bir nekahet süresi geçirip iyileşmesi gereken her türlü tahribata yol açar.

Nanotek aletlerle donanmış cerrahlar, sizi çelik parçasından ibaret olan neşterle yarmayacak. Günümüzde kullanılan bisturiden küçük, fakat uçak gemilerinden karmaşık bir makineyle çalışacaklar. Bu makine hücreleri delip geçmek yerine etraflarını yaracak. Üzerinde çalıştığı dokuyla ilgili ayrıntılı tahlilini, bugünün tüm internet içeriğinden büyük olan bir veri tabanına gönderecek. Sinirlerin ve kılcal damarların faaliyetlerini geçici olarak askıya alıp bunları işaretleyecek. Ameliyat sona erdiğinde, başka bir düzenek gelip askıya alma işlemini tersine çevirebilecek, kaydedilmiş bilgiden ve yerleştirilmiş işaretlerden faydalanarak sağlıklı dokular için normal olan şartları tesis edecek. Başka bir deyişle, nekahet süresi ya hiç gerekli olmayacak ya da çok kısa sürecek, çünkü cerrah, sorunu düzelttikten sonra sizi hücre seviyesinde tekrar eski halinize getirecek. Esaser, büyük bir ameliyatın ertesi günü tenis oynamanızda, dansa gitmenizde ya da tüm gün çalışmanızda hiçbir mahzur olmayacak.

Üst düzey bir sanal gerçeklik yaratmak için kullanılacak olan teknoloji, yani duyu ve motor sinirlerden gelen sinyallere bağlanıp bunlara müdahale edebilecek bir teknoloji, anestezinin yerine geçmesi, bunun tehlikelerini ve nekahet süresini bertaraf etmesi bakımından paha biçilmez olacaktır. Bu teknik, ameliyatı hızlandırmakla ve kolaylaştırmakla kalmaz, ayrıca ameliyat sırasında sanal gerçeklik (SG) hattı üzerinden ne isterseniz onu yapabilirsiniz. Diyelim ki ameliyat masasında yatmak yerine tenis oynamak istiyorsunuz. Sizin boyutunuzda ve şeklinizde bir robot kortta dolanır; bu robot, anestezi teçhizatına veri hattıyla bağlıdır. Robottan gelen sinyaller duyu sinir-

lerinize yönlendirilir, böylece yaptıklarını görür ve duyarsınız. Keza, beyninizden kaslarınıza giden tüm sinyaller de robota yönlendirilir, dolayısıyla sizin niyetlendiğiniz eylemleri o gerçekleştirir. Ameliyata alınmış bedeninizden gelen gerçek duyu sinyalleri bastırılır, kısılır ya da kesilir ve keza, beyninizden bedeninize giden sinyaller susturulur; böylece, doktor pankreasınızı çıkartırken bedeniniz file önünde plonjon yapmaya kalkışmaz.

YEDEK PARÇALAR

Günümüzde, organ naklini gerektiren kimi vakalarda suni ve bağışlanmış organlar arasından seçim yapılabiliyor. Nanoteknoloji devreye girdiği zaman, fiilen tüm organların yapay biçimi mevcut olacak ve genelde asıl organlardan daha iyi çalışacaklar.

Fiziksel işlevler yerine getiren kemik ve kas gibi organları yenilemek en kolayı. Bugünün teknolojisi en rahat bunlarla başa çıkıyor, örneğin eklemlerle. Enerji gerektiren uygulamalar, mesela yapay kalp gibi çalışan pompalar, enerji tedarik etme yöntemi bakımından çetrefillidir. Bu, biraz tuhaf, çünkü vücut hücreleri mitokondriyle tıka basa dolu; mitokondri, şeker ve yağ moleküllerini elektriğe dönüştürür; takılan protezlerin beş on santimetre çevresinde hiç abartısız milyarlarca verimli, faal yakıt hücresi var, ama mevcut tıp teknolojisi bunlardan faydalanamıyor.

Teknolojimizin geri kalanı gibi tıp da mekanik ve moleküler marifetlerin arasındaki uçurum yüzünden sekteye uğruyor. Moleküler ölçekte, onarmaktan ziyade kırıp dökmek konusunda iyiyiz. Mitokondrilerimizdeki ATP sentaz motorlarını boğacak ilaçları muhtemelen yaratabiliriz (elbette ölümcül bir zehir olurdu), fakat yapay kalbe enerji versin diye bu enzimlerden faydalanamıyoruz. Nanoteknoloji, söz konusu uçurumu kapatacaktır. Nanotek organlara enerji, hücrelerin faydalandığı, yağ ve şeker yakan tepkimelerle tedarik edilebilir. Kalp ve kas gibi enerjiyle çalışan organlar, nanoteknolojinin el atacağı ilk organlardır. Sonrasında karaciğer gibi kimyasal işlevlere sahip ve böbreklerle akciğerler gibi molekül ölçeğinde fiziksel tasnif yapan organlara sıra gelecek.

Bütün vücuda yayılan ve vücuttaki her şeyle bağlantılı kan damarları, sinir sistemi ya da deri gibi organları yenilemek hepsinden zor olacak. Sorun, böyle bir organ oluşturmaktan çok bu organı yerine yerleştirmenin fiziki olanaklarıyla ilgili. Diyelim ki elinizde rengi solmuş bir duvar halısı var ve her telini tek tek sökerek soluk ipliği

yenisiyle değiştirmek istiyorsunuz. Dikiş makasınız, bir sürü ipliğiniz ve iğneniz var. Hazır mısınız? Onarmanız gereken duvar halısı Empire State Binası'nın bütününü kaplıyor.

Vücuda mikron ölçeğinde müdahale etmeye niyetlendiğimizde benzer bir sorunla karşılaşırız (moleküler seviye şöyle dursun!). Bu miktarda iş yapmaya insanın gücü yetmez. Çok güçlü mikroskoplar altında tek bir hücreye bakıp organelleri tek tek ekleyip çıkaracak teknoloji günümüzde mevcut. Bu işi bir dakika içinde bitirseniz ve günde yirmi dört saat çalışsanız, insan bedenindeki tüm hücreleri elden geçirmeniz yüz milyon yıl sürer.

Dolayısıyla, hücrelere ne yapmak istediğimize karar verdikten sonra, bu işi robotlar gerçekleştirecek. Vücutta, hücrelerin, hatta kılcal damarların bile önemli bir kısmıyla bizzat insanların ilgilenmesini gerektiren bir işi yapmanın imkânı yok.

TEK-HÜCRELİ TAKMA ORGANLAR

Kırmızı kan hücreleri oksijeni hemoglobine tutturarak taşır; bu karmaşık protein, o işi yapacak şekilde inşa edilmiştir. Ancak, basınçlı bir tüpün içine pompalayarak aynı hacimde daha fazla oksijen taşıyabiliriz. Nanoteknolojiyle birlikte, hepsi kırmızı kan hücrelerinden küçük olan oksijen süzgeci, pompası, tüpü, sensörleri ve denetim mekanizması yapabiliriz. (Hücreden küçük oluşunun sebebi şu: kırmızı kan hücreleri en küçük kılcal damarlardan katlanarak geçer, fakat oksijen tüpü katlanamaz.) Robert Freitas'ın icadı olan bu tür mekanizmaya solunumcuk (*respirocyte*) denir.[8] Solunumcuk esasen yapay kırmızı kan hücresidir.

Solunumcuğun hacmi yaklaşık bir mikronküp olabilir, kılcal damarlardan rahatlıkla geçsin diye pürüzsüz bir yuvarlaklığı vardır ve silindir şekilli bir basınç tüpü gibidir. İçinde bir uçtan ötekine kayabilen bir bölmesi bulunur, böylece oksijen ve karbondioksit içeren hacimleri birbirinden ayrı tutabilir.[9] Oksijene, karbondioksite ve yakıt olarak kullanacağı glukoz moleküllerine mahsus pompaları, süz-

[8] Robert A. Freitas Jr., "Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell," *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobilization Biotechnology* 26 (1998): 411-30. Ayrıca bkz. http://www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html.

[9] Freitas'ın özgün tasarımının sabit bölmeli küresel bir tüp gerektirdiğine dikkat edin. Sayısız sürümü mümkündür.

geçleri olacaktır. Ölçeğini beş milyon kez büyütsek, propan nakliyat kamyonları boyutunda ve giriftliğinde olur.

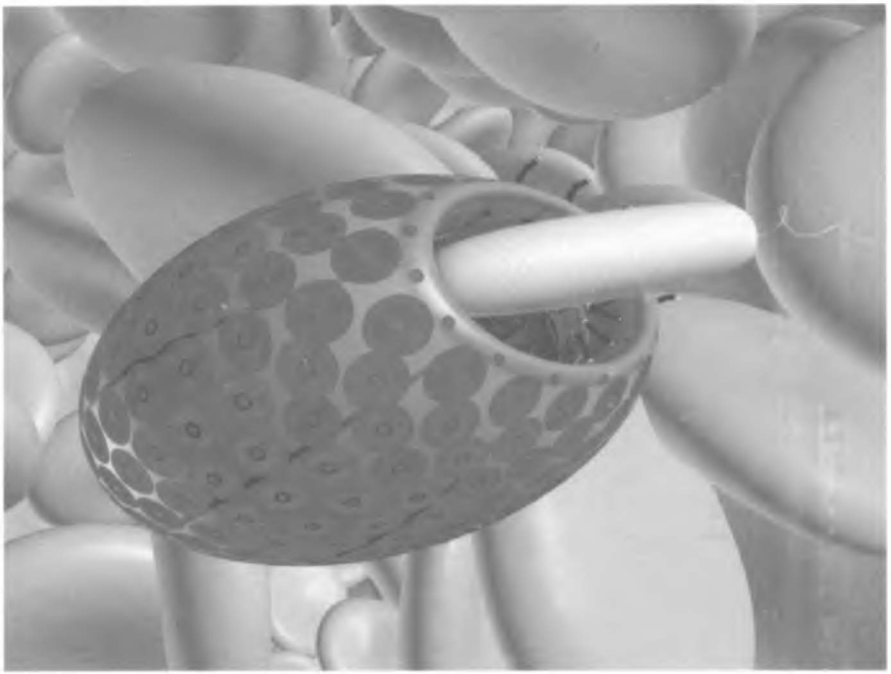
Solunumcuk, akciğerde olduğunu tespit edebilecek (yüksek oksijen seviyesi sayesinde) ve kendi içine oksijen pompalarken dışarı karbondioksit atacak; vücudun geri kalanında bunun tersini yapacak. Solunumcuğun deposu bir mikronküpün yarısı kadar olabilir; 2.000 atmosfer basınçta oksijen depolayabilir. (Eğer tüp sızıntı yaparsa, ortaya çıkan baloncuk 10 çarpı 10 çarpı 10 mikron boyutunda olur, yani sıradan bir hücre kadar; baloncuk, plazma içinde kolayca çözünür ve çevredeki başka solunumcuklar tarafından yeniden emilir.) Kırmızı kan hücrelerinizin dörtte birinin yerine solunumcuk koymak, kan dolaşımınızda bir buçuk kilogram oksijen depolamanızı sağlar. Kıyaslamak gerekirse, tamamen dinlenen bir vücut günde yaklaşık yarım kilogram oksijen kullanır; en yoğun egzersiz sırasında ise oksijeni on ila yirmi kat hızlı tüketir.

Solunumcuklar, tüm gün nefesinizi tutmanızı mümkün kılmanın yanı sıra, kalp krizlerine karşı sağlam bir sigortadır. Depolanmış oksijen, yardım gelene kadar idare etmenizi sağlar. Kalbinizden vurulsanız da aynısı geçerli.

Freitas'ın başka bir icadı olan mikropçul (*microbivore*), beyaz kan hücrelerinin ve antikorların yerine geçer ya da onlara destek olur.[10]

---

[10] Bkz. http://www.rfreitas.com/Nano/Microbivores.htm. Freitas mikropçulları şöyle betimler (kişisel görüşme): "Mikropçul dediğim nanorobotik fagositler (yapay beyaz kan hücreleri) ... kan dolaşımında devriye gezebilir, bakteriler, virüsler ve mantarlar dahil istenmeyen patojenleri arayıp yok edebilirler. Bu nanorobotların faaliyeti sırasında, hedef bakteri kanda dolaşan mikropçulun yüzeyine, yapışkan kağıda yakalanan sinekler gibi, türe özgü tersinir bağlanma noktaları üzerinden bağlanır. Kendi üzerine katlanmış duran robot kancalar, cihazın yüzeyinde bulunan yuvalarından fırlar, mikrobun hücre zarına sağlam bir şekilde tutunup patojeni cihazın ön tarafındaki giriş kapağına çekerler; patojen hücre buradan iki mikronküp hacmindeki parçalama odacığına alınır. Mekanik kıyım işleminden sonra, hücrenin kalıntıları ayrı bir 2 mikronküp hacimlik sindirim odacığına ittirilir. Bu bölmede, önceden programlanmış bir sırayla, mühendislik ürünü kırk farklı enzim sırayla altı kere önce zerk edilip sonra dışarı alınır, böylece hücre kalıntıları yavaş yavaş tekil amino asitlere, mononükleotitlere, basit yağ asitlerine ve şeker moleküllerine indirgenir. Sonra, temel moleküller cihazın arka tarafındaki egzoz kapağından kan dolaşımına, hiçbir zarara yol açmadan atılır. Böylece otuz saniyelik sindirim çevrimi tamamlanmış olur.

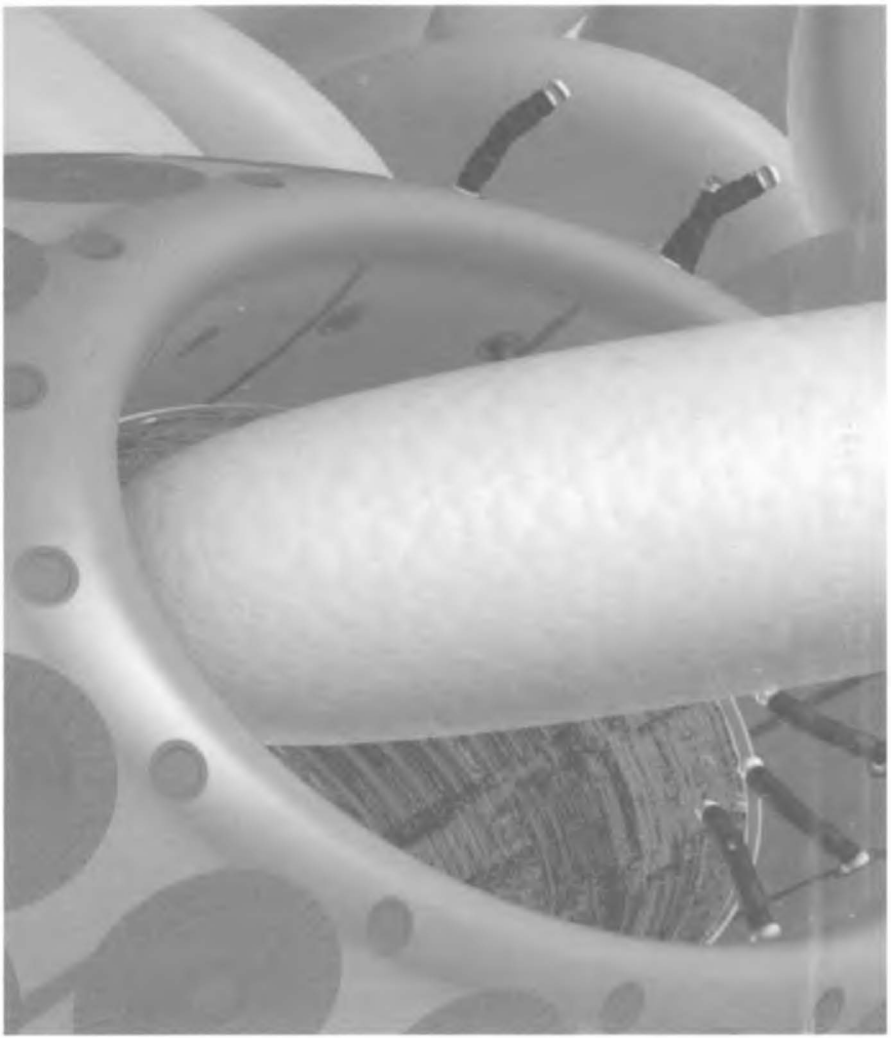


Şekil 25 Mikropçul. Savunmacı nanorobot kan dolaşımında devriye gezer, zararlı bakterileri yok eder. Robert Freitas'ın tasarımı, Forrest Bishop'un izniyle (http://www.lase.cc/).

Esasen bir nano-Savaşrobotudur; istilacı bakterileri, virüsleri ve mantarları fiziken yok eder. Belirli bir patojeni tanıyacak şekilde programlanmış bir doz mikropçul, grip ya da kızamık gibi hastalıkları dakikalar içinde tedavi edebilir. Kuzeydoğu Amerika'da yaşayan

---

Bakterinin antibiyotiklere ya da tüm geleneksel tedavilere dirençli olması fark etmez; mikropçul bunu her halükârda midesine indirecektir, en zehirli iltihapları bile, sepsise ya da septik şoka yol açmadan dakikalar ya da saatler içinde tamamen temizleyecektir, oysa antibiyotiklerden destek alan doğal fagosit savunma sistemleri aynı işi haftalar, hatta aylar içinde başarır. Dolayısıyla, her birinin boyutu 2-3 mikron olan mikropçullar, yardım görmeyen doğal sistemlerden ya da antibiyotik desteği alan biyolojik fagosit savunmalarından 1000 kat hızlı faaliyete geçer gibidir, ayrıca doktorun müdahale edebileceği menzili, yörede yoğun gözüken iltihaplar da dahil tüm olası bakteri tehditlerine kadar genişletirler. Benzer nanorobotlar, kanser hücrelerini tanıyıp yok etmek ya da dolaşımı tıkayan nesneleri dakikalar içinde temizleyip böylece felç hastalarını, kansızlığın yol açtığı hasarlardan çabucak kurtarmak üzere programlanabilir.



Şekil 26. Mikropçula yakından bakış. Bakterlye bağlanan uzar kısalır kancaları görmek mümkün. Robert Freitas'ın tasarımı, Forrest Bishop'un izniyle (http://www.lase.cc/).

insanlar, Lyme hastalığına yol açan spirokete karşı koruyucu dozda mikropçul alabilir, keza tropik bölgelerde yaşayan insanlar sıtmadan bu şekilde korunabilir.

Bedende tek tek pek çok hücrenin yerini makineler alabilir. Bazıları basit işlevler görür, örneğin istenildiği zaman çekiş gücü sağlamak gibi, yani kas hücrelerinin görevini üstlenebilirler. Mesela,

kasları yapay vinçlerle desteklemek son derece kullanışlı olacaktır. İşin püf noktası bu vinçleri doğru yere yerleştirmektir. Bu amaç uyarınca, kasların yerini alacak hücreler dokular içinde hareket edebilmeli, doğru yeri bulmalı, oraya yerleşmeli ve gerekli bağlantıları yapmalıdır. Kendilerini konumlandırmak için bir iç tanıma ve dış sinyal rekombinasyonu kullanabilirler. Bunu gerçekleştirdiyseniz, elbette inşa nanorobotlarının kemiklerinizi güçlendirmesini ve başka nanorobotların ise eklemlerinizin onarımını hızlandırmasını istersiniz.

Nanoteknolojinin, ortalama bir insan hücresinin hacmi olan on mikronkübe ne kadar makine sığdırabildiğini unutmayın. Bu makineleri araba aksamı boyutuna büyütsek, bu, neredeyse bir dönüm arazi üzerinde on yedi katlı bir binaya denk gelir. Olmadı yarım milyon araba motoru bölmesi düşünün. Böyle büyük bir mekanizmayla çok karmaşık işlevler yerine getirebilirsiniz.

Vücudun, kimyasal ya da başka türlü sinyallerle hücrelere ne yapması gerektiğini söyleyebildiğini unutmayın. Mevcut tıp araştırmalarında en umut vadeden alanlardan biri kök hücrelerdir. Bu hücreler, cenin hücreleri gibidir, henüz farklılaşmamışlardır, dolayısıyla kas, sinir hücresi, kemik, yağ vesaire hücresi olma potansiyeli taşırlar. Kök hücreler, hasarlı organları baştan yaratabilir.[11] (Elbette bu hücreleri ihtilaflı kılan durum, ceninle olan bağlantılarıdır. Ancak, yetişkin vücudu da birtakım kök hücreler içerir ve öteki hücreleri kök hücreye dönüştürmenin yolları var.) Tam olarak anlaşılmamışsa da işin püf noktası, kök hücrelerin kendi gelişimlerinde nasıl bir yol izleyeceklerini "bilecek" kadar donanımlı olmasıdır.

HÜCRE TAMİR MAKİNELERİ

Nihayetinde, kanser ve yaşlanma gibi illetlere saldırmak için, tek tek hücrelere girip genetik hataları düzelten ve örneğin serbest radikallerin, ışınımın yol açtığı başka hasarları tamir eden robotlar inşa etmek zorunda kalacağız. Bu önlem, bir hücreyi yenilemekten zorlu. Hücre içinde dolanan ve birtakım işler gören nanomakinenin boyutu bir mikron ölçeğindedir. Bu da yarım milyon yerine beş yüz araba motorluk bir mekanizmaya tekabül eder. Belirli işlevleri yerine getiren makineleri inşa etmek açıkçası mümkün olacak, fakat hücredeki her şeyden "anlayan" ve hücreyi mütemadiyen denetleyip düzelten genel

[11] Stephen S. Hall, *Merchants of Immortality: Chasing the Dream of Human Life Extension* (Boston: Houghton Mifflin, 2003), s. 225-42.

amaçlı bir tamir robotu pek muhtemel değil.

Öte yandan, belirli özgül koşulları denetleyen mekanizmalar gayet kullanışlı görünüyor. Kanserle savaşmanın dolaysız yollarından biri, hücrenin düzenleyici mekanizmaları bozulduğunda, bunu tespit eden ve hücreyi öldüren (ya da üremesini durduran) teşhis birimleri yerleştirmek olacak. Hücrelerde bu mekanizmalar zaten var. Örneğin, mevcut kanser vakalarının yarısı, "p53 tümör baskılayıcı" sisteminin bozulmasıyla ilişkili.[12] Nanomakineler ya p53 sisteminin işlevini taklit edebilir (veya geliştirebilir) ya da p53 üreten genlerde mutasyon arayıp düzeltebilir.

Hücrede kanser karşıtı tek sistem p53 değil; genelde kanser ortaya çıkmadan önce birden fazla öğenin bozulması gerekir. Denetlenip düzeltilecek ya da yedek parça tedarik edilecek pek çok öğe var. Son çare olarak nanomekanizmalar, kanserin bilinen moleküler işaretlerini sergileyen hücreleri bulup yok etmeye programlanabilir.

Yaramaz avare moleküllerin, serbest radikallerin ve ışınımın tek ters etkisi kanser değil. Bu etkenlerin sebep olduğu moleküler ölçekli hasarın başka başka kötü etkileri de var. Tekrarlamak gerekirse, bu sorunlar normalde hücrede bulunan mekanizmalarla düzeltilir ya da işlerin sarpa sardığı hücrelerin ölmesi sağlanır ve bunların yerini yeni hücreler alır.

Gerçi, tamir mekanizmalarına rağmen zamanla hasarlar birikir. Dahası, hücre savunma mekanizmalarının bazıları bizi yanıltıp ters köşeye yatırır. Örneğin Hayflick sınırı, bir nevi sayaçtır ve hücrenin ancak belli sayıda bölünmesine izin verir. Bu durum, kansere karşı savunmalardan biridir. Fakat insanın "tasarlanmış ömür uzunluğu" olan yetmiş yıl bittikten sonra, Hayflick sınırı yüzünden, hasarlı hücrelerin yenileriyle değiştirilmesinde sorun çıkar.

Yaşlanma konusunda önde gelen araştırmacılardan biri olan Aubrey de Grey, hücresel seviyede, yaşlanmaya yol açan yedi büyük sorun sıralar. Bunlar:

1. Hücrelerin ölmesi (normal süreç gereği) ve yerlerine yenilerinin geçmemesi.
2. Çalışan hücrelerin ve çalışmayı bıraktığı halde kendi başına

[12] Bruce Alberts ve diğ., *Molecular Biology of the Cell* (New York: Garland, 2002), s. 1344-45; David S. Goodsell, *Our Molecular Nature: The Body's Motors, Machines, and Messages* (New York: Copernicus/Springer-Verlag, 1996), s. 38-39.

ölmeyecek olan hücrelerin yerini yağ hücrelerinin alması.

3. Hücrenin genlerinde (DNA'sında) mutasyon meydana gelmesi, böylece hücrenin çalışmayı bırakması, başka hücrelere zarar veren maddeler üretmesi ya da kanserojen olması.
4. Mitokondri DNA'sında mutasyonlar. Mitokondri DNA'sı hücrenin çekirdek DNA'sı kadar korunmaz, dolayısıyla daha savunmasızdır. Bu gerçekleştiğinde, mitokondrilerin, hücrenin ihtiyaç duyduğu ATP moleküllerini üretmemesi.
5. Hücre içinde çöp birikmesi. Hücreler, içerde ürettikleri şeyleri mütemadiyen geri dönüştürür, fakat arada sırada öyle hatalı bir malzeme üretilir ki bunu sökmek mümkün olmaz. Yıllar içinde hücrede bu çöplerin birikmesi ve hücrenin çalışmasını engellemesi.
6. Hücre dışında çöp birikmesi. Bedende bu tür maddeleri ele alacak mekanizmalar mevcut, fakat biriken çöpün temizlik ekibini savuşturduğu vakalar görülebilir. Bunların başlıcaları: Kan damarlarında tabakaların oluşup damar sertliğine yol açması ve beyinde tabakaların birikip Alzheimer hastalığına sebep olması.
7. Bağ dokusu, atardamar duvarı, göz merceği vesaire gibi hücre dışında olup çeşitli fiziksel işlevler yerine getiren proteinlerde uzun vadeli kimyasal hasar.[13]

Liste muhtemelen bu kadar. 1960'larda ve 1970'lerde yaşlılık bilimi, yaşlanmayla ilgili yeni mekanizmalar keşfedildikçe, üstteki listeye yeni hasar türleri eklemiştir. Fakat sonrasında liste, yirmi yılı aşkın süre değişmeden kalmıştır. Bu kategorilerin temsil ettiği hasarları onarmayı öğrendiğimiz zaman, muhtemelen ömrümüzü uzatmakla kalmayıp, gençlik ateşimizi de uzun süre yakmayı sürdüreceğiz.

Bütün bu sorunların, nanoteknolojik olmayan teknikleri kullanan birtakım tedavilere yanıt verebileceğini belirtmek önemli: 1 numara için kök hücreler, 2 numara için hedefleyerek hücre öldüren ilaçlar, 3 numara için kanseri hedef alan tüm o araştırmalar vesaire. Çoğunlukla bu teknikler hâlâ laboratuvar düzeyinde, fakat yaşlılık araştırmaları konusunda çok heyecanlı zamanlardan geçiyoruz.

Yaşlanmaya yöneltilen saldırı, nanoteknoloji devreye girmeden,

---

[13] Bkz. http://www.gen.cam.ac.uk/sens/.

bugünün ya da yakın geleceğin becerileriyle sınıra gelmiştir ki bu kitapta bahsettiğim diğer nanoteknoloji uygulamaları için de aynı durum geçerli. Dolayısıyla, nanoteknoloji sayesinde bu işin altından kalkabileceğimize güvenimiz tam olmalı. Moleküler seviyede ölçüm yapabilmenin, müdahalelerde bulunabilmenin ve olan biteni izleyebilmenin, bilgi birikimimizi ve yeteneklerimizi artırmaktan başka bir sakıncası yok.

De Grey'in bahsettiği yedi patolojiyi ele alırken nanoteknoloji bize şu şekilde yardımcı olabilir:

1. *Hücrelerin ölmesi:* Burada kilit unsur yine kök hücreler. Ancak, nanomakineler normalde bölünmeyecek hücreyi, bölünmesi için dürtükleyebilir, örneğin telomer bölgelerini uzatarak hücre bölünmesine önayak olabilirler.

2. *Paydos eden ya da yağa dönüşen hücreler:* Çalışmayan ya da yeterince çalışmayan hücrelerin tespiti, işin zor kısmıdır. Etrafta dolaşıp hücreleri denetleyen "nüfus memuru" nanorobotlar işe yarayabilir. Çürük hücreleri öldürmek işin kolay tarafı. Yağ hücrelerini kas hücresine ya da kök hücreye dönüştürecek bir iç "şalter" söz konusu olabilir.

3. *Genlerde mutasyonlar:* Hücre p53 sistemini ve DNA onaran (ya da fazla zarar görmüşse hücreyi öldüren) öteki altsistemleri denetleyen ya da yaygınlaştıran nanomakine.

4. *Mitokondri DNA'sında mutasyonlar:* Birkaç seçenek mevcut: Mitokondri DNA'sını denetleyip onarmak, bu DNA'nın üretmesi gereken proteinleri imal etmek ya da mitokondrilerin yerine mekanik mitokondriler koymak.

5. *Hücre içinde biriken çöp:* Hücre tamir makinelerinin iki temel seçeneği olacak: Çöpü yerinde ayrıştırmak ya da oradan uzaklaştırmak. Artık hangisinin daha uygun olduğu görülecektir.

6. *Hücre dışında biriken çöp:* Bunun için hücre tamir eden makinelere gerek bile yok; birikenleri temizleyecek daha büyük makineler yeterli olacaktır.

7. *Hücredışı yapılarda açılan hasarlar:* 6. maddedeki gibi ama daha büyük inşaat ve tamir nanorobotları; ancak, hasar arayan ve gerektiğinde yama yapan makineler de lazım.

Freitas, "müzminleşmeme," yani saati tersine işletme fikrine sarılarak, yaşlanmayı askıya alma düşüncesinin ilerisine geçmiştir. Müzminleşmeme, önce biyolojik yaşlanmayı durdurur, sonra bedeninizdeki her doku hücresi üzerinde üç farklı işlem uygulayarak biyolojik yaşınızı düşürür:

Birincisi: Biriken metabolizma toksinlerini ve parçalanmayan maddeleri uzaklaştırmak için her hücrede bir hücre bakım onarım makinesi kullanılacaktır. Bakım sonrasında, bu toksinler yavaş yavaş birikmeye devam eder, tıpkı tüm yaşamınız boyunca biriktikleri gibi, dolayısıyla yaşlanmanın önünü almak için belki de senede bir kez tüm vücudun temizlenmesi gerekecek.

İkincisi: Tüm hücrelerinizde birikmiş genetik hasarı ve mutasyonları düzeltmek için kromozom yenileme tedavisinden[14] faydalanılabilir. Bu işlem de senede bir ya da daha seyrek tekrarlanabilir.

Üçüncüsü: Mitokondrilerin şişmesi ya da çalışamaz hale gelmesi gibi hücrenin kendi başına onaramayacağı kalıcı yapısal hasarlar, hücresel tamir cihazları sayesinde gerektiğinde hücre hücre tersine çevrilebilir.

Bu tarz müdahalelerin net etkisi, tüm biyolojik yaşlanmanın askıya alınmasının yanı sıra, biyolojik yaşın, hastanın istediği biyolojik yaşa düşürülmesidir. Bu tarz müdahaleler bugünden itibaren en az yirmi otuz yıl içinde alelade hale gelebilir. Freitas şunu belirtir: "Eğer fizyolojik bakımdan yaşlıysanız ve bunu istemiyorsanız, o zaman sizin için yaşlılık ve yaşlanma bir hastalık sayılır, yani tedavi görmeyi hak ediyorsunuz demektir. Yıllık muayeneler, temizlikler ve kimi büyük onarımlar sayesinde biyolojik yaşınız, sizin seçtiğiniz aşağı

---

[14] Ayrıntılar için Freitas'a kulak verelim (şahsi görüşme): "Patolojik işlev için hücrede en olası yer hücre çekirdeğidir, daha doğrusu kromozomlardır. Doktorun denetlediği nanorobotların, hastalıklı hücreden mevcut kromozomları çıkartıp yerlerine yenilerini sokması hücre cerrahisi için basit bir yöntem olacak.... Bu yedek kromozomlar, hastanın vücudu dışında, laboratuvarda tezgâh üstü bir imalat cihazında ısmarlama usulü imal edilecek; bu cihazda, hasta bireyin genomunu kalıp olarak kullanan bir moleküler montaj hattı bulunacak. Yedek kromozomlar uygun bir şekilde metilsizleştirilecek, böylece nanorobotların gönderildiği hücre tipinde faal olan uygun eksonlardan protein sentezlenebilecek. Eğer hasta isterse, kalıtsal olarak hatalı genlerin yerine düzgün baz çifti dizileri yerleştirilebilecek, genetik hastalıklar kalıcı olarak iyileştirilebilecek ve kanserli hücreler sağlıklı bir hale kavuşacak şekilde yeniden programlanabilecek.

yukarı sabit bir fizyolojik yaşa, yılda bir kez çekilebilir. İdeal gençliğin sürdürülmemesi için bir sebep göremiyorum; yirmili yaşlarınızın başına, o sağlam fizyolojiye dönmenin bakımı kolay ve çok daha eğlenceli olacaktır. Böylece Beklenen Ölüm Yaşı 700 ila 900 takvim yılı civarına çıkabilir. Yine de tesadüfî sebeplerden ötürü ölebilirsiniz, fakat ömür uzunluğu şimdikine kıyasla on kat uzayacaktır."[15]

AHLAKİ MESELELER

Yeni yeteneklere kavuşan tıbbı iki farklı ahlaki mesele bekliyor gibi görünüyor. İlki, acaba bir tedaviyi ya da gelişmeyi sırf var diye uygulamalı mıyız sorusudur. İkincisi, sırf insanları tedavi etmek amacıyla yeni insanlar ya da insan organları yaratmalı mıyız sorusudur.

İlk türe giren soruları transhümanizmle ilgili bölüme bırakacağım, gerçi tedavi söz konusu olduğu müddetçe, bu meselelerin çözümü kolay görünür. İkinci tür sorulara gelirsek, nanoteknoloji çetrefil sorunları ustalıkla idare edebilir.

Bunun sebebi, bizi belirli yeteneklere doğru götüren nanoteknoloji rotasının, makineler inşa etmeyi içermesi ve bunların açıkça makine olması, özgül, planlı işlevleri bulunmasıdır. Ancak, biyoteknoloji rotası, bizi, aksamla uğraşmak ve insanlarla uğraşmak arasında muğlak bir bölgede bırakır. Klonlamanın, organ alıp satmanın ahlakı gibi sorular doğurur. Nanoteknoloji devreye girince, hastanın kendi hücrelerini düzeltebileceğiniz ve asılları kadar sağlam mekanik aksam inşa edebileceğiniz için, bu tür sorular, tedavilerin yolunu kesmez.

UZUN YAŞA, REFAHA ER

1850'de doğan Amerikalı erkeklerin ömür uzunluğu yaklaşık otuz sekiz yıldı. 1990 doğumlu Amerikalı erkeklerin ömür uzunluğu yetmiş üç yıl civarındadır.[16] Başka bir deyişle, bu dönemde her dört yılda bir ömür uzunluğu bir sene artmıştır. (Elbette artış düzenli değildi; penisilin gibi tıbbi ilerlemeler ve savaşlar değişim hızını etkilemiştir.) Tıbbın yanı sıra, bu iyileşme büyük oranda ilk sanayi devrimi-

---

[15] Robert Freitas, kişisel görüşme, 2004.

[16] Bkz. http://www.ac.wwu.edu/~stephan/webstuff/demographs/life.data.html, *Historical Statistics of the United* States [Amerika Birleşik Devletleri'nin Tarihsel istatistikleri] adlı kaynaktan alınmıştır.

nin etkilerinden ötürüdür: Düzgün beslenme, giyim, barınak, sıhhi imkânlar vesaire.

Gönenç ve tıp, ölüme yol açan sebepleri bir bir ortadan kaldırdıkça, nüfus içinde yaşam süresi ileri yaşlara doğru artmaya başlamıştır. Fakat yaşlanmanın gizemli olmadığını gördük; yaşlılığa, izah edilebilir görüngüler sebep olur ve yakın gelecekte elimizde bunlarla mücadele edebileceğimiz araçlar olacak. O halde, bu tarihsel gidişatın frene basması için bir sebep yok. Dahası, önümüzdeki yirmi otuz yıl buralarda takılmaya devam edebilirseniz, muhtemelen daha uzun süre yaşamayı umabilirsiniz.

1960 yılında kamunun ve özel sektörün sağlığa harcadığı toplam para 27 milyar dolardı. 2000 yılında bu rakam 1,3 trilyon dolara çıkmış, yani neredeyse elli katına fırlamıştı. 2010 yılına gelindiğinde ikiye katlanıp 2,6 trilyon dolara ulaşması bekleniyor.[17] Günümüzde sağlık sigortalarının yüksek masraflarıyla yüzleşen herkesin aklına gelen ilk soru, acaba nanoteknoloji, imalat ve öteki yüksek teknolojili uygulamalar için öngördüğümüz büyük maliyet indiriminin aynısını tıp için de mümkün kılacak mı sorusudur. Uzun vadede bu oldukça muhtemel. Kısa vadede ise pek olası değil. Bu durumun pek çok yapısal nedeni var, fakat temel sebep, nanoteknolojinin getirdiği her gelişmenin, kanseri, AIDS'i ve yaşlılığı anlayıp mağlup etmek için verilen büyük mücadele tarafından yutulacak olması; kalp hastalığını, eklem iltihabını, soğuk algınlığını söylemiyorum bile. Bu illetler, teknolojinin şu an için belli belirsiz hayal edebildiğimiz yeteneklere ulaşacak şekilde, farklı cephelerde ilerlemesiyle birlikte, yirmi birinci yüzyılın ancak ikinci yarısında yenilgiye uğratılabilir. Bunun ardından, maliyetlerde azalma kök salmaya başlayıp, insan makinesinin bakımının maliyeti nihayet makul bir seviyeye oturacaktır.

Sonrasında *gerçek* sorunla yüzleşeceğiz: İnsanlara 250inci ya da 500üncü yaş günlerinde ne hediye etmek gerekir.

---

[17] US Census BureauABD Nüfus Dairesi, *The Statistical Abstract of the United States*, http://www.census.gov/statab/www/, Health (Sağlık) tablosu no. 112.



ON SEKİZİNCİ BÖLÜM

KİŞİSEL GELİŞİM
Transhümanizme Bir Bakış

Miranda: Ah, harika bu!
Ne hoş yaratıklar bunlar böyle!
İnsanoğlu ne de sevimliymiş!
Ey güzelim yeni dünya,
Şu insanlarına bak![1]

William Shakespeare, *Fırtına*

Yaralanan ya da genetik kusuru olan insanları iyileştirmekle insan yeteneklerini geliştirmek arasında geniş ve kaygan bir eğim var. İnsanlar doğuştan gelen yetenekleri ve güçleri bakımından epey farklılık gösterir. Kimileri güneş yanığına karşı âdeta bağışıktır, kimileri ise açık bir günde dışarıda bir saat kalınca takatten kesilir. Çoğu insan bunun arasında bir noktada bulunur. Aynısı, boydan zekâya kadar uzanan farklı özellikler için de geçerli. Kansızlık çeken birinin kanına solunumcuk eklemek bir tedavidir. Normal bir insanın kanına solunumcuk eklemek ise bir takviyedir. Normal sınırları içinde kalan fakat ortalamanın biraz altında olan kişilerin kanına eklenirse ne demek gerekir? Örneğin Andlar ya da Himalayalar gibi yüksek rakımda yaşamaya çalışsaydınız, solunumcukların yardımıyla komşularınızın normal, evrimleşmiş randımanına ulaşabilirdiniz.

Zekâ hakkında ne demeli? Bir süre için nanoteknoloji, beyinde gerçekleşecek hakiki, organik gelişim konusunda biyoteknolojinin arkasında ikinci derece rol oynayabilir. Buna rağmen; insanlar, zekâlarını artırmak için binlerce yıldır teknolojiden faydalanıyor. Sırf kalem ve kağıtla yapılabilecekler inanılmazdır. 629.904.623 rakamıyla 984.571.094 rakamını kağıt kalem yardımıyla çarpmak zahmetli-

[1] Alıntı: *Fırtına*, Bülent Bozkurt (çev.), Remzi Kitabevi, s. 115 —*çev. notu.*

dir, fakat bunlar olmaksızın çarpmak imkânsız.

Elbette günümüzde bu asla uğraşacağınız bir şey değil. Hesap makinesi ya da bilgisayar kullanırsınız. Dahası, nadiren çarpma işlemi yapmak zorunda kalırsınız. Hesaplamalar, sizinle daha üst bir seviyede etkileşime giren yazılımlar tarafından yapılır ve sizin adınıza ne kadar çarpma işlemi yapıldığını asla bilmezsiniz. Yazılım, düşünsel becerilerinizi birçok şekilde yükseltebilir; vergi formu doldurma programlarını ya da bilgisayar destekli mühendislik tasarım sistemlerini düşünün.

Diyelim ki cebinize sığan süper bir avuç içi bilgisayarınız var. Belleği, kütüphane dolusu kaynakçayı saklayacak kadar geniş; ayrıca gerekli olduğu zaman internete kablosuz erişebiliyorsunuz. Ses ve imge işleme konusunda en son yazılıma ve bunu gerçek zamanlı olarak çalıştırmak için gerekli bilgi işlem gücüne sahip. Taktığınız gözlük, size gerçek dünyanın yaratılmış bir imgesini sunuyor; bu imge, çeşitli başlıklar, hatırlatmalar, kısa bilgilerle bezeli, üstelik bunun için bir bilgisayar ekranı bulmanız ya da yanınızda dizüstü bilgisayar taşımanıza gerek yok.

Bu sistem, sizin söylediğiniz ya da huzurunuzda söylenen her şeyi dinliyor. Gözlüklerdeki minik kameralar sayesinde gördüğünüz her şeyi izliyor. Her şeyi kaydediyor, böylece boş vaktinizde sohbetlerinizi gözden geçirebilirsiniz. Tanıştığınız herkesi hatırlıyor ve isterseniz, bir daha karşılaştığınızda bu kişilerin üstüne sanal bir isim etiketi yapıştırıyor. Ne zaman bir soru sorulsa, yanıtı arayıp buluyor ya da hesaplıyor ve görüş alanınıza bir alt başlık olarak yerleştiriyor. Aynı şekilde, yazılı ya da sözlü, başka dillerden çeviri de yapıyor. Ya da aslında, kendi dilinizde yazılmış bir şeyler okurken, bakışlarınız bir kelimeye takılır ve "ha" diye mırıldanırsanız, kelimenin anlamı gözünüzün önünde beliriveriyor.

Böyle bir sistem şimdiden mümkün ama iki istinası var: Bu işi yapan bilgisayar cep boyutunda değil, sırt çantası büyüklüğündedir ve yazılım tam anlamıyla mevcut değil, gerçi yazılımın tüm temel becerileri çeşitli laboratuvarlara dağılmış durumda. Nanoteknoloji sayesinde bütün sistemi tek bir göz merceği içine sığdırmak mümkün olacak. Bilgisayar ne ölçüde akıllı olursa, hareketleriniz de o kadar akıllıca olur.

Elbette bir sonraki adım, bu bilgisayarı vücut içine yerleştirmek. Beyin sapına monte edebilirsiniz, böylece sistem, beyne gelen tüm sinir hücresi sinyallerini dinleyebilir, kamera yerine gözlerinizi, mikrofon yerine kulaklarınızı kullanabilir. Aslında, beynin üst seviyele-

rinde yapılan işlemlerden istifade edebilir, örneğin görsel sisteminizin yaptığı önişlemlerden faydalanabilir. Sonra, ipuçlarını ve yanıtları uygun duyu sinirlerine zerk eder.

Elbette, biyolojik insan duyularına bel bağlamaya gerek yok. Görme yetisinin menzilini teleskopik görüşten mikroskobik görüşe, kızılaltından morötesine kadar genişletebiliriz. Bunun için gözde değişiklikler yapmak gereksiz; mikroskobik sensörlerle kaplı bir deri parçası göze yerleştirilir ve bu doku, faz sıralı optik anten gibi davranır. (Normal insan görüşüyle, sıradan bir deri parçası gibi görünür.) Tattığınız ya da kokladığınız her şeyin tam kimyasal bileşimini bilebilirsiniz.

Kendi içimize bakabilmek ve organlarımızın sağlık durumunu görmek epey faydalı olacaktır; bu minvalde işi, organlarımızı cerrah gözüyle incelemekten hücrelere tek tek mikroskobik muayene yapmaya kadar vardırabiliriz. Kendi dışınıza bakarken ise, cemiyet, şirket, ulus gibi parçası olduğunuz büyük yapıları, enformasyon şebekeleri aracılığıyla görmenin yolları ortaya çıkmalı; bu yapılar, içgüdüsel olarak anlaşılabilir olan entegre bir teşhirle sergilenmeli.

Sanal gerçeklik hakkında yeterince kalem oynatıldığı için şimdilik daha fazla bahsetmenin bir faydası olmayacak. Ancak şunu belirtmek gerekir ki sizi hayali bir dünyaya ya da farklı bir mekâna taşımak için duyu sinirlerinize tamamen sentetik sinyaller zerk etmek, belirli bir seviyeye yükseltilmiş yetilere, basit bir ilave yapmak olacak. Artık bürolara gerek kalmayacak; eğer sermayeniz bilgiyse, parkta bir gezintiye çıkmanız yeterli. Bilgisayarla yapabileceğiniz her şey akıl gözünde görülebilir; toplantı mı yapacaksınız, orman içinde bir açıklıkta taş üstüne oturun, katılımcılar etrafınızda sanal olarak belirsin.

Bir başka bu kadar faydalı ve eğlenceli uygulama, hayali arkadaşlar olacaktır. Nanoteknolojiyle birlikte, vücudunuzun acayip noktalarına yerleştirilmiş muazzam bir bilgisayar gücünüz olabilir; bunlar da enerjisini sporla yakamadığınız bütün o tatlılardan alır. Bu bilgisayar gücü, arkadaşlar simüle etmenize yarayabilir. Siz başka şeylerle uğraşırken, onlar düşünsel işlerle meşgul olabilir. Sanal arkadaşlarınızı düşünce yoluyla "duyup" aynı şekilde "konuşursunuz," onlar da sizin görüş alanınızda sunumlarını yapar. Gerçek yapay zekâya ne ölçüde yaklaşırlarsa, bir sorunla boğuşurken tek kişi olmaktan çıkıp o ölçüde büyük, kaynaşmış bir takım olursunuz.

ALIN TERİ

Günümüzde tıbbi protezler çoğunlukla fiziksel: Kollar, bacaklar vb. Teknoloji gelişip bedenin karmaşık işlevlerini faydalı olacak ölçüde taklit ettikçe, incelikli protezler de ortaya çıkıyor, örneğin kalp pilleriyle başlayıp iç kulak protezlerine uzanan bir yelpazede.

Tam teşekküllü beşinci aşama nanoteknoloji devreye girince, vücudun bütünü fiilen yenilenebilecek ve yetenekleri yükseltilebilecek. Bunun sebebi öncelikle bedenin gücünü ve dayanıklılığını artırmak değil, yaralanmaları sağ salim atlatmak ve iyileşmek olacaktır; fiziksel güç gerektiren işleri ise robotlar yapacak.

En büyük dönüm noktası, standart bir biyolojik bedenin görüntüsünü ve hissiyatını sürdürüp sürdürmemek konusu olacak. Yeni nesillerin vücutlarında değişiklikler yapma tutkusu düşünüldüğünde, biz yaşlılar için bunun taşıdığı önem onlar için sloganın ötesine geçmeyebilir. Uçma yetisi kazanacaksam vücudumda köklü değişiklikler yapılmasına katlanabilirdim. Hayal gücü sınırlarını zorlayan, biyoteknoloji eseri en uç değişiklikler gerçekleştirilmiş bile olsa, biyolojik insan bedenlerinin bu işin üstesinden gelmesi pek muhtemel değil. İnsanın uçması sadece nanoteknolojiyle gündeme gelebilir.

Daha yakın ve olası bir saik, yaşlanma meselesidir. Biyoteknolojinin umut vaat eder görünen pek çok yaklaşımı var; fakat uzun vadede, evrimin geçici çarelerinin yerine, mütemadiyen sıfırlanması gereken biyolojik saatlerin olmadığı yeni bir model koymak daha basit bir çözüm olabilir. İleride, sadece yaşlanmaya değil, tekmil hastalıklara karşı bağışıklık kazanabilirsiniz, her şeyi yiyebilirsiniz (odun, kömür, mum ya da gazolin dahil), güneş sistemindeki her gezegenin yüzeyinde herhangi bir yerde ya da uzay boşluğunda yaşayabilirsiniz.

Ancak, beynin yerine yenisini koymakla kıyaslanınca, tüm bunları hayata geçirmek basit ve kolay sayılır. Bu noktada yine kaygan bir zemin karşımıza çıkıyor. Yukarıda değindiğimiz "vücuda yerleştirilen süper avuç içi bilgisayar" gibi değişiklikler, zekâyı artırabilir, fakat beyni değiştirmez; bu değişiklikler sadece beyinle konuşan cinstendir. Yakın gelecekte, beynin iç işleyişini anlayacağımızı hayal edebiliriz (bu bilim dalı en az nanoteknoloji kadar hızlı ilerliyor). Sonra, sadece beyne giren ve çıkan sinirlere değil, beynin doğrudan içine de sinyaller zerk edebiliriz. Yanıtın görüş alanınızda belirmesi yerine, onu "hatırlarsınız." Hayali asistanlarınız "aklınızı okur" ve onlara ne

yapacaklarını söylemenize gerek kalmaz.[2] Şimdi bakıp 10-15 santimetre uzunluğunda olduğunu tahmin edeceğiniz bir kaleme aynı şekilde bakarak, boyunun tam 152,4 milimetre olduğunu anlarsınız.

Bir an için farklı bir yöne bakalım; sinir hücrelerinin işlevlerini taklit eden bir makineyi beynin yerine koyup yanına hormon dengelerinin ve kimyasal sinyal yollarının etkilerini taklit eden başka bir devre ekleyebiliriz. Bu makine, beynin gerçek sinir hücrelerinden küçük, hafif ve çok daha dayanaklı olabilir. Daha önemlisi, çok daha hızlı işleyebilir. İnsan beyninin kapladığı oyluma, şimdikinin bin ila milyon katı ham bilgi işlem gücü yerleştirebilirsiniz. Artık hayali arkadaşlarınız bir aile kadar değil, bir şehir ölçüsünde kalabalıktır; hepsi ne istediğinizin bilincinde, fakat sizin zaman ayıramayacağınız ayrıntılar üzerinde çalışan epey uzmanlaşmış bireylerdir ve girift örgütlenmeler halinde bir araya gelirler. Üstelik tüm bunlar hep kafanızın içinde cereyan ediyor.

Artık, iki yüz kişilik topluluk yerine, herkesin herkesi tanıdığı iki yüz bin kişilik toplulukta yaşamaya uygunsunuzdur. Riskleri değerlendirebilir, faydaları gözden geçirebilir, karmaşık teknolojileri ve sosyal sistemleri akıllıca tasarlayıp hayata geçirebilirsiniz. Video oynatıcınızdaki saati ayarlamak için muhtemelen bundan daha fazla çaba gösteriyorsunuzdur.

NE GEREK VAR?

Teknolojiden korkanların bakış açısını anlayamıyorum? Üstelik anlamayı denedim, gerçekten. Bana, *The End of Nature*'ın [Doğanın Sonu] yazarı Bill McKibben'ın bir kitabı tavsiye edilmişti.[3] Teknolojiden vazgeçmeye yönelik son çağrısının adı *Enough: Staying Human in an*

---

[2] Tamamen sizin denetimizde oldukları ve ancak sizinle etkileşime girebildikleri müddetçe, buna itiraz etmek yersiz gibi görünüyor. Eğer akıl okuma işini başka bir insan yaparsa sorun çıkmaya başlar. Teknolojik "zihin okuma"nın kaba bir başlangıcı günümüzde mevcut, örneğin beynin çeşitli bölgelerindeki faaliyet seviyesini belirleyen PET taramaları gibi. (Bkz. Bruce H. Hinrichs, "The Science of Reading Minds," *Humanist* 61, no. 3 (May/June 2001), internet erişimi için: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_ml1374/is_3_61/ai_75122053.) Klasik bilimkurgu filmi *Yasak Gezegen*'de Krell ırkından alabileceğimiz bir ders var; bu nevi asistanların açık, bilinçli denetimi haricinde başka bir denetim türüne izin vermek felaketlere yol açabilir.

[3] Bill McKibben, *The End of Nature* (New York: Random House, 1989).

Engineered Age'tir [Yeter Artık: Mühendeslik Eseri Bu Çağda İnsan Kalmak]; bu kitabında biyoteknolojinin insan gelişimi için kullanılmasına karşı çıkar. McKibben, zekânın geliştirilmesine nasıl baktığını şu sözlerle anlatıyor:

> Elbette, silahlanma yarışlarının sorunu, hiçbir yere varmaması. Herkesin IQ puanı 30 artsa, IQ'nuzun 150 olması, sizi Stanford'a girmeye öncekinden daha fazla yakınlaştırmaz.[4]

IQ'nuzu ya da çocuklarınızın IQ'sunu değiştirmeyi istemenin gerekçesi hiç de Stanford'a falan girmek değil. Benim IQ'm sabit kalsa bile, herkesin IQ'sunun otuz puan arttığı bir dünyada daha mutlu olurdum. Düşük IQ'yla güçlü bir bağıntı sergileyen suçların fiilen ortadan kalktığını bir düşünün.[5] Ortalama insan için otuz IQ puanı, yeni bir iş için eğitilmeye ihtiyaç duyduğu kategoriden, eline kitap alıp eğitim kısmını kendi başına hallettiği kategoriye geçiş anlamına gelir; böylece hayatıyla ilgili çeşitli tercihlerin neticelerini anlama olasılığı yükselir ve uzun vadede bu işten kârlı çıkar. Kamusal söylem; banal, duygu yüklü, asgari ortak payda tarzı kısa açıklamalar içeren mevcut düzeyinden daha bilinçli münazaralara yükselecektir. Bunun sebebi elbette siyasetçilerin ahlaklı hayvan seviyesine yaklaşması değil, ortak paydanın zekileşmesidir. Lokantaların müzik kutularında Beastie Boys yerine Bach çalındığını görebilirim. Berberimle hava sıcaklığı yerine termodinamik üzerine sohbet edebilirim.

McKibben, insan niteliklerinin geliştirilmesi aleyhine ileri sürebileceği pek fazla ayrıntı bulamamıştır. Kitabın genel havası düşünüldüğünde, bu biraz şaşırtıcı.[6] Çoğunlukla transhümanistlerin (teknolojik kişisel gelişim yanlılarının) fikirlerini sergileyip, tanıdığım ve/veya kanaatlerine saygı duyduğum insanlardan alıntı yapıp sanki bu ifadeler kendi başlarına yeterince korkunçmuş gibi bir durum yaratıyor.[7] Belki bu fikirler onun için ürkütücü. Gerçi tanımladığı kimi

---

[4] Bll McKibben, *Enough: Staying Human in an Enginereed Age* (New York: Owl/Holt, 2003), s. 34.

[5] Richard J. Herrnstein ve Charles Murray, *The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life* (New York: Free Press, 1994), s. 235-52.

[6] McKibben, *Enough*, s. 32-33, 43, 99-100, 162, 202-204.

[7] *Enough* başlıklı kitabında McKibben şu isimlerden bahseder: Nick Bostrom, s. 202; Damian Broderick, s. 69, 147, 156-58, 202; Rodney Brooks, s. 67-68, 72-75, 88, 99-100, 120-121, 162, 204-205, 225; Arthur C. Clarke, s. 102, 107-108, 161; K. Eric Drexler, s. 79-85, 90, 104, 113, 155, 200; Robert Freitas, s. 90-91; 98, 147; Keith Henson, s. 120; Ray Kurzweil, 68-69, 76, 81, 84,

sorunlar hakkında düşünce yürütmek faydalı olacaktır.

Öncelikle, bir maraton koşucusu olarak, maraton koşmayı kolaylaştıracak olası fiziksel gelişimlerden sızlanır. Eğer mücadele olmazsa, der, başarmanın keyfi, kendinizi bir zorluk karşısında ölçme duygusu nereye kaybolur?[8]

Bence bu yanıltıcı bir ifade. Maraton koşmak bir oyundur. Gerçek bir mücadele değildir; insanlar birbirleriyle boy ölçüşsün diye uydurulmuş. Hakiki insanlar için hakiki mücadele, başarının ya da başarısızlığın gerçekten fark yarattığı durumlardır. Gelişmiş insanlar da oyun oynayabilir ve bu oyunlar da en az mevcut oyunlar kadar anlamlı olacaktır. Gelişmiş başka bir insan karşısında kendinizi tartabilirsiniz. Araba yarışları geniş kesimlerce kabul gören bir spor. Tıpkı kadın tenisi, futbolu, basketbolu, küçükler beyzbol ligi ve engelliler olimpiyatı gibi. Farklı rekabet sınıflarının mevcut olması, oyunu daha az tatminkâr kılmaz.

Öte yandan, hayatınıza şöyle bir bakarsanız, hakiki tatminin oynanan oyunlardan kaynaklanmadığını görürsünüz. Tatmin duygusunu, önem taşıyan işlerin bitirilmesi yaratır. Evet, zaferle ve felaketle karşı karşıya gelebiliriz ve bu iki sahtekârla aynı şekilde baş edebiliriz; fakat yaşam riske girdiği zaman, zafer kazanmak daha iyidir. McKibben, hayatta daha zorlu mücadelelerin olduğunu ve nanotek (ya da biyoteknolojik) becerilerin bunlarla başa çıkabileceğini anlamıyor gibi.

Tuhaf ama, bu zorlu mücadelelerden biri, McKibben'ın önceki kitabı *The End of Nature*'da bahsedilen endişelere dobra dobra yanıt veriyor. Her ne kadar özen göstermeye çalışsak da, teknolojinin ilerlemesiyle dünyanın göz hapsine alınmış bir parka dönüşmesinden korkar. Gerçekten yabani olan hiçbir toprağın kalmayacağından, sultacı bürokratların ya da hırslı gelişimcilerin elinin her yere uzanacağından endişe eder.

Bunlar benim de paylaştığım endişeler. Fakat yanıtım da var. Geniş ölçekte evren, insanların kafesleyemeyeceği, evcilleştiremeyeceği, uysallaştıramayacağı kadar yabani, doğal ve sonsuz (evet, sonsuz).[9]

85, 88-89, 96, 100, 117, 165, 200; John McCarthy, s. 215; Tom McKendree, s. 97; Ralph Merkle, s. 165, 190; Marvin Minsky, s. 96, 111, 181, 200, 203, 219; Hans Moravec, s. 67-69, 71-72; 74, 88, 93, 99-100, 117, 155, 200; Vernor Vinge, s. 101-102.

[8] McKibben, *Enough*, s. 1-3.

[9] Arthur C. Clarke, *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the*

Elbette, bugün dünyada oturduğumuz yerden, bir zorluk gibi değil, imkânsız bir işmiş gibi görünür. Bunun makul bir mücadele haline gelmesi için, uzaya açılmamız ve bu serüven karşısında kendimizi sınamamız gerekir. Gelişmemiş, biyolojik insanlar olarak bizler, gözünü kuru topraklara dikmiş balıklarız. Fakat atalarımız olan hakiki balıklar, karaya çıkıp orayı fethetmiştir. Aynısını biz de başarabiliriz.

Enough başlıklı kitabın bahsedilmeye değer kaygılarından bir başkası, anne babaların çocuklarını farklı alanlara göre programlayabileceği ve insanlığın ortak temelini kaybedebileceği düşüncesidir. Örneğin müzisyen biri, bir yandan çocuğunun müzikal becerilerini artırırken bir yandan müzikle duygular arasındaki bağlantıları pekiştirir, öyle ki çocuğun temel zihniyeti değişebilir. Oysa din adamı, çocuğunu dinî inanç sahibi olsun diye programlayabilir. Nihayetinde birbirini anlamayan insanlar ortaya çıkabilir. Tıpkı İngilizler ve IRA, İsrailliler ve Filistinliler ya da Bill McKibben ve bendeniz gibi.

Bir düşünün: İnsanlık 1,5 Kontrol Panelini yeni kurdunuz diyelim. Sanal gerçeklik dalgametresi olan bu panel isteğiniz uyarınca görüş alanınızda açılıyor. Yazılım uygulamalarından aşina olduğumuz bir dolu göstergesi, düğmesi, kaydırma imleci falanı filanı var. Fakat bunlar Boy, Ağırlık, Saç Rengi, Irk Tipi için seçim menüsü, ideal eşgüdüm düzeninize göre İncelikli Devim Denetiminden Genel Devim Denetimine kadar değişik seçenekler sunan menü gibi şeyler söylüyor. Biraz aşağı indiğinizde Zekâyı, Kişilik Türünü, Kişilerarası Duyarlılığı, Alınganlığı, Hırsı, Girişkenliği vesaireyi göreceksiniz.

Bazılarının ayarlarıyla oynayın. Daha uzun ya da kısa, daha zayıf ya da şişman olursunuz. Kaba fiziki özellikleri bir kenara bırakırsak, zihinsel özelliklerle ilgili farkları, başka insanlarla karşılaşana ya da bir sorunla boğuşana kadar anlamazsınız. Belirli bir sağduyuyla kullanıldıktan sonra, insanların bu tür bir sentetik özdenetimden faydalanmaması için büyük bir engel göremiyorum.

Peki, tamam. Şimdi çocuklarınızın paneline bakalım. Bu panelleri kim kuracak? Siz mi? Okul öğretmenleri mi, rehberlik danışmanları mı, bürokratlar mı? *Sizin* panelinizi kim kurcalayacak? Polis mi? Yargıçlar mı? Size karşı yasal bir dava kazanan kişiler mi?[10]

Possible (New York: Harper & Row, 1972), s. 113-22.

[10] Bu meselelerin nasıl şimdiden önem kazanmaya başladığına daha derinlikli bir bakış için bkz. Center for Cognitive liberty and Ethics (Bilişsel Özgürlük ve Etik Merkezi), http://www.cognitiveliberty.org/.

PROGRAMLANABİLİR HAYVAN

> Hepimizin sayborg olduğunu söyleyen fikirle daha önce bir iki kez karşılaştım, fakat bu görüş ya toplumsal cinsiyetle ilgili yazılardaydı ya da postmodern inceleme metinlerinde. 1997 yılının Temmuz ayında, bu tür bir hikâyenin abartısız, bilimsel bir gerçek olduğunu fark etmek beni epey etkiledi. İnsan zihni, eğer insan mantığının fiziki organıysa, biyolojik deri kılıfla sınırlı ve kısıtlı olarak görülemez. Aslında hiçbir zaman böyle kısıtlı ve sınırlı olmamıştır, en azından atalarımızdan birinin dudaklardan ilk anlamlı kelimelerin döküldüğü andan itibaren. Fakat yazılı metinlerin, PC'lerin, gelişen vekil yazılımların, kullanıcıya uyarlanan ev ve iş cihazlarının ortaya çıkmasıyla birlikte bu kadim sızıntı ivme kazanmıştır. Zihin kafatasından git gide uzaklaşıyor.
>
> Andy Clark, *Natural Born Cyborgs*

Sorun şu ki McKibben bir iki milyon yıl geç kalmış. Kabaca iki milyon yıl öncesinden itibaren fosil kayıtlarında arkeolog-antropologların Aşölyen el baltası dediği bir alete rastlıyoruz. Aslında bu alet ne bilhassa Aşöl (Kuzey Fransa'da bir yerleşim) kökenlidir ne de el baltasıdır, fakat ismi bir şekilde böyle kalmış. Esasen, tüm teknolojilerin büyük babası budur diyebiliriz.

Atalarımız, Aşölyen el baltasını yaklaşık 1,8 milyon yıl boyunca yapıp kullanmış. Başka hiçbir teknolojinin geçmişi buna yakın bile değil. Atalarımız bu aleti kullanmaya başladığı zaman türleri *Homo erectus*'tu; insanlar bu aleti üretmeyi bıraktığı zaman artık türleri *Homo sapiens* olmuştu. Biz taşa şekil verdik, ancak taş da bize şekil vermiştir.

Bu el baltası yıllarca antropologların kafasını bulandırdı. İtinayla yontulmuş bir kaya parçasıdır, düzdür, kenarları keskindir, şekli sivri bir yumurtaya benzer. Tüm kenarlarının keskin olması ise bir sorun teşkil eder; eğer el baltası olarak kullanılırsa eli keser. Ayrıca el baltasını simetrik yapmak için onca çaba sarf etmenin bir mânâsı yok.

William Calvin'in dedektifvari araştırmaları sayesinde el baltasının nasıl kullanılmış olabileceğine dair fikrimiz nihayet var. Bu alet, katil bir firizbiydi; hayvan sürüleri su kaynakları etrafında çok sıkı bir halde dururken üzerlerine doğru fırlatılıyordu. Çeşitli görüngülerin karmaşık etkileşimi sayesinde işe yarıyordu; bu simetrik şeklin aerodinamiği, hayvan reflekslerinin doğası, sürünün avcılara verdiği tepki bu etkileşime dahildi. Özellikle de belirli bir hayvanı hassas bir noktasından vuracak kadar iyi bir fırlatıcı değilseniz, ama sürüyü herhangi bir noktasından vurabiliyorsanız yeterince işe yarıyordu.

Esasen el baltası, nasıl fırlatılırsa fırlatılsın, dikey eksende dönerek havada ilerler, keskin kenarı hayvana çarpar ve ucu hayvandan sekmek yerine hayvanın etine saplanır. Hayvan sendeleyip yere kapaklanır, sürü çil yavrusu gibi dağılıp kurbanı orada bir başına bırakır; hayvan hem şaşırmış hem de ezilmiştir, öyle ki *Homo erectus* koşup onu yakalar.[11]

Bu yöntemin keşfedilmesi gerekmişti. Ancak, yaklaşık iki milyon yıllık süreçte her avcı bu yöntemi en baştan keşfetmedi, sadece taklit etti. Aslında avcıların, bazı taşların daha çok işe yaradığını görüp kötü durumdaki taşları iyi taşlara benzeyene kadar yontmasıyla, el baltası büyük ihtimalle nesiller boyunca evrimleşmiştir. Dolayısıyla, *Homo erectus*, el-göz eşgüdümünü evrimleştirip daha iyi bir taş yontucusu ve fırlatıcısı haline gelirken, aynı zamanda, taklit etme ve taklit edilme becerisini de evrimleştiriyordu.

Başka bir deyişle, hayvanların aksine insan beyni, bedeni denetleyen bir makineye dönüşmedi; bunun yerine, programlar çalıştıran bir makine haline geldi; bu programlardan bazıları bedeni denetliyordu, fakat beyin aynı zamanda konuşabiliyor, anlayabiliyor, icat edebiliyor, deney yapabiliyor, öğretebiliyor ve öğrenebiliyordu.

Homo sapiens olduğumuzda beynimiz de dahil el-göz eşgüdümümüzü, deneyimli bir avcının, mızrağıyla, otuz metre ötedeki bir hayvanı istediği noktadan ciddi yara açacak kuvvetle vurabileceği kadar geliştirmiştik. Aynı zamanda zengin, yapılandırılmış, simgesel bir dile hayat vermiştik. Karmaşık el hareketlerini mantıklı bir sıraya dizen beyin bölgesi dil için de kullanılıyordu. Artık, birbirimizden fikirleri, teknikleri, bilgileri taklit edecek şekilde evrimleşmiştik; isteyenler evrimleşmek yerine tasarlanmak da diyebilir. Nitekim, mem makineleri olmuştuk.[12]

Bu noktada, memin bir bilgi örüntüsü olduğunu ve eşleyici olarak düşünüldüğünü belirtmek gerekir. Pek çok yazar memleri yanlış anlayıp hatalı anlatmıştır, örneğin "zihnin virüsü" olduğu gibi şeyler söylemişlerdir. Aşölyen el baltası yapma ve kullanma bilgisi de dahil, memler, taklit yoluyla yayılır. Fakat zihinde yer alan öteki bilgilerden farklıdırlar diyemeyiz. Zihinde barınan her şey, anne babalardan ve

---

[11] William Calvin, *The Ascent of Mind: Ice Age Climates and the Evolution of Intelligence* (New York: Bantam, 1991), s. 173-96.

[12] Susan Blackmore'un bahsettiği şekliyle: *The Meme Machine* (New York: Oxford University Press, 1999). [Türkçesi: *Mem Makinesi*, çev. Nil Şimşek, Alfa Yayınevi.]

toplumdaki öteki bireylerden kopyalanmıştır. Memlere bilgi virüsü demek çok zorlama bir yorum olur. Onlar zihnin yazılımıdır, hem de bütün zihnin.

İnsan olmanın anlamının bize büyük oranda genlerimizde sunulduğu doğru. Aynı zamanda bu genler, yüzde doksan dokuz kesişimle şempanze olmanın da anlamıdır. Bu minik farklılık, fazlasıyla ileri bir fikir-kopyalama mekanizmasıdır. (Şempanzeler teknik taklit eder, fakat insanlar, aynı donanımla kafalarında dokuz basamaklı rakamları çarpabilir. Türdeşlerini izleyerek taşla kabuk kırmayı öğrenmek şempanzenin yedi yılını alabilir. Kopyalama işinde *iyiyiz.*) Tüm temel duygularımız, başkalarına yönelik davranışlarımızın örüntüsü, hatta siyasetimiz temelde şempanzevaridir.

Gerçi bu tek fark devasadır. İnsan bir fikirler substratıdır. Genç, boş bir organizmanın fikirlerle, tekniklerle, tutumlarla, kavramlarla, bilgiyle doldurulması aracılığıyla inşa ediliriz. Oluşumumuzda genetik mirasımız kadar kültürel mirasımız da önemli. Aslında, gerçek anlamda fikirlerimizden ibaret *olduğumuzu* söylemek çok ileri gitmek sayılmaz. Eğer kendinizle bir iç sohbet gerçekleştiriyorsanız ve bilinçli bir varlıksanız, kültürünüzün bir parçası olarak öğrendiğiniz kavramları ve becerileri kullanıyorsunuzdur. Yabani koşullarda büyümüş insan dil konuşamaz, hatta bizim olduğumuz şekilde bilinçli olamaz.

Eğer "biz" gerçekten "yazılımsak," insanlığı değiştirmenin bedeli nedir? Bir noktada McKibben'la hemfikirim. Genetik yapısı dindar olmak üzere programlanmış, inancından şüphe duyamayan bir adam, altinsan statüsüne indirgenmiştir. Donanımı öyle felce uğratılmıştır ki yazılımlarının tümünü çalıştıramaz. Fakat köktenci çevreciler tarafından yetiştirilen ve teknolojik ilerleme fikrinden nefret eden çocuk da aynı durumda. Bu iki insanın da zihni, meydana getirildiği tekniklerle aynı türe mensup teknikler tarafından terse çevrilebilir; fakat iki durumda da birey baştan programlanmak istemez.

Dahası, genetik bileşenimiz her halükârda beynin tarifi değildir. Genetik yapımız, beyin inşa etme algoritmasının tarifini barındırır, ayrıca beyin gelişimi büyük oranda içinde bulunduğu ortamın koşullarına bağlıdır. Kısa süre önce, televizyon izleyen bebeklerde büyük olasılıkla dikkat eksikliği oluşabileceği gösterildi. Nedenini anlamak zor değil: Birkaç dakika boyunca televizyon izleyin ve kaç sahne geçtiğini sayın. Özellikle reklamlarda kameranın aynı şeyi bir saniyeden fazla göstermesine nadiren rastlanır. Beyin böyle sürekli bir değişim sağanağı altında şekillenirse, aniden gösterilen yeni bilgiyi öğeleri-

ne ayrıştırma konusunda başarılı olur, fakat uzun süre değişmeden kalan şeyleri derinlemesine çözümleme konusunda beceriksizleşir. TV, kasten, mümkün mertebe dikkat çekecek hadiselerle tıka basa doludur. TV'nin etkisine maruz kalarak şekillenen zihin için, gerçek dünyada ilgiyi hak eden sinyaller kıt ve zayıftır.

Başka bir deyişle, içinde yaşadığımız yapılandırılmış ortamlarla zaten çocuğumuzun beynini yeniden şekillendiriyoruz, ayrıca onlara öğrettiklerimizle ve bizi izlerlerken yaptıklarımızla da çocuklarımızı programlıyoruz.

İnsan olmanın anlamına dair kendi anlayışıma göre, yazılımı yeni bir substrata kopyalamak, insan olmanın özünü muhafaza edebilir, tabii eğer bu yeni varlık, yazılımı eskisi gibi çalıştırabilecekse. Bana kalırsa bu nokta çok önemli, bazı transhümanistlerin kavrayabildiğinden daha mühim. Bilişsel psikoloji ve nörofizyolojinin mevcut bilgi dağarcığında, hakkında fikrimizin olmadığı pek çok şey mevcut. Örneğin, duyguların ve vücuttan gelen duyusal geri bildirimlerin önemli olduğunu biliyoruz; insan zihni öncelikle bedeni denetler, ikincisi ve bir o kadar önemlisi, zihin, sosyal gruplarda etkileşime giren bir birimdir.

Dolayısıyla zihinsel etkinliklere uyum gösterebilecek bir varlık yaratmak kolay ya da basit iş değildir. Sırf sinir hücrelerini taklit etmekten daha fazlasını içerecektir; bazı şeylerin cisimleşmesi (en azından sanal olarak) gerekli olacak gibi görünüyor. Ancak bu hiç de imkânsız değil. Öğrenecek çok şeyimiz var, fakat gerekli olan dallarda hızlı öğreniyoruz.

Böylece mühendislik ürünü bir beyinde insan kalmak için çok daha aydınlatıcı rehberler oluşturabiliriz. Bununla ilgili asal düşünce bilgisayar biliminden gelir: "yukarıya doğru uyumluluk." Yeni donanımızla birlikte eskisiyle aynı düşünceleri düşünebilmeli, aynı duyguları hissedebilmeli, aynı uyarıcı etkenleri deneyimleyebilmelisiniz. Ancak bundan sonra repertuarı genişletmekten bahsedebilirsiniz. İnsanların her zaman tecrübe ettiğinden daha fazla düşünce barındırmak, daha fazla bilgi bilmek, daha fazla deneyim yaşamak bariz olasılıklardan biridir. Daha güçlü bir bellek, aynı türden daha entegre devreler, daha hızlı işlem. Her şeye daha çok açıdan bakmak, karar verirken daha fazla bilgiden faydalanmak, bizi daha iyi insanlar yapabilir; hem daha bilge hem daha yetkin olabiliriz.

İnsanların mutluluğunu epey artıracak başka bir büyük kişisel gelişim türü, yaban savanayla başa çıkmak için evrimleştirdiğimiz içgüdülerin sağladığı kolaylığa eşdeğer bir rahatlıkla çağdaş, şekil-

ci, mekanik, yapay dünyayı anlamlandırmamızı mümkün kılacak bilişsel yetileri kazanmak olacaktır. Çalıların ardında sinsice sokulan kaplanı tek bakışla kolayca seçebilirsiniz. Işık ve gölgenin verdiği ipuçlarını, görsel alandaki devinim şablonlarını bir araya getiren veri işleme mekanizması sayesinde, ayrıca olasılıklara dair muazzam veritabanıyla sonuçların karşılaştırılması sayesinde bilişsel yetilerimiz, hâlâ en iyi bilgisayar sistemlerinin ötesinde. Örneğin, en karmaşık vergi kesintisi başvurularını doldurmak için gerekli olan hesaplamalardan çok daha fazlasını içeriyor. Fakat biz kaplanlar dünyasında değil, vergiler dünyasında yaşıyoruz. Esas itibariyle, bugün karşılaştığımız nispeten basit bilgi-işleme görevlerini, zaten yerine getirdiğimiz daha karmaşık görevler kadar kolaylıkla gerçekleştirmemek için sebep yok.

Daha verimli olacağımız açık; fakat daha mutlu olacak mıyız diye sorabilirsiniz. Büronuzdan, o çelik ve beton kutulardan çıkın, parkta, tarlada, ormanda dikilin. Bulutları, etrafta dolanan geyikleri, güneşin batışını izleyin. Kafanızı yukarı kaldırın ve gece gökyüzüne dağılmış yıldızların yarattığı elmas tozuna bakın. Bu tür manzaralar bize güzel ve huzur verici gelir, çünkü bunları takdir edecek şekilde evrimleştik. Yaratılmış dünyamızdaki güzel şeyler aynı doğruluk ve tatmin hissini uyandırmalı.

Fakat muhtemelen en önemli kişisel gelişim türü, belki de teledüşlem diyeceğimiz bir yeti olacak. Görme yetisinin tersine sahip olduğumuzu düşünün: Diyelim ki kafamızda canlandırdığımız şeyin derhal resimlerini yaratma yetisine sahibiz. Bilgisayarlarımız bu işi zaten yapıyor. Sonra bu resmi, hayal edilen seslerle ve başka duyusal izlenimlerle birlikte başka bir insana nakledin. Gerçek zamanlı bir sinema filmidir bu; âdeta konuşmak kadar zahmetsiz üretilmiştir. Böyle bir becerinin gerçekten devrimci olan tarafı, kişisel iletişim tayfını genişletmek olacak. Bazı iletişim şekillerini daha yoğun bir anlamsal biçime sıkıştırmak mümkün olabilir; bunu göreceğiz; fakat bunu başaramasak da filmler yeterince iyidir.

Bugünün insanlarıyla teledüşlem yapan insanların arasındaki fark, normal PC ile internete bağlı PC arasındaki farka koşuttur. Ya da konuşma dili olmayan *Homo erectus* ile *Homo sapiens* arasındaki farka benzer.

Eski saksıya yeni bilişsel yetiler ekmek ve büyük beygir gücü kazandırmak, evet, bugün anladığımız şekliyle bizi insan olmayan bir varlığa dönüştürecek. El baltası kullanmak atalarımızı keza değiştirmişti. Kökenimizin yaşamsal bir parçası olarak hâlâ *Homo erectus*,

hatta şempanze zihnine sahibiz; fakat bu temel üzerine iyi yönde olduğuna inandığım bazı eklemeler yaptık. Torunlarımız ve muhtemelen bizler, bugün olduğumuz varlığın üzerine benzer şekilde ek katlar çıkacağız. Şu anda evrimin zirvesinde olduğumuzu, hem düşünsel hem ahlaki bakımdan en ileri noktada olduğumuzu söylemek kesinlikle kibir dolu bir tavır. Sadece ahmaklar gelişemeyeceğine inanır.

Bizi meydana getiren bilgi demetine milyonlarca yıl boyunca yeni fikirler ekleyerek kendimizi geliştirdik. DNA'da şifrelenmiş genetik bilgi mirasımız neredeyse hepimize on trilyon kopya olarak verilir. Her hücrede bu genetik bilgi bütünüyle mevcut ve hücre, kendi yetilerinin sınırları kapsamında bu bilginin uygun kısmını kullanır. Bu, iyi bir model.

Öyle bir noktaya geldik ki kültürümüz, yani insanoğlunun bilgi mirası, kimsenin tek başına öğrenemeyeceği kadar aşırı bir yük teşkil eder. Zihnimiz bununla baş edemez değil; en nihayetinde bu, insanoğlunun düşüncesiydi. Ancak, kuyruksuz maymun beyinlerimizin yeterli beygir gücü yok. Bilgi nitelikli özümüz zihinsel substratı aşmıştır ve kendi makinelerimizin gerisine düşmek gibi ciddi bir tehlike içindeyiz. Bir üst seviyeye geçmenin vakti gelmiştir.

Geçmiş zamanlarda, Çinli kadınların sıkı sıkıya sargıyla sarıldığı için büyüyemeyen ayakları gibiyiz. Zihnimizi, Afrika ovalarında avcı toplayıcılara kılavuzluk etmek üzere evrimleşmiş, yaklaşık bir buçuk kilogramlık gri maddenin içine sıkıştırmak zorunda kalmasaydık, kültürümüzü, sanatımızı ve bilimimizi takip etmek üzere doğal bir büyüme gösterebilirdi. Kendimizi, yani düşünce ve duygu şablonlarımızı, içinde bu şablonların oluştuğu madde öbeğiyle tanımlamaktan vazgeçersek, daha engin yurtlara taşınabilir ve çoğalabileceğimiz boş alanlara sahip olabiliriz. Sonrasında kozalarımızdan çıkabilir ve geleceğin düşünen makineleri arasında kendi ayaklarımızın üzerinde durabiliriz.



ON DOKUZUNCU BÖLÜM

İNSANIN BEKLENTİSİ

Sonsuza Kadar Mutlu Yaşamak

Da steh ich nun, ich armer Tor!
Und bin so klug als wie zuvor.
(Böyle olduğu halde gene ben, zavallı deli!
Eskisinden hiç de daha akıllı değilim.)[1]

Johann Wolfgang von Goethe, *Faust.*

Nanoteknolojiyi özetlemek gerekirse, maddeyi yazılım haline getireceğini söyleyebiliriz. Nanoteknoloji elbette donanımdır, fakat bugünün donanımlarına kıyasla günümüz yazılımlarıyla ortak özellikleri daha fazla. Elli yıl önce yazılım, esrarlı bir zanaattı, bir seçkinler zümresi tarafından nadir bulunan pahalı ve etkileyici ortamlarda icra ediliyordu. Günümüzde, ister bilgisayarda, cep telefonunda ister ATM'de olsun, herkes yazılım kullanıyor. Moore Yasası uyarınca işlem gücünün artışı düşünüldüğünde, yazılımların yapabileceklerini ancak hayal gücü sınırlar diyebiliriz.

Yazılım inanılmaz girift ve inceliklidir. Yazılıma katılan ya da yazılımdan kaynaklanan teknolojilerin miktarı muazzam: Belirli bir bilgisayara ait talimatların önemsiz ayrıntılarından, işletim sistemine ve arayüzüne, bilgisayar dillerine ve yazılım geliştirme ortamlarına, matematiksel algoritma analizleriyle birlikte bilgisayar bilimine kadar. Ancak, her türlü uygulama söz konusu olduğunda, son kullanıcının ilgi alanına göre eklenmesi gereken koca bir bilgi dağarcığı bulunur. Kelime işlemcisi programı için bu bilgi dağarcığına harfler, kelimeler, yazı tipleri ve biçimlendirme dahildir. Bilgisayar destekli mühendislik tasarımı sistemi (CAD) için, üç boyutlu geometri, ölçüm sistemleri,

[1] Alıntı: *Faust*, Recai Bilgin (çev.), MEB Yayınları, s. 24 —*çev. notu.*

teknik resim vesaire bilgisi önemlidir. İnternet sunucuları, havayolu rezervasyon sistemleri, soyağacı veri tabanı programları ve işlikler için de farklı farklı bilgi dağarcıkları eklemek gerekir.

Aynı şekilde, nanoteknolojinin de her türlü uygulama için, ihtiyaç duyacağı çekirdek teknikler olacak. Fakat kullanım amacına göre, daha fazla ve uzmanlaşılmış bilgiye gereksinim duyulacak: Nanotıp için biyoloji, uçan arabalar için havacılık, binalar için inşaat mühendisliği vesaire.

Bugünlerde bilgisayar kullanıyorsanız, esasen yazılımla muhatap oluyorsunuzdur. Gördüğünüz tüm pencere, resim, metin, menü, imleç, ikon gibi şeyler yazılım tasarımı tarafından yaratılmıştır, fiziki bilgisayar tarafından değil. Bilgisayar aynı fiziki yapısıyla fakat farklı bir yazılımla size bambaşka bir arayüz sunabilir. Birçok uygulamanın yaptığı bu: Uçuş benzetimlerinin sizi haşır neşir ettiği kavramlar, yemek tariflerini düzenleyen programların sunduğu kavramlardan tümüyle farklı.

Elbette fiziki dünyada da uçakların ve mutfakların arayüzleri farklı. Pilot kabini kontrolleri, ocağınız, lavabonuz ve buzdolabınız gibi davranmaz ve onlara benzemez. Fakat nanoteknolojiye devrolunacak yazılımın özelliği, bu yazılım aracılığıyla deneyimleyeceğiniz dünyanın tamamen uydurulacak olmasıdır. Tek sınır, tasarımcının hayal gücü. Nanoteknolojiyle birlikte, deneyimlediğiniz dünya, yani sadece ekrandaki ışık örüntüleri değil tüm fiziksel dünya da bütünüyle uydurma olabilir. Yeni, gösterişli teknolojiler en başta abartılı görünebilir, fakat umalım ki kısa süre içinde daha bilge öneriler öne çıksın ve teknolojinin Alet Sisi gibi makul, ölçülü kullanımları norm haline gelsin.

BİZZAT SİZE AİT BİR DÜNYA

Yaklaşık iki milyon yıldır, yani ilk taşın yontulmasından bu yana, teknolojik ilerlemeler bunlara sahip olanlara üstünlük kazandırmıştır. Ezici ve çoğunlukla saldırgan bir doğal dünyayla karşı karşıya bulunan atalarımız, bulabildikleri tüm desteğe ihtiyaç duymuştur. Teknoloji, insanoğlunun iktidarını yaymış ve dünyanın efendisi olmasını sağlamıştır.

Ancak, ziraatın, mülkiyetin ve şehirlerin icadından beri, bu gidişatta hafif bir sapma görüldü; bu sapma, son birkaç yüzyılda son haddine varmıştır. Doğa esasen hüküm altına alındıktan sonra, kişinin avucuna aldıklarını artırması ancak başka insanların zararına

gerçekleşebilir. Ortalamada kimse bu durumdan kazançlı çıkmaz. Hayat, pek çok bakımdan sıfır toplamlı bir oyuna benzemeye başlar. Artan nüfusla birlikte durum iyice berbatlaşır, çünkü her insanın payı daha da küçülür.

Sıfır toplamlı oyunlar, mutsuzluk ve çekişme yaratmanın âdeta tarifidir. Ruhsal bakımdan, kendimize ve başkalarına iyilik yapmaktan keyif almak üzere inşa edildik. Sıfır toplamlı oyunlarda, iyilik yapmak istiyorsanız muhakkak birilerine zarar vereceksiniz demektir. Mahkûm İkilemi oyununda dayanışmanın, dolayısıyla ahlakın ortaya çıkışını mümkün kılan özellik, bunun sıfır toplamlı bir oyun olmayışıdır. Mahkûm İkilemi dinamiğinin evrimsel baskısı olmaksızın, özgeciliğin ve ahlakın temeli ortadan kaybolur ve bunlar aşınmaya başlar.

İnsanlar hep rekabet etmiştir ve daima etmeliler, yoksa insan olmazlardı. Fakat durağan bir dünyada, fırsat yokluğu yüzünden duygudaşlık ve nezaket bastırılır. Bir de buna, başkalarının olmadığı bir dünyada insanın yapabilecekleri ile gerçekte yapmaya izinli olduğu şeyler arasındaki ciddi çelişkinin doğurduğu hüsran duygusunu ekleyin. Gerçekte, böyle bir dünyada kazançlı çıkmak için insanlar başkalarını şeytan yerine koymanın yolunu arar, böylece temiz vicdanla o insanları incitebilirler. Kabahat ve eziyet, derinlere kök salmış bir nefret ve kavga doğurur.

Böyle bir dünya kötücül bir yerdir, fakat eğer sınırlı kaynaklarla ilgili geleneksel görüş olan "sadece tek dünya var" söylemi egemen olursa, açıkça bu dünyaya doğru yol alırız. Teknoloji hem yara sarar hem de yara açar. Trafikte sıkıştığınızda, öteki şoförlere bunca sinirlenmişken, sorunun kökeni arabalar gibi görünür. Fakat aslında sorun insanlardır, tıpkı Çin şehirlerinde yaya trafiğinin tıkanmasının gösterdiği gibi.[2] Araba kullanımı, şehir dışındaki nüfusların yoğunluğuna gayet uygun. Fakat araba teknolojisi ya da kişinin erimini aşan her türlü teknoloji, bu erim başka insanların hayatlarına taştığı zaman sorunu ciddileştirir. İnsanlar kalabalık olmayan bir dünyada yaşamak ve günümüzde yaptıkları gibi bir avuç insanla gönüllülük esasında ilişki kurmak üzere evrimleşmiştir.

Teknoloji toplam gönenci artırarak bize yardımcı olur. Bu da bazı bakımlardan dünyanın sıfır toplamlılık niteliğini azaltır. Toplam değer stokunu çoğaltmak, Paul'a ödeme yapmak için Peter'i soymanız gerekmediği anlamına gelir.

Geçen on yıllar içinde bilgisayarların bu kadar başarılı olmasının

---

[2] Xiaolan Gerasoulis, kişisel görüşme.

sebeplerinden biri, gerçek anlamda dünyayı genişletmeleri olmuştur. Bilgisayarlarla birlikte yapılacak daha çok şey, ilgi gösterilecek daha çok konu ve isteğinize göre münasebete girebileceğiniz ya da uzak durabileceğiniz daha fazla insan var. Belki fiziksel dünyada yabancılarla sıkış tepiş yaşamak zorundayız, fakat sanal dünyada o kadar çok boş alan var ki.

Nanoteknoloji, dünyayı birçok bakımdan genişletebilir, bilgisayar desteğiyle yüceleştirilmesinin ötesine taşıyabilir. Dipte gerçekten de boş alan çok. Sanal gerçeklik hattı aracılığıyla eyleme geçen iki milimetrelik bir insanımsı telerobot için on dönümlük alan, Henry Stanley'in ve David Livingston'un Afrika'sından daha engin ve ürkütücüdür; ayrıca çeşit çeşit tuhaf ve tehlikeli hayvanatla doludur. Ya da duyularınızın fiziksel gerçeklikten ayırt edemediği, kelimenin gerçek anlamıyla sınırsız olan sanal dünyalarda yaşayabilirsiniz. Küçük mekânlarda gerçek, fiziksel işler yapabilirsiniz ki buna tasarımla ilgili görev yerinizdeki nanomakine işlikleri de dahildir. Ayrıca fiziken uzaklara taşınabilir, dünya üzerinde ücra alanları ya da dış uzayı mesken tutabilirsiniz.

HAREKET ALANI

> Yabani geyik, sağda solda dolanır,
> İnsan ruhunu ödevlerinden kurtarır.
>
> William Blake, "Masumiyet Kehanetleri".

Epey eskimiş bir basketbol topu ter, yağ, ölü deri hücresi ve canlı bakteri tabakasıyla kaplıdır. Basket topu ölçeğinde bu tabaka, dünya ölçeğinde biyosferden, yani yaşam katmanından kalındır. Bu katman sadece zeki yaşam biçimlerini değil, evrende bilinen tüm yaşam biçimlerini içerir.

Tek tek insanlara, biyosfer devasa ve sınırsız görünür. İnsanoğlunu bir bütün olarak alırsak, biyosferde hareket alanının azalmaya başladığını söyleyebiliriz. Önde gelen biyologlardan Edward O. Wilson, *Homo Sapiens*'in, yirminci yüzyılın ikinci yarısında biyosferin uzun vadeli taşıma kapasitesini çoktan aşmış olabileceğini ileri sürmüştür.[3] Büyük ölçekli ziraat olmasa, çevrenin bizi besleme kapasitesinin epey üzerine çıktığımız açık. Büyük ölçekli ziraattan kasıt, sulamanın ve sentetik gübrenin devreye girdiği tarımdır; sade

[3] Edward O. Wilson, *The Future of Life* (New York: Vintage, 2002), s. 27.

çiftçilik, dünyayı doyurmakta yetersiz kalır.

Kendimizi ne kadar tehlikeli bir konuma soktuğumuzu gözünüzde canlandırmak için, Felemenk karaağaç mantarının 1930'lardan beri Amerika Birleşik Devletlerindeki karaağaçlara yaptıklarını, yeni bir hastalık buğdaya ve pirince yapsa ne olurdu diye düşünün. Bu hastalığın, insan eseri mi yoksa tamamen doğal mı olduğu hiç fark etmezdi.

İnsan türü kırılgandır, çünkü olduğumuz, gereksinim duyduğumuz, değer verdiğimiz her şey, gezegenin üzerindeki bu son derece ince yaşam katmanında. Üstelik biyosferin sırtına bindirdiğimiz yükü artırmaktan geri kalmıyoruz; hem kişi başı doğal kaynak tüketimi hem de insan sayısı yükseliyor.

Dünya daha kaç insanı barındırabilir? Nanoteknoloji devreye girdiği zaman bu sayı ancak bir parça artabilir, tıpkı tarımla birlikte tatbiki nüfus yoğunluğunun artması gibi. ABD Nüfus Dairesine göre, Amerika Birleşik Devletleri'nin mevcut nüfus yoğunluğu kilometrekare başına otuz iki kişi. Bu oranla zaten kişi başına on dönüm alandan çok daha azı düşer (üstelik Amerika Birleşik Devletleri, nüfusu en seyrek ülkelerden biri).[4] Amerika Birleşik Devletleri'nde nüfusu en yoğun bölge Jersey şehridir, yani New Jersey'de kilometrekareye 5.200 insan düşer. (New York şehri için bu rakam sadece 3.263'tür ve ülke çapı ortalama ise dört yüz kişinin epey altındadır.)[5] Dünyanın bütün yüzeyi Jersey şehri nüfus yoğunluğuyla mesken tutulursa, yaklaşık 750 milyar insana ev sahipliği yapabilir, yani mevcut nüfusun 125 katını barındırabilir. Bu durumda boş araziler, tarlalar, parklar, ormanlar vesaire için hiç yer kalmaz; tüm gıdalar okyanuslarda (ya da sentez cihazlarında) üretilir. Yukarıda bahsettiğim nüfusa erişmek için mevcut dünya nüfusunun yedi kez ikiye katlanması gerektiğini belirtmek yerinde olacak.

Nanoteknolojinin devreye girmesiyle bu manzara o kadar da cehennemsi görünmez. Bir buçuk kilometre yüksekliğinde kuleler inşa edebiliriz; böylece, yüzey alanının ancak yüzde birlik kısmında mevcut nüfusun beş katını barındırıp, gezegen yüzeyinin yüzde doksan dokuzunu doğal hayatın ellerine bırakabiliriz. Bunun sayesinde nüfusunuz iki küsur kez ikiye katlanabilir. Ziraattan ziyade nanotek geri dönüşüm uygulamaları, biyosferin taşıma kapasitesini ikame

---

[4] US Census Bureau (ABD Nüfus Dairesi), *Statistical Abstract of the United States: Population* (Washington, DC: Government Printing Office, 2002), s. 8.

[5] *A.g.e.* s. 37.

edecektir. Gerçi bu aşamaya gelindiğinde, bu devasa kovanlardan birinde yaşayanlar, fiilen, uzayda yaşamanın gerektirdiği teknolojiye bel bağlayacaktır; ayrıca, gerçek biyosfere yapılan ziyaretler katı bir şekilde denetlenecektir, yoksa doğal çevre, insan kalabalıklarının ayakları altında ezilebilir. Üstelik, nüfus on kere ikiye katlanırsa başımız yine dertte demektir.

Nüfus ikiye ne kadar zamanda katlanır? ABD'nin son nüfus artış oranları her sene için yaklaşık yüzde bir; bu da ikiye katlanma süresi olarak yetmiş yıl eder. Tarih boyunca nüfusun artış oranı ortalama yüzde üçtür, bunun da ikiye katlanma süresi yirmi beş yıla tekabül eder. Genel inanca göre, refahın artmasıyla nüfus artış hızının düşmesi arasında bir bağıntı var; bu durum herkesin yararına. Ancak, bu gidişatın tekerine nanoteknolojinin çomak sokması kuvvetle muhtemel. Büyük ihtimalle nanotıp, ömür uzunluğunu epey artıracak, hatta sonsuza vardırabilir; ayrıca gençliğin, zindeliğin ve çocuk doğurma yaşının çok uzun süre devam etmesini sağlayacak. Bu da insanların mesleklerini icra edip tatminkâr bir maaşla emekli olduktan sonra aile kurmasını mümkün kılacak.[6] (İnsanlar çocuklarından ziyade torunlarıyla vakit geçirmekten hoşlanır.) Dahası, nüfus tablolarında ölüm oranları sıfıra doğru inecek. ABD Nüfus Dairesi'nin 2050 yılı için biraz da iyimserlikle öngördüğü doğum oranı %1,4, ölüm oranı %0,98, göç oranı %0,25, nüfus artış oranı %0,67'dir, ayrıca nüfusun ikiye katlanma süresi olarak yüzyılı aşkın bir zaman öngörülmüştür.[7] Fakat ölüm oranları sıfıra yaklaşırsa ve çocuk doğurma yaşı yirmi ila kırktan, yirmi ila yüze yükselirse, yüzde üçlük doğum oranlarına rahatlıkla tekrar çıkılır. 2200 yılına gelindiğinde tüm dünya, Jersey şehrine dönmüş olur.

Doğum oranlarını Çin'deki gibi kısıtlamak hakkında ne diyelim? Her çift, tek çocuk yapsa sabit bir manzaraya kavuşuruz, fakat uzaya gitmek için artık yeni bir sebep doğmuş olur: Bebek sahibi olmak. Bu

---

[6] Eğer sonsuza kadar yaşayacaksanız nasıl emekli olursunuz ki? İşin püf noktası, hayatınızı tasarruflarınızla değil, tasarruflarınızdan aldığınız faizle idame ettirmenizdir. Daha önce gördüğümüz gibi, nanoteknoloji ekonomisinde sermayenin verimlilik oranı, şimdikinden çok daha yüksek olacak; böylece, insanlar sadece birkaç senelik çalışmanın ardından emekliye ayrılabilir. Daha muhtemeli, eğer herkesin IQ'su yükselirse, ne zaman ve nasıl istersek yaratıcı işler yapabiliriz, ne amansız bir koşuşturma içine girmek gerekir ne de işi tamamen bırakmak.

[7] *A.g.e.* s. 9.

durumda dünyada kalmanın yaratacağı sorun, en derin içgüdüsel dürtülerimizden ikisine, yani yaşama ve çocuk yapma dürtülerimize açıkça aykırı olmasıdır. Ya bebek doğurmayı bırakacağız ya da toprak yaratmaya başlayacağız. İkincisi daha tercih edilir gibi.

Şunu belirtelim: Toprak, O'Neill'in bahsettiği yerleşimler şeklinde öyle inşa edilebilir ki bünyesinde dünya biyosferinin uzantılarını barındırabilir. Bebeklere ve yaban hayatına biçtiğimiz değer normalde aynı olmalı, fakat dünyadaki nüfus baskısı yüzünden bunlara verdiğimiz değerler ayrışır. Sırf asteoritler, dünyanın yüzey alanının yirmi bin katı kadar yerleşim alanına yetecek malzemeyi temin eder. Hiçbir canlı türü, yer kalmadığı için yok oluşa itilmez. Kırsal ya da yaban hayat, bir seçenek oluşturmayı sürdürebilir; gerçi uzayda kendi etrafında dönen, kalkanla korunan, tam teşekküllü bir yerleşim birimi, müstakil uzay evlerinden her zaman daha pahalı olacak.

Eğer tek dünya varsa, herkes burada yaşarsa, insanoğlunun tüm eserlerine burada hayat verilirse, o zaman doğayı muhafaza etmek üzere biyosferin büyük kısmını korumak zamanla git gide zorlaşacak demektir. Ancak, uzaya taşınırsak, nihayetinde dünya, insanlar için toplam yaşanabilir alanların yüzde birinin yüzde birinden küçük bir yer kaplayacak. Dünyanın muazzam bir kısmının kendi haline bırakılması ve canlı türlerinin büyük bir yüzdesinin yok olmaktan kurtarılması kuvvetle muhtemel.

Elbette uzun vadede dünyadan başka bir yerde yaşamak bizim için daha iyi olacak, yoksa bir sonraki dinozor katili asteroit buradaki küçük gösterimizin perdesini yerle bir edebilir. Ancak bunun belirli bir yılda gerçekleşme olasılığı, aynı yıl içinde hem piyangoyu kazanıp hem de araba kazasında ölme ihtimaliniz kadar. İnsanlar değişmedikçe, bu tehlikeyi temel alan büyük bir tasarının yakın gelecekte hayata geçirileceğini sanmıyorum. Yine de, yumurtaları ayrı ayrı sepetlere dağıtmak, uzun vadede türümüz için daha güvenli olacak.

Gerçi, bizi endişelendirmesi gereken başka tehlikeler var. Büyük bir salgın yüzünden insanlığın büyük yüzdesinin yok olma ihtimali her zaman mevcut. Artık çağdaş antibiyotikler yüzünden bir kayıtsızlığa kapıldık; nanotıp ilerledikçe buna hakkımız da olabilir. Ancak, biyoteknolojinin giderek daha incelikli bir hal alması, sıfırdan nahoş salgınların yaratılabilmesini mümkün kılıyor. Bu ya bir delinin veya bir teröristin, tamamen kötü niyetli eylemi ya da bir yarı kaza yüzünden gerçekleşebilir. Sorumsuz gençlerin macera olsun diye katil mikropları serbest bıraktığı bir senaryo düşünün; ileri nano-

tıp sayesinde hiç kimsenin zarar görmeyeceğine inanıyorlar diyelim. Bu durum günümüzde bilgisayar virüsü programları yazan "çömez bilgisayar korsanları"na tekabül eder. Sonra bu mikroplardan biri evrimleşip mevcut savunma sistemlerinin başa çıkamayacağı bir marifet kazanır.

Eşleyici nanomakine istilası da bir olasılık, gerçi biyoteknoloji eseri olanlar daha önce ortaya çıkacak. Ayrıca eski moda nükleer terörizm yok olmayacaktır, tıpkı devletlerin himaye ettiği nükleer savaşların ortadan kalkmayacağı gibi. Doğrusu, önümüzdeki yüzyıllarda bu tehditlerden herhangi birinin insan ırkının nüfusunu çok azaltacağına ihtimal vermiyorum, fakat bu tehditlerin önünü almak için eylem, hareket, öğrenme ve bilgi edinme özgürlüklerinin git gide kısıtlanacağını sanıyorum.

GÜÇLER DENGESİ

> Yirminci yüzyılın başında yaşayan insanlar için savaşmanın git gide imkânsızlaşması kadar bariz bir gerçek yok gibiydi. Gerçekten de savaşa şahit olmadılar. Atom bombaları beceriksiz ellerinde patlayana kadar hiç savaş görmediler. Yine de akıllı zihinlerin gözünde engin gerçekler pırıl pırıl parlamış olmalıydı. On dokuzuncu ve yirminci yüzyıllar boyunca insanoğlunun boyunduruk altına aldığı enerji miktarı mütemadiyen artmıştı. Savaş bağlamında düşünüldüğünde, bir şeyleri patlatma gücü, yok etme gücü git gide artıyor demekti. Bu işten kaçınmanın olanakları ise artıyor falan değildi.
>
> H. G. Wells, *The World Set Free.*

Teknolojinin her seviyesinde, yok etme ve taşımacılık becerilerinin doğal bir dengesi var. Kılıçlı bir adam, köyündeki herhangi bir aileyi gafil avlayarak katledebilir, fakat tolgaları ve kalkanları olan beş adama üstün gelmesi pek muhtemel değil. At sırtındaki adam yaya köylüleri yakalayıp yere indirebilir, fakat at binen köylüler ondan kaçabilir. Çelik silindirlere hapsedilmiş kimyasal patlamalar, toplara büyük bir yıkım menzili kazandırır, fakat otomobiller söz konusu olunca, insanlara, birbirlerinin silah atışlarından uzak durup yine de günlük işlerini sürdürme yetisi sağlar.

Yirminci yüzyılın en yıkıcı teknolojisi olan nükleer patlayıcılar, tatbiki taşımacılığın menzilini benzer bir şekilde genişletebilirdi.

NERVA[8] ve ORION[9] roketleri güneş sistemini arşınlayabilirdi; nükleer enerji tesisleri, Ay ve Mars gibi yerlerdeki yerleşimlere ve O'Neill'ın ay kütle hızlandırıcısı gibi etkinliklerine enerji tedarik edebilirdi. Elbette bunlar gerçekleştirilmedi ve nükleer teknolojinin etkisi ağırlıkla yıkıma yönelik kaldı. Bu durum, büyük oranda devletin elinde kalan bir teknoloji için tipiktir, ayrıca bu görüngü, nükleer enerji teknolojisinin iyiden ziyade tehlikeli olduğu algısına katkı yapmıştır. Burada zararlı bir geri bildirim etkisi söz konusu: Tehlike algısı kısıtlamaları besler, böylece kamuoyu bu teknoloji konusunda tecrübe kazanıp faydalı kullanım alanlarını bulma fırsatını yakalayamaz. Dolayısıyla, en çok askerî uygulamalarda kendine yer bulur ve o teknolojiyle ilgili tehlike algısı beslenmiş olur.

Elbette, bütünüyle teknoloji meselesi değil bu. Dünyanın sınırları bizi öyle bir boks ringine kapatıyor ki burası at ya da otomotiv teknolojisi için geniş, roket ve nükleer teknolojisi için dar kalır. Nanoteknoloji devreye girince yine daralacak. Biyoteknoloji silahları, tek kişinin taşıyıp insanlığın önemli bir kısmını tehdit edebileceği ilk silahlardır. Sonuncu da olmayacaklar. Nanoteknoloji, bize bu ringin dışına taşma fırsatı verecek. Uzayda konforlu, kendine yeten, birbirlerinden yüzlerce kilometre uzakta duran tek ailelik meskenlerin kurulmasını mümkün kılacak. Nüfusun bu kadar geniş alana yayılmasıyla birlikte, hidrojen bombalı bir terörist, ancak kılıçlı bir adam kadar yıkım yaratabilir.

Bunun bazı mânâları var. Birincisi açık: Böyle bir silahı ve kullanma iradesi olan kişinin oluşturduğu tehdit milyon kat azalmış olur. Dolayısıyla bu tür bir eylemin siyasi etkisi dünyadaki terörizmin etkisine yaklaşamaz ve bu eylemi gerçekleştirme saiki daha baştan buhar olup kaybolur. Uzaydaki yaşam hem özgür hem güvenli olur. Onları sürekli gözetim altında tutmasanız da komşularınıza güvenebilirsiniz. Güneş sistemi ölçeğinde minik bir yer kaplasa da, iki buçuk kentilyon kilometreküp içinde yer alan evlerin tümü, dünya yüzeyindeki elli kilometrekarelik alanda kurulmuş şehirlere kıyasla, daha sıkı fıkı bir cemiyet oluşturabilir.

---

[8] Bkz. R. W. Bussard ve R. D. DeLauer, *Fundamentals of Nuclear Flight* (New York: McGraw-Hill, 1965). NERVA, aracın güvertesinde bulunan nükleer reaktörle tepkime gazının ısıtıldığı bir tasarımdı.

[9] Bkz. George Dyson, *Project Orion: The True Story of the Atomic Spaceship* (New York: Henry Holt, 2002). ORION, arka tarafındaki küçük nükleer patlamaların ittiği bir taşıtın tasarımıydı.

Dünyaya gelirsek, hepimiz aynı gemide yaşıyoruz. Kaza eseri ya da kasıtlı, herhangi bir eşleyicinin ya da zehrin serbest kalmasıyla, hepimizin soluduğu aynı atmosfer kirlenir. Nanotek savunmalar ve karşıt önlemler gayet kullanışlıdır, ayrıca etkin olduklarının ispatlanacağına inanıyorum; fakat derigiysisi giymek ve filtre edilmiş hava solumak aşamasına bir kez geçildikten sonra, uzay giysisine geçmek o kadar da büyük bir iş sayılmaz.

Son olarak hayat kalitesi meselesine değinelim. Tüm koşullar eşit olsa, insanlar geniş mekânları dar alanlara tercih eder. Ayrıca, güvenliği tehlikeye, özgürlüğü kısıtlamalara yeğ tutacaklar. Aileleri olacak. Gönenci yoksulluğa tercih edecekler.

Gönencin önemli bir kısmını enerji oluşturur. Mevcut küresel enerji tüketimi kişi başına yaklaşık iki kilovat. Bunun küresel iklim üzerinde zaten belirli bir etkisi var. Fosil yakıtlardan uzak durarak bu etki azaltılabilir; fakat enerjinin kendisi, iklimi etkilemeye başlamadan önce, enerji kullanımını sadece on kat, en fazla yüz kat artırabiliriz,[10] hem de bu enerji tamamen temiz olsa bile. Önümüzdeki bu hareket alanının büyük kısmı, mevcut nüfusu sırf Batının gönenç düzeyine yükseltmek için harcanacak. (Amerika Birleşik Devletleri'nde enerji tüketimi kişi başına yaklaşık on iki kilovattır.) Nüfusbilimcilerin, nüfus artış oranlarının yükselen refahla birlikte yatışacağına güvendiğini unutmayın.

Eğer uzayda güneş enerjisinden faydalanıyor olsaydık ve nüfus da şimdikinin bin katı olsaydı, ayrıca herkes şimdikinin bin katı kadar enerji kullanıyor olsaydı, yine de güneşten çıkan enerjinin milyonda birinden azını kullanıyor olurduk. Uzayın yolları altınla kaplıdır, yani güneşin altın ışığıyla.

Belki de hayat kalitesini teşkil eden en önemli unsur, insanların çabalayarak kendi beklentilerini ve çocuklarının beklentilerini iyiye götürecek bir mücadeleye ve çevreye ihtiyaç duymasıdır. İnsanların, insani boyutlarda sorunlarla yüzleşmesi gerekir. Sorunlar fazlasıyla çetin olursa, mütemadiyen başarısız olunur ve insanın şevki kırılır. Çözüm fazlasıyla kolay olursa, mücadeleye mahal kalmaz, can sıkıntısı, ilgisizlik ve gelişigüzel mantık dışı yıkıcı eylemler doğar. Nanoteknolojiyle birlikte dünya fazlasıyla küçük bir kum havuzuna dönüşe-

---

[10] Freitas buna "hypsi-termal sınır" der: Dünyadaki tüm faal nanomakinelerin çok çok üretebileceği milyon gigavatın azami salımıdır. Bkz. Freitas, *Nanomedicine, vol. I: Basic Capabilities* (Austin, TX: Landes Bioscience, 1999), s. 175.

cek. Artık dışarı adım atmalı ve yıldızlarla boy ölçüşmeliyiz.

AHLAK VE MERKEZİLEŞME

> Benim zamanımda muhabir göreve çıktığı zaman, büroya dönene kadar tamamen kendi başına olurdu, hatta haberin bir nüshasını teslim edene kadar muhabiri canından bezdirirlerdi; günümüzde ise telefon hattının ucundaki minyatür bir insan konumuna düşmüş gibi; üstelik muhabirin gözlemlerini düzyazıya indirgeme işinin havale edildiği kişiler, bürodan hiç çıkmayan, dolayısıyla dünyanın nefesi yüzlerini yalamamış ve hiçbir şeye kendi gözleriyle şahit olmamış edebiyat hadımlarıdır.
>
> H.L. Mencken, *Newspaper Days.*

Dikkatli okuyucu, bu kitapta mümkün mertebe, bireysel denetimin ve sorumluluğun egemen olduğu ve bireysel menfaatlerin öne çıktığı bir dünyadaki nanoteknoloji uygulamalarının resmini çizmeye uğraştığımı fark edecektir. Yirminci yüzyıl, geniş kesimlerin öteki uca yöneldiği bir gidişata tanık olmuştur, yani sorumluluk bireylerden çıkıp resmi kurumların eline geçmiştir. Şunu sormak gayet makul: Acaba bu gidişat duracak mı, yoksa hepimiz nihayetinde devletlerin evcil hayvanlarına mı dönüşeceğiz; istediğimiz dondurma çeşidini yeme özgürlüğümüz bulunacak olsa da dünyada gerçek bir değişiklik yaratamayacak hale mi geleceğiz.

İnsan sayısı artarken mevcut iş imkânlarının azaldığı gerçek. İmalat sistemleri ve başka sistemler git gide yetkinleştikçe, işlerin kapsadığı alan darlaşıyor, insanların sorumluluğu gittikçe azalıyor. Böyle bir uzmanlaşma insanların daha verimli çalışmasını sağlayabilir; fakat sorumluluğun, iktidarın ve ödüllerin, hem manevi hem de maddi olarak bireylerden örgütlere geçmesine yol açar. Bu görüngüden ilk defa Karl Marx'ın bahsetmiş olması ironidir. O, bu hadiseyi yabancılaşma olarak adlandırmıştır.

Bu gidişatın ardında iki bariz itici güç mevcut. Bir defa, kurumlar, ellerinden geldiği zaman iktidarı ele geçirir. Bu katışıksız bir evrimsel dinamiktir, çünkü iktidarı ele geçiren örgütlenmeler bunu beceremeyenlerin yerini alır. İkincisi, insanlar sorumluluktan mümkün mertebe kaçmak için sırtlarını kurumlara dayar. Elbette uzun vadede, bir sorumluluktan vazgeçtiğiniz zaman, bunun getireceği güçten de mahrum kalırsınız. Dolayısıyla, eskiden kişisel sağduyu kapsamına giren şeyler artık merkezî denetim ve düzenleme kapsamına girmiştir.

Merkezî düzenlemeler sanki sağduyunun eseri değil. ABD hükümeti tuvalette sifon çekerken harcanması gereken su miktarını yönetmeliğe bağlar, fakat yarı çöl alanlarda pirinç yetiştirenlere sulama suyunun tonunu bir peniden düşük fiyata verir. FDA (Gıda ve İlaç Dairesi), Kanada'da ve Avrupa'da yaygınlıkla kullanılan ilaçlara güvenlik adına ruhsat vermeyi reddettiği için her yıl binlerce Amerikalının ölümüne sebep oluyor.[11] Oysa California'da federal yetkililer insanları tıp amaçlı marihuana kullanmaktan (örneğin glokom ağrısını kesmek için) tutukluyor ki doğrusu marihuana kullanımı o eyalette yasal. Merkezî denetimin aptallıklarına dair herkesin gözde bir örneği muhakkak vardır. Benim sevdiğim örneklerden biri İkinci Dünya Savaşı'ndan: Müttefikler, bilyeli rulmanların tedarikini kısıtlayarak Almanların savaş kabiliyetine darbe indirmek istiyordu. Almanya'nın kamulaştırılmış bilyeli rulman sanayisinin ana merkezini yok etmek için bombardıman uçaklarıyla hava akını düzenlediler. Sonrasında, Almanların bilyeli rulman imalatı üçe katlandı.[12]

Ekonomi gibi kimi alanlarda, merkezî denetimin felaketle sonuçlanacağı iyice anlaşılmıştır. Ekonomiler, sırf herkes mütemadiyen hem satıcı hem alıcı olarak bilgi topladığı ve karar verdiği için işler. 1900 yılında ciddi, ağırbaşlı insanlar, bilimsel ekonomik denetimin, piyasanın karmakarışık ıvır zıvırlarından daha verimli ve tutumlu olabileceğine inanabiliyordu ve birçokları buna inanmıştır da. Fakat Sovyetler Birliği gibi bazı büyük ölçekli deneylerden sonra, daha derin bir anlayışa kavuşulmuştur.

Nanoteknoloji, kişisel sorumluluk içeren bazı meseleler hakkında karar verilmesini gerektirecek. Örneğin, insanların evlerindeki sentez cihazlarında uyuşturucu ve silah üretmesi serbest olacak mı? Tuvalet sifonlarından iki galon su akmasıyla ilgili mesele ne olacak? Acil durumlarda tıbbi ekipmanların kullanımı için ne demeliyiz? Önemli mesele şu ki, nanoteknoloji ve YZ sayesinde herkesin her dakika göz hapsinde tutulduğu ve yapılan her şeyin denetlendiği bir durumun oluşması mümkün.

İnsanlar yarı özerk olacak şekilde evrimleşmiştir. Küçük topluluklar içinde yaşamayı tercih ederiz, fakat doğal halimizle birey ya da aile birimi olarak var olabiliriz. Geniş avcı toplayıcı toplulukları, av hayvanlarını ve hayvan yemlerini tüketmiş, dolayısıyla yaşamda tu-

---

[11] Robert Higgs, ed., *Hazardous to our Health? FDA Regulation of Health Care Products* (Oakland, CA: Independent Institute, 1995).

[12] Freeman Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: HarperCollins, 2001).

tunamamışlardır. Ziraatın icadıyla birlikte, daha büyük topluluklar oluşmaya başladı. İlkçağda bile, insanların en yoğun nüfusları hatırı sayılır bir teknolojiyle bağdaşıktır: Örneğin, Romalıların şehirlerindeki su kanalları ve lağım sistemi. Ancak, sanayi devriminin gelmesiyle birlikte, "toplum makinedir, insan da aksam" kalıbı kök saldı.

Sanayi devriminin bir uzantısı olarak nanoteknolojinin bu gidişatı sürdüreceğini öngörmek gayet akla yatkın. Fakat böyle olması şart değil. Bugünün ekonomisi içindeki unsurlar, karşılıklı bir bağımlılık sergiler: Karmaşık bir ürünün aksamı ya da malzemeleri yüz ayrı ülkeden gelebilir. Nanoteknoloji bu durumu tamamen tersine çevirebilir. Tezgâh üstü sentez cihazının hareketli aksamı, bugün dünyada bulunan tüm makinelerin hareketli aksamından kalabalık olacak. Karmaşıklığın artmasını öngören gidişat devam edebilir, fakat, eğer istersek, avcı toplayıcıların düzeyinde bir özerkliğe, bağımsızlığa ve özgürlüğe kavuşma fırsatımız da var.

YENİ CEPHELER

Nanoteknoloji, daha önce mevcut olmayan pek çok yeni cephe açar. Nüfus kalabalıklığının ve kaynakların tükenmesinin bariz çözümü uzaya taşınmaktır. Geniş bir açıdan bakıldığında, uzay gerçek evrendir ve dünya, bu engin mekân ve kaynak denizinde mikroskobik bir baloncuk kadardır. İki ayağı üzerine kalkmış bir kuyruksuz maymun olarak asıl yaşam alanımızdan taştığımıza göre bu gezegene tıkılıp kalmak da saçma olur.

Uzayda yaşam uzak bir ihtimal gibi gelebilir, çünkü işi fiiliyata dökmenin zorlukları muazzam. Mekik uçuşlarına hazırlanmak, binlerce teknisyen-yılını kapsayan bir bakım onarım gerektirir. Böyle bir iş nasıl hesaplı olabilir? Belki bilgisayarlarla son bir karşılaştırma faydalı olacak. Bir kelime işlemcisinde belge açtığınız zaman, o belge ekranınızda görülmeden önce genelde en az bir saniyelik süre geçer. Bu saniye içinde çağdaş bir PC, on basamaklı rakamları çarpmak kadar karmaşık olan bir milyar işlem yapmıştır. Sadece elli yıl önce, aynı muhasebe ya da aritmetik hesaplarını yapan bir memurun her işlem için en azından bir dakika harcaması gerekirdi. Dolayısıyla, kelime işlemcinizin bir saniyelik gecikmesi, sağlam iki bin yıllık katiplik çalışmasını temsil eder.

Nanoteknoloji olgunlaştıkça, bugün yazılım dünyasında olduğu gibi, en çetin sorunların gerektirdiği muazzam çabalardan tasarruf etme imkânı fiziki dünyada da söz konusu olacak. Mevcut teknolo-

jiyle uzayda yaşam hem tehlikelidir hem de yanına yaklaşılmayacak kadar pahalı; ileri nanoteknoloji sayesinde ise ucuz, kolay ve güvenli olacak. Sorunlarımızı gerçekten de ardımızda bırakabiliriz.

YÜKLEMEK

> Bizi bizden alan şaraba gönül verdik;
> Coşup taştık; yerden kopup göklere erdik.
> Tenden bedenden soyunuverdik sonunda
> Topraktan gelmiştik; yine toprağa girdik.[13]
>
> Ömer Hayyam, *Dörtlükler*.

Yüklemekten kasıt, beyninizi, sinir sisteminin mümkün mertebe geri kalanını ve gerekli bedensel tepkileri, yazılım biçiminde bir bilgisayara ya da başka bir malzemeye kopyalamaktır; böylece özgün biyolojik teçhizatın temin ettiğinden büyük bir hıza, işlem gücüne, belleğe, daha uzun bir ömre ve çoğalmak için daha büyük bir alana kavuşabilirsiniz. Bazı insanlar robot bireyler olarak var olmayı seçebilir, başkaları ise aynı devasa bilgisayar içinde, aralarında kurulmuş yüksek iletişim hızlarıyla yaşamayı isteyecektir. Elbette bu, herkesin aynı şekilde yapmak zorunda olduğu bir seçim değil. Oraya buraya dağılmış çetin bireycileri ve merkezî yerlerde toplanan girişkenleri görmeyi bekleyebiliriz. Daha kalabalık yerleşimleri mesken tutan insanlar için öncelikle sanal gerçeklik aracılığıyla yaşamak mantıklı olacak. Fiziki dünyayla kurulan temaslar android robotların sanal gerçeklik hattı üzerinden olacak; uzatmalı gezintiler için robota beyin bile takılabilecek.

Fiziki insan beyni yavaş ve kırılgandır, ayrıca kişiye mahsus beslenme gereksinimleri mevcuttur. Belki de beyni bir yazılım malzemesine nakletmek daha iyi. Bunun muazzam faydaları olacak. Şebeke bağlantısı kullanmak ya da beyninizi etrafta dolaştırıp onu tehlikeye atmak yerine, kendinizi bir robota yükleyebilirsiniz. Ayrıca benliğinizi birden fazla yere yedekleyip tehlikelerden kaçınabilirsiniz. Benliğinizi bir robottan başka bir robota veri olarak nakledip yorucu yolculuklardan kurtulabilirsiniz. Fiziksel bir beden kullanmadığınızda, zihniniz sanal dünyalara bağlanır ve fiziki dünyanın tabi olduğu zaman hızlarından bin kat daha hızlı olan güçlü ve sabit binlerce işlemciyle

---

[13] Alıntı: *Dörtlükler*, çev. Sabahattin Eyüboğlu, İş Bankası Yayınları, s. 88 —*çev. notu.*

çalışabilirsiniz.

Öte yandan, beyniniz yazılıma kopyalandığı zaman bunun hâlâ *siz* olduğunuza ikna olmanız muhtemelen zaman alacak. En nihayetinde, analizle gerçekleştirilen atomu atomuna ışınlama ve sonrasındaki yeniden yapılandırma işlemlerinin, nanoteknoloji eseri şebekelerin bile ulaşamayacağı kadar hızlı veri aktarım hızlarına ihtiyaç duyacağına işaret etmiştik. Aradaki farklılık, düşünceye, bilince, hafızaya vesaireye can veren beyin mekanizmalarının, herhalde moleküler seviyeden yüksek bir düzeyde olması gerçeğidir. Beyin hücrelerinde olan biten işlerin çoğu, kas, deri ve yağ hücrelerinde olanlarla aynı: DNA ve hormonlar, ribozomların ve metabolizma yollarının faaliyetlerini düzenler, ayrıca mitokondriler bu ve benzeri faaliyetlere enerji sağlamak için ATP üretir.

Bilinçliliğimizi destekleyen etkinlikler büyük ihtimalle sinir hücrelerinde elektrik sinyallerinin gönderilmesinden, sinyallerin sinapstan sinapsa aktarılmasından ve hücre içinde işlenmesinden meydana gelir. Bu etkinliklerin, şimdiye kadar incelenen tüm beyin, motor ve duyu işlevleri için önemli olduğu kesin. Başka girdilerin ve işlemlerin de işe dahil olduğu açık, fakat bunlar, tam anlaşılmış olmasa da gizemli değiller. Aynı minvaldeki etkinliklerin, farklı yakıt-yakıcı, enerji-üretici ve inşa-edici makineler tarafından desteklenebileceğini varsaymak gayet makul.

Bu sürece dair çoğu insanın sezgilerinin koptuğu yer bu noktadır. "Pekâlâ," derler, "hani olmaz ya, beyin gibi davranan, hatta *benim* beynim gibi hareket eden bir makine yaptın diyelim, ama o makine gerçekten *ben* olmaz ki. Eğer beynimi alıp bunu yazılıma dönüştürürsen, beni öldürüp, hortlakmışçasına beni taklit eden yeni bir robot yaratmış olursun."

Bu sezgiyi alt etmenin yollarından biri, Hans Moravec'in *Mind Children* [Akıl Çocukları] başlıklı kitabında bahsettiği senaryodur. Bu dönüşüm sırasında bilincinizin açık olabileceğini ve dönüşümün yavaş yavaş, her seferinde küçük beyin kümelerinin üst üste yığılmasıyla gerçekleşeceğini tahayyül eder. Bu sürecin aynı zamanda tersinir olabileceğini söyler, yani bilgisayar biçiminde olmayı deneyimleyip sonra kendi beyninize dönebilir ve tüm süreci hatırlayabilirsiniz. Bunlar olurken, bilinciniz kesintiye uğramıyorsa ve hatıralarınız tutarlılık gösteriyorsa, bu tecrübeyi yaşayanın gerçekten siz olmadığını ileri sürmek zorlaşır. Önemli olan nokta ise, bunu tecrübe ettikten sonra, bunları yaşayanın gerçekten siz olduğunuza *inanacak*

olmanızdır.[14]

Herkesin sezgisi aynı değil elbette. Pek çok insan ruh göçüne inanır ve geniş bir izleyici kesimi, inançsızlığını, *My Mother the Car* [Annem Araba][15] adlı televizyon dizisini en azından anlayacak kadar askıya alabilmiştir. Elbette kimi insanlar, bulgular neyi gösterirse göstersin beyin yükleme seçeneğini reddedecek. Bu iş bireysel bir tercih meselesi olarak kaldığı müddetçe, bir sorun teşkil etmez.

Olağan dünyamızda her gece bilinçli halimiz kesintiye uğrar. Normal deneyimlerde, fiziksel bedenin kesintisizliği kimliği oluşturur, fakat beklentilerimizi formüle ederken bununla kıyaslayabileceğimiz bir seçenek elimizde yok. Nanoteknoloji, Moravec'in senaryosunu mümkün kılabilir. Benim beklentim, eğer bu öngörüldüğü gibi işe yararsa, örnekler çoğaldıkça ve herkesin en az bir tanıdığı bu işe bulaştıkça söz konusu sezginin de değişmesi.

Zihni yüklemek, daha büyük bir dünyaya farklı bir giriş yoludur. Nanoteknolojinin sunduğu fiziksel olasılıklar epey geniş olsa da, zihnin yüklenmesi daha da fazla olasılık yaratır. Günümüzde felsefecinin biri, "Yarasa olmak nasıl bir his?"[16] diye sorabilir, fakat zihni yüklenen kişi bunu *bilecektir*. İçinde yaşadığımız dünyaya daha uygun olan ve mevcut duyularımızın ötesine geçen yeni duyulara, yeni sezgilere, hatta belki yeni duygulara sahip olabiliriz. Şu anki yapay ortamımızın, Afrika savanalarında evrimleşmiş doğuştan gelen donanımımızı nasıl geride bıraktığından daha önce bahsetmiştim; yarının dünyası bu donanımı daha ne kadar geride bırakacak?

Böyle bir dünyanın aşırı karmaşık ve kafa karıştırıcı olduğunu düşünmemelisiniz. Bize öyle gelecek, fakat bizim dünyamız da *Homo erectus* türünü afallatırdı. Aslında torunlarımız (biraz şansla belki kendimiz de), bugün bize kıyasla kendi çevrelerinde doğal bir rahatlık sergileyip dünyalarını daha içten kavrayacaklar. Çünkü bizler mevcut dünyanın karmaşıklığını artırdık, fakat onu anlamak için gerekli olan teçhizatımız yerinde saydı; torunlarımız ikisini birden yükselt-

---

[14] Hans Moravec, *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988), s. 109-10.

[15] 1965-1966 yıllarında bir Amerikan televizyon kanalında yayınlanmış dizi. Dizide başkarakterin annesinin, araba olarak reenkarnasyonu söz konusu --*çev. notu.*

[16] Thomas Nagel, "What Is It Like to Be a Bat?" *Philosophical Review* 83 (1974): 435-50. [Türkçesi için bakınız, "Yarasa Olmak Nasıl Bir Şeydir?", *Aklın G'özü* içinde, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2008.]

meyi başaracak.

Eğer insanlar aynı ultra-mega bilgisayarda çalışan programlardan ibaret olursa kişisel sorumluluğa ve bağımsızlığa ne olur? Şaşırtıcı ama, fiziksel dünyaya kıyasla bu ortamda seçenekler yelpazesi aynı kalacak, hatta belki daha da genişleyecek. Tıpkı engin olasılıklar topraklarında oraya buraya dağılmış işaret tabelalarına bakar gibi, birkaç vakayı ele alalım.

Her kişi için eşdeğer bir işlemci olabilir, aralarında iletişim kanalları kurulabilir; ayrıca birbirleriyle etkileşime girebilecekleri bir ya da daha fazla, karmaşık ortam benzetimi sağlanabilir. Bu resim, gerçek dünyada ayrı beyinleriyle ayrı insanlara tekabül eder. Bu düzeyde bir entegrasyon, gerçek insanlarla ve robot bedenlerini uzaktan denetleyen kişilerle pekâlâ etkileşime girer. Buradaki varsayım şu: Düşünceleriniz tümüyle size aittir, ayrıca fiziksel dünyanın ya da simüle edilmiş ortamın bir parçasına sahip olabilir ve bunun üzerinde aşağı yukarı kendinize mahsus bir denetim uygulayabilirsiniz.

Yazılım dünyasında, bilgisayar virüslerinin torunu sayılabilecek mikropların, bitlerin, kenelerin ve pirelerin eşdeğerini sırf bunlar hakkında düşünerek yaratmak mümkün olacak. Bu tür şeylerden korkan toplum, dolayısıyla, insanların düşüncelerini denetlemek için büyük bir arzu duyacak; her ne kadar bunu yapacak insanlar, günümüzde kasten hastalık yayanlar kadar nadir olsa da.

Bu önemli bir kaygı, çünkü insanlar arasındaki güvenlik duvarlarını indirmenin, başka yönlerde getireceği pek çok fayda olacak. İnsanlar şehirlerde yaşamaya başladıktan sonra tam da aynısı olmuştur: Hastalıklar bir afete dönüşmüş ve Kara Ölüm (hıyarcıklı veba) gibi salgınlar nüfusun üçte birini yok edebilmiştir. Yine de insanlar şehirlere doluştu, çünkü şehirler sayesinde iletişim ve ticaret kolaylaşmış, ortak altyapılar ve büyük ekonomiler kurmak mümkün olmuştur. Evet, salgın hastalıklar da yaşandı; fakat şehrin getirdiği faydalar, bu hastalıklara (çoğunlukla) ağır basmıştır. Aslında, bu tarz şehirlerde yaşamak uzun vadede insanları daha güçlü ve etkin kılmıştır.[17]

Fiziksel dünyada teknoloji, bu meselenin taşımacılıkla, sıhhi tesislerle, tıpla, vesaireyle idare edilmesine yardımcı olmuştur. Nanoteknoloji bunu daha da ileri taşıyabilir; örneğin biyolojik güvenlik

[17] Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies* (New York: Norton, 1996). [Türkçesi: *Tüfek Mikrop ve Çelik,* çev. Ülker İnce, Tübitak Yayınları, 2002.]

duvarı olarak davranan fakat doğrudan kişisel teması mümkün kılan derigiysisi gibi şeylerle. Yazılım dünyasında ise tercihler daha zorlu. Zihin yükleme, pek çok şeyi mümkün kılacak, örneğin düşüncelerin ve duyguların dolaysız nakli, müşterek deneyimler, henüz düşünülmemiş pek çok etkileşim kipi gibi. Ayrıca, hem insanların düşüncelerinin doğrudan izlenmesini hem de zihin yapılarında yasal kapsama sokulmuş değişiklikleri mümkün kılacak. Gerçek dünyada bürokrasilerin sicili düşünüldüğünde, açık ve seçik tehlike, zihin yüklemesi yapılan toplumların hızlı bir şekilde ruhsuz canavarlara doğru evrimleşmesidir.

İnsanları değiştirme becerisinin yüklemeyle sınırlı olmadığını belirtelim; bu beceriye nanotıp, genetik mühendisliği ve benzeri teknolojiler sayesinde fazlasıyla yakın bir gelecekte kavuşacağız. Aslında, teknolojinin düzeyi, yani hem beyne fiziksel müdahale becerileri hem de neye müdahale edileceğine dair bilimsel anlayış, yani yükleme işini mümkün kılacak teknoloji, biyolojik beyni yeniden yapılandırma becerisine de sahip olacak.

Şanslıyız ki ruhsuz canavarlar uzun vadede başarılı olamaz. Öteki ruhsuz canavarlarla birlikte kardeş kardeş oynayamazlar. Evrim bizi karıncalar gibi bu istikamete sokabilirdi, fakat sokmamıştır. Bizler, yarı özerk zekâlarız ve uyum gösterme esnekliğimiz fazlasıyla değerli. İleride bizi bekleyen zorluklardan biri, bazi talihsiz deneylerden uzak durmak için bu durumu iyice anlama gerekliliği olacak.

Ancak, doğru düzgün bir Zihinsel Haklar Yasasıyla birlikte, zihin yüklemesi yapılan bir topluluk gerçekten harika bir yer olabilirdi. Hollywood ya da Silikon Vadisi gibi yeteneklerin bir araya toplandığı bir mekâna dönüşebilir, büyük bir yaratıcılık merkezi ve insanlığa muazzam değer katan bir yer haline gelebilirdi.

Herkes aynı tercihi yapmak zorunda olmayacak, üstelik pek çok seçenek her birimizin önüne serilecek; biyolojik insan, fiziken özerk robot, yüklenmiş toplum mensubu seçenekleri arasından istediğimizi, istediğimiz sırayla hatta aynı anda olabileceğiz. Özünüzü farklı biçimlere hatta aynı biçime sahip farklı bireylere kopyalamak gayet kolay olacaktır, fakat bunları tekrar birleştirmek o kadar kolay olmasa da mümkündür. Yüklenmiş toplumdaki kardeşliği, komşularınızın duygularını tam anlamıyla hissederek tadabilir, dünyadan gelen böcekleri defetmeye çalışan milimetrik bir kolcunun maceralarını yaşayabilir, dış gezegenlerin aylarını keşfeden bin tonluk robotların heyecanını duyumsayabilir, yaşama uygun hale getirilmiş Mars'ta standart bir insan olarak golf oynayıp rahatlayabilirsiniz.

KENDİ ÖZÜNE KARŞI DÜRÜST OL

Uzak çukurlarda mı göklerde mi,
Gözlerinin ateşi nerede alev aldı?
Hangi kanatlara cüretle göz dikiyor?
Bu ateşi hangi el tutmaya cüret ediyor?

William Blake, "Kaplan".

On, yirmi, kırk yıl önceki halinizle aynı kişi misiniz? İnsanlar büyür ve değişir. Karakterlerin gelişmediği edebiyat eserleri yüzeysel ve ikinci sınıf addedilir. Bizler otojenöz varlıklarız, ilerlerken bir yandan da kendimizi yaratırız. Nanoteknoloji bize kendimizi geliştirme becerisini verecek; kendimizi geliştirmek soylu bir çabadır, fakat muammalarla ve tehlikelerle doludur.

Biyolojik beyin içinde yaşamak, ulaşabileceğimiz varyasyonlara sınır koymak anlamına gelir. Açıkçası, büyür ve öğreniriz, fakat ister istemez insan olarak kalırız. Buna rağmen, yeteneklerimizi artırmak için benimsediğimiz teknolojiler bizi öngörmediğimiz şekillerde değiştirmiştir. Bugünün kültürüyle yüzyıl öncesinin kültürünü bir karşılaştırın. Artan ulaşım ve iletişim imkânları sayesinde, zihniyetimiz hatırı sayılır ölçüde daha evrensel. Cinsel törelerimiz büyük bir dönüşüm geçirmiştir, bunun da sebebi kısmen gebelik önleyici ilaçlar ve arabalardır.

Kullandığımız ıvır zıvırda minik bir değişiklik yerine, temel güdü yapınızda, değerler sisteminizde vb. değişiklik yapma beceriniz olduğunu düşleyin. Farz edelim algılarımızı öyle bir değiştirdik ki ofis binaları bize gün batımı kadar güzel geliyor. Kendimi birçok bakımdan değiştirmek isteyebileceğimi tahayyül edebiliyorum. Eğer bu gibi değişiklikler, her ne kadar küçük olup her adımda daha iyiye gitse de, aşırıya vardırılırsa, güdüleri, tepkileri ve düşünce şekilleriyle bugün insan diye niteleyemeyeceğiz insanların ortaya çıkışına uzun vadede yol açabilir. İnsan olarak bizler, nereye varacağını bilemediğimiz bu gidişatı desteklemeli miyiz?

Afrika ovalarında taş yontan atalarımız sonuçta bizlere dönüşeceklerini bilmiyordu; keza bizler de nanoteknolojinin bizi nereye götüreceğini bilemeyiz. *Homo erectus*'la yer değiştirir miydiniz? Ben değiştirmezdim. Onca şey kazandık ki: Dil, sanat, bilim; bazıları bu listeye bilincin kendisini de ekler. Peki, ne kaybettik? Bugünküne kıyasla hayat o zamanlar pis, zalim ve kısaydı. Eğer olasılıkları kucaklar ve bunları hayata geçirmek için açık gözlerle fakat yine açık zihinlerle çalışırsak, geleceğin getirebilecekleri karşısında da mevcut

yaşamlarımız bir o kadar yoksul görünecek.

Bu tamamen bir bakış açısı meselesi. Ya doğal yaşam alanımızdan çıktık, dünyayı hınca hınç doldurduk ve git gide azalan kaynaklar üzerinde savaşmak dışında umut edecek bir şeyimiz kalmadı diye bakabiliriz; ya da evrenin eşiğinde, gerçek zekâ çağının şafağında duruyoruz ve insanın macerası henüz başlıyor, diyebiliriz. Seçim sizin.

Kaynakça

Alberts Bruce, Alexander Johnson, Julian Lewis, Maritn Raff, Keith Roberts ve Peter Walter. *Molecular Biology of the Cell.* Dördüncü baskı. New York: Garland, 2002. Giriş niteliğinde ders kitabı.

Albus, James ve Alexander Meystel. *Engineering of Mind: An Introduction to the Science of Intelligent Systems.* New York: Wiley, 2001. Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsünde görevli olan Albus, ülkenin önde gelen robotbilimcilerindendir. Bu kitap, robotbilim mühendisliği sistemlerinin bir özetini sunmaktadır, ayrıca hiyerarşik geri bildirim ağlarını temel alan bir mimari barındırır.

Allen, James. *Natural Language Understanding.* Menlo Park, CA: Benjamin-Cummings, 1987. Kendi alanında klasik bir kitaptır.

Amato, Ivan. *Stuff: The Materials the World Is Made Of.* New York: Basic Books, 1997. Malzeme bilimine giriş için en çok rağbet gören kitaplardan biri.

Arbib, Michael A. *The Metaphorical Brain: An Introduction to Cybernetics as Artificial Intelligence and Brain Theory.* New York: Wiley-Interscience, 1972. Açıklayıcı ve kısmen felsefi bir inceleme.

Ashby, W. Ross. *An Introduction to Cybernetics.* New York: Wiley, 1963.

Asimov, Isaac. *I, Robot.* New York: Doubleday, 1950. [Türkçesi: *Ben Robot*, Gönül Suveren (çev.), Altın Yayınevi, 1992.] Belki de Asimov bilimle uğraşırken bilimkurgu yazarlığına soyunan kişilere gösterilebilecek ilk örnektir, fakat günümüzde ekseriyetle robotlar hakkında yazdığı bilimkurgular ve "Üç Robot Yasası"yla hatırlanır.

Atkins, Peter. *Atkins' Molecules.* Cambridge: Cambridge University Press, 2003. Kimyasallar dünyasına hoş bir giriş için; bol bol resimle süslü.

Aunger, Robert. *Darwinizing Culture: The Status of Memetics as a Science.* New York: Oxford University Press, 2000. Ne düşünüyorsak oyuz ve ne duyuyorsak onu düşünüyoruz.

Avallone, Eugene A. ve Theodore Baumeister, III, (yay. haz.). *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers.* New York: McGraw-Hill, 1916. Gerçek nanoteknoloji, kimyadan ziyade makine mühendisliğine yakın olacaktır.

Axelrod, Robert. *The Evolution of Cooperation.* New York: Basic Books, 1984. Mahkûmun Çelişkisi adlı oyuna rağmen evrimin nasıl işbirliği yaratabileceğini gösteren klasik, küçük bir çalışma.

Barr, Avron ve Edward Feigenbaum (yay. haz.). *The Handbook of Artificial Intelligence.* Palo Alto, CA: Kaufmann, 1981. 1970'lerden başlayan geniş bir yapay zekâ seçkisinin incelemesi.

Bent, Henry A. *The Second Law: An Introduction to Classical and Statistical*

Thermodynamics. New York: Oxford University Press, 1965. Temel bir termodinamik ders kitabı.

Bierce, Ambrose. *The Devil's Dictionary*. 1911. Yeniden baskı, New York: Dover, 1958. [Türkçesi: *Şeytanın Sözlüğü*, çev. Cemal Atila, Omega Yayınevi, 2005.]

Blackmore, Susan. *The Meme Machine*. New York: Oxford University Press, 1999. Belki de memlerle ilgili görüşlere dair kitap uzunluğundaki en iyi açıklama.

Bloom, Howard. *The Lucifer Principle*. New York: Atlantic Monthly Press, 1995. Doğan ya da çöken insan toplumlarının dinamiklerine dair bir inceleme. 2001 Eylül hadisesinden sonra Bloom öngörü sahibi biri gibi gözükmeye başlamıştır.

Braitenberg, Valentin. *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984. Bu küçük mikrop, zeki sistemlere dair olası mühendislik uygulamaları için harika bir keşiftir; nörofizyolojiden dersler de sunuyor.

Brockman, John (yay. haz.). *The Next Fifty Years: Science in the First Half of the Twenty-first Century*. New York: Vintage, 2002. Temel füturizm. Brockman, *Edge*'in kurucusudur (www.edge.org). Türkçesi: *Gelecek Elli Yıl*, Nurettin Elhüseyni (çev.), NTV Yayınevi, 2007.

Bronowski, Jacob. *A Sense of the Future: Essays in Natural Philosophy*. Cambridge, MA: MIT Press, 1977. Çok daha felsefi bir füturizm örneği.

Brooks, Rodney. *Flesh and Machines: How Robots Will Change Us*. New York: Pantheon, 2002. MIT Yapay Zekâ laboratuvarlarının başı olan Brooks, ülkenin önde gelen robotbilimcilerinden biridir, ayrıca hiyerarşik geri bildirim ağlarını temel alan bir mimariyi öne çıkarır (bkz. Albus).

Buchanan, R. A. *The Power of the Machine: The Impact of Technology from 1700 to the Present*. Londra: Penguin, 1992. Temel teknoloji tarihi.

Bussard, R. W. ve R. D. DeLauer. *Fundamentals of Nuclear Flight*. New York: McGraw-Hill, 1965. Muhtemelen bu alanda (nükleer uçuş) tam teşekküllü ve kapsamlı tek ders kitabı.

Calvin, William H. *The Ascent of Mind: Ice Age Climates and the Evolution of Intelligence*. New York: Bantam, 1991. Bu noktaya nasıl geldiğimizi inceleyen bir nörofizyoloğun bakışı.

Cardwell, D. S. L. *Turning Points in Western Technology*. New York: SHP/Neale Watson, 1972. Sanayi devrimine dair okunması kolay bir inceleme.

Carnot, Sadi. *Reflections on the Motive Power of Fire*. Paris, 1824. Yeniden baskı, New York: Dover, 1960. Bu ince kitap termodinamik bilimini kurmuştur.

Clark, Andy. *Natural-Born Cyborgs: Minds, Technologies, and the Future of Human Intelligence*. New York: Oxford University Press, 2003. Clark, genel okuyucu için yazılar kaleme alan bilimcilere dair büyük bir örnektir.

Clark, Andy ve Josefa Toribio (yay. haz.). *Cognitive Architectures in Artificial*

Intelligence. New York: Garland, 1998. Konuyla ilgili teknik makalelerin bir derlemesi.

Clarke, Arthur C. *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible.* Londra: Victor Gollancz, 1961. Yeni baskı, New York: Harper & Row, 1972. [Türkçesi: *Geleceğin Çehresi*, çev. Sebati Ataman, Yapı Kredi Yayınları, 1970.] Yirminci yüzyıl ortasından kapsamlı bir teknolojik öngörü çalışması. Dipnotlarda belirtilen sayfa numaraları 1972 tarihli ciltli nüsha için geçerlidir.

Cleland, Andrew N. *Foundations of Nanomechanics: From Solid-State Theory to Device Applications.* Berlin: Springer-Verlag, 2003. Temel fizik ve özgül sistemlerle ilgili çalışmalar.

Crandall, B. C. (yay. haz.). *Nanotechnology: Molecular Spreculations on Global Abundance.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996. Nanotek uygulamalarla ilgili makalelerin bir derlemesi; elinizdeki kitabın yazarının, Alet Sisine dair bir makalesini de içerir.

Crandall, B. C. ve James Lewis. *Nanotechnology: Research and Perspectives.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992. İlk Nanoteknoloji Öngörü Konferansı tutanakları.

Derbyshire, John. *Prime Obsession: Bernhard Riemann and the Greatest Unsolved Problem in Mathematics.* New York: Plume/Penguin, 2004. (Hilbert alıntısı için kaynak.)

Diamond, Jared. *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies.* New York: Norton, 1996. [Türkçesi: *Tüfek, Mikrop ve Çelik*, çev. Ülker İnce, Tübitak Yayınevi, 2002.] Neden bazı toplumlar ilerlerken bazıları ilerlemiyor konusunu ele alan Pulitzer ödüllü bir inceleme.

Drexler, K. Eric. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology.* New York: Anchor/Doubleday, 1984. Bu kitabın metnine internetten ulaşmak mümkündür: http://www.foresight.org/EOC/.

_____ . *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation.* New York: Wiley, 1992. Bu kitap, nanomekanik mühendisliğinin en kapsamlı teknik tahlilidir.

Drexler, K. Eric, Chris Peterson ve Gayle Pergamit. *Unbounding the Future.* New York: Morrow, 1991. *Engines of Creation* adlı kitabın halka hitap edecek şekilde yazılmış bir eki.

Dym, Clive L. ve Raymond E. Levitt. *Knowledge-Based Systems in Engineering.* New York: McGraw-Hill, 1991. Makine tasarlarken yapay zekâ tekniklerinin kullanımı.

Dyson, George. *Project Orion: The True Story of the Atomic Spaceship.* New York: Henry Holt, 2002. Girilmemiş bir yol.

Feigenbaum, Edward ve Julian Feldman (yay. haz.). *Computers and Thought.* New York: McGraw-Hill, 1963. Yapay zekâ konusunda mutlak bir klasik.

Feynman, Richard. *There's Plenty of Room at the Bottom.* 25 Aralık 1959 tarihinde Caltech Amerikan Fizik Cemiyetine yapılan sunum. http://www.

its.caltech.edu/~feynman/plenty.html.

Ford, Kenneth, Clark Glymour ve Patrick Hayes. *Android Epistemology.* Cambridge, MA: AAAI/MIT Press, 1995. Robotbilimin felsefeyle bir araya getirildiği makalelerin bir derlemesi.

Freitas, Robert A., Jr. *Nanomedicine, Vol I: Basic Capabilities.* Austin, TX: Landes Bioscience, 1999. Aslında tıbbi uygulamaları ele alsa da, ansiklopedi boyutundaki bu kitap molekül mühendisliği için sağlam bir genel kaynaktır. Bkz. http://www.nanomedicine.com.

_____ . Şahsen görüşmeler, 2000-2004.

Freitas, Robert A., Jr. ve Ralph C. Merckle. *Diamond Surfaces and Diamond Mechanosynthesis.* Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2005. Mekanik müdahalelere açık reaktif moleküllerle elmas yapma sürecinin derinlikli bir teknik incelemesi.

_____ . *Kinematic Self-Replicating Machines.* Austin, TX: Landes Bioscience, 2004. Bu kitabın metnine internetten ulaşmak mümkündür: http://www.MolecularAssembler.com/KSRM.htm. Bu alanda bir kilometre taşı; von Neuman'ın ardından ikinci gelir.

Frenkel, Daan ve Berend Smit. *Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications.* San Diego: Academic/Harcourt, 1996, 2002. Artık büyük oranda fiiliyata dökülmüş bu alanla ilgili birkaç mükemmel metin.

Gelernter, David. *The Muse in the Machine: Computerizing the Poetry of Human Thought.* New York: Free Press, 1994. Gelernter, eksiksiz ve okunması kolay bir yoruncu olan o biliminsanlarından biridir.

Gernsback, Hugo. *Ralph 142C41+: A Romance in the Year 2660.* Boston: Stratford, 1925. Yeni baskı, Lincoln: Bison/Nebraska, 2000. Genelde Gernsback, Amerikan bilimkurgusunun kurucusu kabul edilir.

Goddard William A, III, Donald W. Brenner, Sergey Lishevski ve Gerald Iafrate (yay. haz.). *Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2003. Günümüzün laboratuvar nanoteknolojisi için derinlikli bir inceleme.

Good, I. J. (yay. haz.). *The Scientist Speculates.* New York: Basic Books, 1962. Kendi alanında bir klasik; Brockman gelene kadar iyi kötü bir alan sayılırdı.

Goodsell, David S. *Our Molecular Nature: The Body's Motors, Machines, and Messages.* New York: Copernicus/Springer-Verlag, 1996. Anlaşılır, resimli açıklamalar.

Hall, Stephen S. *Merchants of Immortality: Chasing the Dream of Human Life Extension.* Boston: Houghton Mifflin, 2003. Biyoteknolojinin, bilhassa da kök hücre araştırmalarının durumu hakkında herkesin anlayabileceği bir inceleme.

Hazen, Robert. *The Diamond Makers.* Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Heinlein, Robert A. *For Us, the Living: A Comedy of Customs.* New York: Scribner, 2004. 1939'da yazılan bu kitap, yazarın ölümünden sonra basılmıştır. Aslında bilimkurgu olması gereken bu eğitici kitap, Toplumsal Kredi Kuramına dair gördüğüm en iyi yazılı açıklamadır.

_____ . *Waldo: Genius in Orbit.* New York: Avon, 1950. Heinlein, oldukça pratik bazı teknolojiler icat etmiştir ve yayımlanmasından kısa süre sonra bu teknolojiler hayata geçirilmiştir. Bir tanesi su yatağıdır. Ötekisi ise telerobotlardır ki *Waldo*'da bu teknoloji betimlenir.

Heppenheimer, T. A. *Colonies in Space.* Harrisburg, PA: Stackpole, 1977. Tekrar baskı, New York: Warner, 1978. *High Frontier*'den sonra uzayda yerleşimle ilgili en iyi kitap.

Herrnstein, Richard J. ve Charles Murray. *The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life.* New York: Free Press, 1994. Irk konusundaki ihtilaflı bölümler aslında bu kitabın küçük bir bölümünü teşkil eder. Bu kısımları göz ardı edersek, genelde ihmal edilen bu konu başlığıyla ilgili güzel bir incelemedir.

Hofstadter, Douglas. *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought.* New York: Basic Books, 1995. Altsimgesel ve simgesel arasındaki ara bölgede yapay zekâyla ilgili mükemmel bir inceleme.

Holland, John H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence.* Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975. Genetik algoritmalar hakkında, ufuk açıcı bir çalışma.

Jaffe, Adam B. ve Josh Lerner. *Innovation and Its Discontents: How Our Broken Patent System Is Endangering Innovation and Progress, and What to Do About It.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2004. Bir eleştirmen konuyu özetliyor: "Patentler, ekonomik büyüme sürecinin kalbinde yer alır ve bu süreç, çok ciddi bir kalp hastalığı yüzünden acı çekiyor."

Jaffe, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission.* New York: Simon & Schuster, 1930.

Kealey, Terrence. *The Economic Laws of Scientific Research.* New York: St. Martin's, 1996.

Klerkx, Greg. *Lost in Space: The Fall of NASA and the Dream of a New Space Age.* New York: Pantheon, 2004.

Krummenacker, Markus ve James Lewis (yay. haz.). *Prospects in Nanotechnology: Toward Molecular Manufacturing.* New York: Wiley, 1995. Öngörü Enstitüsünün düzenlediği İlk Genel Nanoteknoloji Konferansı'na dair bir açıklama. Bu alan hakkında bilgi edinmek için hâlâ çok yerinde bir giriş metnidir.

Kuhn, Thomas S. *The Structure of Scientific Revolutions.* Chicago: University of Chicago Press, 1962, 1970, 1996. [Türkçesi: *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*, çev. Nilüfer Kuyaş, Kırmızı Yayınevi, 2006.]

Kurzweil, Ray. *The Age of Spiritual Machines.* New York: Viking, 1999.

Leach, Andrew R. *Molecular Modelling: Principles and Applications.* Harlow, UK: Addison Wesley Longman, 1996. Yeniden baskısı, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2001. Bu alanla ilgili önde gelen tefsirlerden biri.

Leaky, Richard. *The Origin of Humankind.* New York: Basic Books, 1994. [Türkçesi: *İnsanın Kökeni*, çev. Sinem Gül, Varlık Yayınevi, 1998.]

Lessig, Lawrence. *The Future of Ideas: The Fate of the Commons in a Connected World.* New York: Vintage, 2001.

Lide, David R. (yay. haz.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics.* 82. baskı. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001. Bir fizik bilimcisini ilk defa ziyaret ettiğinizde, baktığınız ilk şey *CRC Handbook* kitabının tarihidir. Benimki 1972 tarihli.

Lyshevski, Sergey Edward. *Nano- and Microelectromechanical Systems: Fundamentals of Nano and Microengineering.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

Maxwell, James Clerk. *Theory of Heat.* New York: D. Appleton, 1872. İlk baskının tıpkıbasımı New York: AMS Press, 1972. Maxwell'in yazı tarzı gayet açık ve düzenli; onu okumak bugün bile büyük zevk.

McKibben, Bill. *Enough: Staying Human in an Engineered Age.* New York: Owl/Holt, 2003.

Mewhinney, H. *A Manual for Neanderthals.* Houston: University of Texas Press, 1957. Arka bahçenizde taştan bıçak nasıl yaparsınız.

Minsky, Marvin (yay. haz.). *Semantic Information Processing.* Cambridge, MA: MIT Press, 1968. Yapay zekâ konusunda bir klasik. Yapay zekânın ilk parlak dönemine ait projelerin bir derlemesi.

_____ . *The Society of Mind.* New York: Simon & Schuster, 1985. Yapay zekâ ve bilişsel psikoloji konularındaki düşüncelerin çekici bir özeti.

Minsky, Marvin ve Seymour Papert. *Perceptrons.* Cambridge, MA: MIT Press, 1969. Sinir ağları ne yapabilir, ne yapamaz.

Mitchell, Melanie. *Analogy-Making as Perception: A Computer Model.* Cambridge, MA: MIT Press, 1993. Taklite dair Mitchell'in tezi.

Moravec, Hans. *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988. Bir bilimkurgu klasiği, esasen robotbilimi üzerinedir, fakat uzaktan denetime dair ufuk açan bir incelemedir aynı zamanda.

_____ . *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind.* New York: Oxford University Press, 1999.

Mulhall, Douglas. *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and Artificial Intelligence Will Transform Our World.* Amherst, NY: Prometheus Books, 2002.

Murphy, Gordon J. *Basic Automatic Control Theory.* New York, van Nostrand, 1957.

Murphy, Robin R. *Introduction to AI Robotics.* Cambridge, MA: MIT Press,

2000.

Newton, David E. *Recent Advances and Issues in Molecular Nanotechnology.* Westport, CT: Greenwood, 2002.

Nicholl, Desmond S. T. *An Introduction to Genetic Engineering.* Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

O'Neill, Gerard K. *The High Frontier.* New York: Morrow, 1977. Uzaya yerleşim konusunda yazılmış ilk kitap ve hâlâ en iyisidir.

_____ . *2081: A Hopeful View of the Human Future.* New York: Simon & Schuster, 1981.

Orwell, George. *1984.* Londra: Secker and Warburg, 1949. Kitaba internetten de ulaşmak mümkün: http://www.liferesearchuniversal.com/orwell.html. [Türkçesi: *Bin Dokuz Yüz Seksen Dört*, çev. Nuran Akgören, Can Yayınevi, 1984.]

Pinker, Steven. *How the Mind Works.* New York: Norton, 1997.

Poole, Charles P. Jr. ve Frank J. Owens. *Introduction to Nanotechnology.* New York: Wiley, 2003.

Puddephatt, R. J. ve P. K. Monaghan. *The Periodic Table of the Elements.* New York: Oxford Chemistry Series, Clarendon, 1986.

Ranum, Marcus J. *The Myth of Homeland Security.* New York: Wiley, 2004.

Regis, Ed. *Nano.* New York: Little, Brown, 1995.

Reitman, Edward A. *Molecular Engineering of Nanosystems.* Berlin: Springer-Verlag, 2000.

Russell, Stuart ve Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995. Bu alandaki öncü ders kitabı.

Schmidt, Stanley ve Robert Zubrin. *Islands in the Sky: Bold New Ideas for Colonizing Space.* New York: Wiley, 1996.

Shackleford, James F. ve William Alexander (yay. haz.). *CRC Materials Science and Engineering Handbook.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

Singer, Charles, E. J. Holmyard, A. R. Hall ve Trevor I. Williams (yay. haz.). *A History of Technology.* 5. Cilt. New York: Oxford University Press, 1958.

Sipper, Moshe. *Machine Nature: The Coming Age of Bio-inspired Computing.* New York: McGraw-Hill, 2002.

Smith, George O. *Venus Equilateral.* New York: Garland, 1975. Elinizdeki kitabın yazarının bildiği kadarıyla, bu kurgu dizisi, kişisel imalat sistemine denk olan "madde kopyalama makinesinin" ekonomik etkilerini ilk kez ciddi bir şekilde ele alan kitaptır.

Stine, G. Harry. *Halfway to Anywhere: Achieving America's Destiny in Space.* New York: Evans, 1996.

Tennekes, Henk. *The Simple Science of Flight: From Insects to Jumbo Jets.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Tribble, Alan C. *The Space Environment: Implications for Spacecraft Design.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.

Vajk, J. Peter. *Doomsday Has Been Canceled.* Culver City, CA: Peace Press,

1978. *The High Frontier* kitabının bir ardılı daha; uzaya yerleşmenin nüfus ve çevreyle ilgili kaygılara bir çözüm getireceğini açık açık iddia ediyor.

Vinge, Vernor. *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era.* Sunulduğu yer: NASA Vizyon-21 Sempozyumu, Cleveland, Ohio, Mart 30-31, 1993. http://www.rohan.sdsu.edu/faculty/vinge/misc/singularity.html.

von Neumann, John. *The Computer and the Brain.* New Haven, CT: Yale University Press, 1958.

_____ . *Theory of Self-Reproducing Automata.* A. W. Burks tarafından hazırlanmıştır ve ölümünden sonra neşredilmiştir. Urbana: University of Illinois Press, 1966.

Wagar, W. Warren. *A Short History of the Future.* Chicago: University of Chicago Press, 1992.

Walker, Kenneth. *The Story of Medicine.* New York: Oxford Uiversity Press, 1954.

Watson, James D., Nancy Hopkins, Jeffrey Roberts, Joan Steitz ve Alan Weiner. *Molecular Biology of the Gene.* 4. baskı. Menlo Park, CA: Benjamin-Cummings, 1987.

Webb, Barbara ve Thomas R. Consi. *Biorobotics: Methods and Applications.* Cambridge, MA: AAAI/MIT Press, 2001.

Weiss, Sholom ve Casimir Kulikowski. *Computer Systems That Learn.* San Mateo, CA: Morgan Kaufman, 1991.

Wells, H. G. *The World Set Free.* Londra: Collins, 1914. Yeniden baskı, Londra: Hogarth, 1988. Bu kitapta Wells, nükleer savaş öngörüsünde bulunuyor.

Wiener, Norbert. *Cybernetics.* New York: Wiley, 1949. Yoğun matematik içeren bu kalın cilt, ellilerin ilk yarısında çoksatar bir kitaptı.

_____ . *God and Golem, Inc.: A Comment on Certain Points Where Cybernetics Impinges on Religion.* Cambridge, MA: MIT Press, 1964.

Williams, Trevor I. *A Short History of Twentieth Century Technology.* New York: Oxford University Press, 1982.

Wilson, Edward O. *The Future of Life.* New York: Vintage, 2002.

Wilson, Robert ve Frank Keil (yay. haz.). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences.* Cambridge, MA: MIT Press, 1999. Burada sıralanan kitaplar arasında, *Molecular Biology of the Cell*'den sonra en ağır ikinci kitap.

Winograd, Terry. *Understanding Natural Language.* San Diego: Academic, 1972.

Worzel, Richard. *Facing the Future: The Seven Forces Revolutionizing our Lives.* Toronto: Stoddart, 1994.

Wright, Robert: *Non-Zero: The Logic of Human Destiny.* New York: Pantheon, 2000.

Sözlükçe

Adamantin: Elmastan yapılan ya da elmasa benzeyen malzeme. Bunun yerine çoğunlukla elmasoid terimi kullanılır.

AKM: Bkz. **Atomik kuvvet mikroskobu**.

Alet Sisi: Yazarın bir icadı. Mikroskobik robotlardan meydana gelen bir madde. Çoğu sıradan maddenin hakiki fiziksel özelliklerine sahip olabilir, ayrıca yoksun olduğu özellikleri ise taklit edebilir (yoğunluk gibi). Alet Sisi, ya "sade kip"te kullanılabilir ki bu kipte farklı nesneler Sisten meydana getirilir, ya da "Sis kipinde" kullanılır. Bu kipte, oda dolusu Sis, belirli sisçikleri (tekil mikroskobik robotlar) belirli görevlere atamaksızın sisçiklerin davranışlarını değiştirerek havayı ve içeriğini taklit eder, tıpkı günümüzde televizyon ekranının resimler canlandırması gibi.

Amino asit: Proteinlerin yapı taşları olarak kullanılan yirmi molekül türünden herhangi biri.

Android robot: İnsana benzeyen robot; muhtemelen o kadar benzer ki olağan şartlarda insandan ayırmak mümkün olmaz.

Antisepsi: Mikropları öldürerek ya da onlardan kaçarak iltihabı tedavi etmek ya da engellemek.

Atomik kuvvet mikroskobu: Taramalı bir sonda; incelediği örneği duyumsamak için üzerine bastırır.

Atomik: Atomlara ilişkin. Bu terim, özellikle de atom bombası ve atom enerjisi ifadelerinde gördüğümüz gibi nükleer şeylerle ilişkilendirilir, çünkü özellikle de kamuoyunun zihninde 1960'lardan önce nükleer ve atomik görüngüler arasında bir ayrım yoktu. Ancak, bu şekilde ilişkilendirilmemeli, çünkü atomik ve nükleer görüngüler arasındaki ayrım, atomik ve gündelik görüngüler arasındaki ayrımdan büyüktür.

ATP sentaz: Mitokondri içinde ATP üreten moleküler makine.

ATP: Adenozin Trifosfat. Moleküler "yakıt." Hücre içinde mitokondri, şeker ve yağ yakıp ATP üretir; enerjinin gerekli olduğu çeşitli hücresel mekanizmalara ATP aracılığıyla enerji taşınmış olur.

Bağ esnemesi, bükülmesi ve burulması: Moleküler mekanik kuvvet alanının üç ana bileşeni, yani kimyasal bağların atomlar üzerine uyguladığı kuvvetlerin matematiksel betimlemeleridir. Esneme, bağ boyunca etkili olan kuvveti betimler; bükülme, bağa açıyla etki eden, fakat başka bir bağdan uzaklaşan ya da yaklaşan kuvveti betimler; burulma, bağı "burmaya" çalışan kuvveti betimler.

Beyazlık derecesi: Maddelerin ya da nesnelerin yansıttığı ışığın oranı.

Bilgisayar: Bilgiyi dijital olarak saklayan, kopyalayan, yönlendiren makine.

Bilgisayarlar elektrikli, mekanik, hidrolik ya da DNA ve benzeri mekanizmalar gibi kimyasal olabilir. Gerekli olan, tutarlı bir mantıksal yapıya eşlenen birtakım fiziki durumlar ve dönüşümlerdir.

Boole fonksiyonları ve mantık: Mantık ve aritmetik arasındaki bağlantı. "Doğru" 1, "yanlış" ise 0'dır. "Ve" çarpma işlemi gibidir, "ya da" toplama işlemi gibidir. Bilgisayarlar Boole mantığı kullanır, çünkü bu mantık, voltajın 1'ler ve 0'lar için ve transistörlerin "ve"ler ve "ya da"lar için uygulanmasında çok verimlidir.

Brown devinimi: Boyutu bir mikrondan küçük nesneler su içinde asılı dururken, su moleküllerinin ısıl deviniminden ötürü ortamda rastgele hareket ederler.

Brownvari montaj: Aynı zamanda otomontaj da denir. Brown deviniminin gelişigüzelliği makine aksamını bir araya getirir, gerçi bu tarz bir montaj, dolaysız mekanik kuvvetle gerçekleştirilen montajdan çok daha yavaş ilerler.

Burulma, bağ: Bkz. Bağ esnemesi, bükülmesi ve burulması.

Bükülme direnci: Esnetilmeye, sıkıştırılmaya ya da bükülmeye direnen malzemelerin gösterdiği kuvvetin büyüklüğü. Teknik olarak, gerilme bölü deformasyon.

Bükülme, kimyasal bağ: Bkz. Bağ esnemesi, bükülmesi ve burulması.

CAD: Bilgisayar destekli tasarım. Mühendisin çizim, ölçüm ve hesap işlerini otomatik hale getiren yazılımın kullanımı.

CAM: Bilgisayar destekli imalat. İmalat makinelerinin insan operatörler yerine doğrudan bilgisayarlar tarafından denetlenmesi. Çoğunlukla bilgisayar destekli tasarımla birleştirilir, böylece mühendisler bir iş istasyonunda aksamı tasarlayıp bunu otomatik olarak inşa ettirir. Aynı zamanda içerik adresli bellek anlamına da gelir, yani bilgisayarlar için bir ilişkili bellek biçimi.

Carnot, Sadi: Fransız mühendis, 1796-1832. Termodinamiğin mucidi.

Clarke, Arthur C.: Britanyalı mühendis, fütürist, romancı (1917-2008). Clarke, iletişim uydularını uydurmuştur ve bunlar için yerahenkli yörüngelerin faydasını belirtmiştir.

CMOS: Tümleyici metal oksit yarıiletken. Günümüzde çoğu bilgisayar çiplerinde kullanılan teknoloji. CMOS'ta bir mantık kapısı, 1'le temsil edilen enerji bağlantısını; 0'la temsil edilen topraklama bağlantısı; ve çıktıyı ikisinden birine bağlayan transistörleri içerir. İki tür transistör vardır ("birbirini tümleyen"): 1 girdisiyle açılıp 0 girdisiyle kapananlar ve 0 girdisiyle açılıp 1 girdisiyle kapananlar.

CPU: Ana işlemci. Bilgisayarda bilgi işlemi gerçekleştiren birim. Bellek de ana parçalardan biridir.

CVD: Kimyasal buhar yoğunlaştırma. Karbon taşıyan gazlarla sentetik karbon yapma yolu (ya da başka gazlarla başka kristaller oluşturulması).

Çekirdek: 1. Atomların artı yüklü merkezi, atom kütlesinin neredeyse bütününü içerir. Nanoteknoloji (kimya gibi), çekirdeklere değiştirilemez muamelesi yapar. 2. Yüksek yaşam biçimlerinde hücrenin DNA içeren merkezî organeli.

Deformasyon: Bir kuvvetin yarattığı esnemenin, sıkışmanın ya da bükülmenin miktarı.

Değerlik: Atomların kurabildiği kovalent bağların sayısı. Periyodik tablonun aynı sütununda olan elementlerin değerliği de aynıdır.

Difüzyonlu taşımacılık: Biyolojide ve "ıslak" kimyada, moleküller, tepkimeden tepkimeye, çözeltide gelişigüzel sağa sola çarparak girer. Bu, nanoteknolojinin mekanik taşımacılığına zıttır. Mekanik taşımacılıkta moleküller taşıma bandıyla ya da robot kollarla önceden planlanmış yollar üzerinden taşınır. Bkz. **Pekdüzenli**.

Dijital: Kesintisiz durumların ya da unsurların geniş bir yelpazesi yerine az sayıda ayrık durum ya da unsur içeren görüngüler. Dijital makineler hatasız işleyebilir, oysa kesintisiz nitelikli makineler her zaman kaçınılamayan hata payı, çeşitlilik ve sapmayla tanımlanır.

Dişli çark: Mekanik sistemlerde döner miller için hız ve dönme momenti dönüştürücü cihazların ana bileşeni olan mekanik aksam. Makroskopik çarklarda dişliler içeri kıvrık bir eğime sahiptir, fakat nanoölçekli çarklar, atomik yüzeylerin ve bağların uyumu sayesinde, atomik boyutlu ve şekilli dişlilerle birlikte verimli şekilde iş görebilir.

Drexler, K. Eric: Amerikalı mühendis ve fütürist, (1955-). Burada betimlendiği gibi nanoteknoloji kavramını yaratıp geliştiren kişidir.

Drexlervari nanoteknoloji: Burada bahsedildiği şekliyle nanoteknoloji. Moleküler mühendislik ve moleküler imalat. Nanoölçekte duyarlılık uyarınca çalışmayan tekniklerle farkı, atom ölçeğinde hassas olmasıdır.

EIL ya da EINL makinesi: Elektron ışın (nano-) litografisi. Sıkı sıkıya odaklanmış elektron ışınını kesme aleti olarak kullanan makine. Bugünün en iyi makineleri 2,5 nanometre hassasiyete inmiştir.

Einstein, Albert: Alman asıllı Amerikalı fizikçi, (1879-1955). Gerçi halkın zihninde Einstein görelilik kuramıyla meşhurdur ve bu kuramın nanoteknolojiyle bir ilgisi yok ama aynı zamanda Brown devinimi ve fotoelektrik etki de dahil atom dünyasının doğasını açıklama konusunda Einstein hatırı sayılır bir öneme sahiptir.

Eksen kuvveti: Bir tekerde, rulmanda ya da milde dönme ekseni boyunca etkili olan kuvvet; örneğin, tekeri akstan çekip çıkarmaya yeltenen kuvvet. Karşılaştırın: **Işınsal kuvvet**.

Elektron: Atomlar, elektron bulutlarıyla çevrili ağır, yüklü çekirdeklerden meydana gelir. Belki de elektronu katı maddeden ziyade baloncuk gibi düşünmek gerekir. Elektronlar, şekil ve boyut bakımından çeşitlilik gösteren çekirdeklerin etrafındaki ve arasındaki boşlukları doldurur. Ağırlık dışında gündelik hayatın neredeyse tüm fiziksel görüngülerinden bunlar sorumludur: Akımlarıyla elektrik oluşmasının yanı sıra, maddenin boyutunu, gücünü, rengini, dokusunu, ayrıca maddeler arasındaki kimyasal tepkimeleri belirlerler.

Elmasoid nanoteknolojisi: Sert, makinevari aksam için elmasoid malzeme kullanan nanoteknoloji. Çoğunlukla Drexler nanoteknolojisi anlamında kullanılır.

Elmasoid: Elmastan yapılır ya da elmasa benzer, bilhassa molekül seviyesinde.

Enerji: Fizikçilerin enerji tanımı, enerji krizi gibi ifadelerde yansıtılan yaygın kavramlardan biraz farklıdır. Molekül mühendisleri için fizikçilerin tanımı daha makuldür, örneğin moleküler mekanik potansiyeli gibi. Ancak, bunun ötesinde halkın benimsediği anlamı genel bahislerde daha çok ilgi çeker. Faydalı iş üretmek adına insanoğlunun uzak ara en büyük enerji kaynağı güneştir. Güneşten çıkan enerjinin dünyaya gelen kısmı iki milyarda bir kadardır. Bu minik kesrin önemli bir miktarından faydalanmaya kalksak ekosistemde ciddi tahribat yaratırız.

Enformasyon kuramı: Fizik ve bilgi işlem arasında bir yerde duran bilgi dalı. Bu kuram, başka şeylerin yanı sıra, moleküler seviyede entropi ve tersinirlik konularında sağlam bir sezgisel anlayış sunar. Claude Shannon'ın İletişim Kuramı ve bu konudaki elli yıllık çalışmayı temel alır.

Entropi: Bir sistemin içerdiği bilgi miktarının ölçüsü. Bu sistem, termodinamikteki gibi fiziksel de olabilir, Shannon'un özgün iletişim kuramındaki gibi mantıksal da olabilir. Diyelim ki içinde tek helyum atomu bulunan bir kutunuz var ve kutu ortasından iki bölmeye ayrılmış. Sol taraftaki atomla başlıyoruz. Atomun hangi tarafta olduğunu bize bildiren bir bilgi bitini düşünün. Atom sol tarafta hapis kaldığında, kutu, yani sadece 0 nakleden iletişim kanalı hiç bilgi içermez. Eğer ara bölmeyi kaldırırsak ve atom kutu içinde sekmeye başlarsa, 0 ve 1 dizisi aktaran bir kanalda olduğu gibi, önceden bilemeyeceğimiz bilgi oluşur. Termodinamiğin ikinci yasasına göre bu bilgi belirli bir miktar iş yapılmaksızın silinemez, örneğin atomu bir pistonla kutunun önceden belirlenmiş bir tarafına itmek gibi.

Enzim: Genelde biyoloji kökenli moleküler makine. Çoğunlukla proteinden oluşur ve hızlandırıcı bir kimyasal işlevi vardır.

Esneme, bağ: Bkz. **Bağ esnemesi, bükülmesi ve burulması**.

Evrim: Zamanla gerçekleşen düzenli değişim. Burada, hayatın doğal evrimini sürükleyen varyasyon ve seçilim süreci için bir stenografi olarak kul-

lanılmaktadır, yani genel sürecin özel bir vakası olarak ele alınır. Giyim tarzından dile, şirket yönetimlerine kadar her şey, varyasyon ve seçilim yasalarına göre evrimleşebilir. Bu yasaların düzgün bir şekilde kavranması, en karmaşık görüngülerin sağlıklı bir biçimde anlaşılması için çok önemlidir.

Faz sıralı: Radar ya da optik terimleriyle birlikte kullanılır. İletim fazları denetlenebilen ya da aldığı radyo yayınları tespit edilebilen bir dizi anten. Yansıtıcılara ya da merceklere ihtiyaç olmaksızın gönderilen ya da alınan dalgaları odaklamak ya da deşifre etmek için kullanılabilirler. Günümüzde faz sıralı radardan yaygınlıkla faydalanılır; faz sıralı optik, gerçek zamanlı hologramları ve düz, merceksiz kameraları mümkün kılacaktır.

Femto: Milyarda birin milyonda biri. Bkz. **Ölçek**.

Feynman, Richard: Einstein'dan sonra yirminci yüzyılın ikinci en ünlü fizikçisi. (1959 tarihli "Dipte Bol Bol Yer Var (There is Plenty of Room at the Bottom)" başlıklı sunumu, ayrıca mikroölçekli motor ve kitabe için koyduğu ödüller onu nanoteknolojiye bağlar.) Öngörü Enstitüsü (The Foresight Institute), nanoteknolojiye yönelik çalışmalar için onun adına ödüller vermektedir.

Fotolitografi: Günümüzde mikroişlemci ve başka elektronik teçhizat yapmak için kullanılan teknik. Işık çip üzerine bir kalıp üzerinden odaklanır ve çip üzerinde incelikli şablonlara göre kimyasal değişim başlatır.

Fullerene: "Topak," C60 karbon molekülü ya da karbon nanotüp. Bunlara Fuller Buckminster'ın adı verilmiştir, çünkü karbon toplar, kesel kubbeleri andıran bir yapıya sahiptir. Toplar ve tüpler esasen, küre ya da silindir şekline yuvarlanan grafit tabakalarıdır.

Genetik algoritma: Bilgisayarlı evrim simülasyonu; bu simülasyonda hayatta kalma uygunluğuna keyfî bir testle karar verilir, ayrıca "organizmalar" da herhangi bir keyfî kurgu olabilir. Bu süreç, sınavı geçmekte başarılı olan kurgusal varlıklar üretir. Bunlar, makine tasarımları olabilir ve söz konusu testler, arzulanan işlevin benzetimleri ve değerlendirmesi olabilir.

Gerilme: Nesne üzerine etkiyen ve esneme, sıkıştırma ya da bükme temayülü gösteren kuvvet.

Gri balçık: Çoğalabilen başına buyruk makine senaryolarının en aşırılarından birinin halk arasındaki adı.

Hidrojen bağları: Hidrojen atomları, su molekülü içindeki elektronların dağılımından ötürü, öteki su moleküllerindeki oksijen atomlarıyla elektrostatik etkileşime girer, iyon nitelikli zayıf bağlar kurarlar. Bu bağlar sayesinde su, moleküler seviyede normalde olacağından daha "yapışkan" olur.

Hücre: Yaşam örgütlenmesinin temel birimi. Hücre en azından bu temel yaşamsal öğeleri içerir: Hudutlarını belirleyen zar; besin maddelerini işleyen moleküler makineler; moleküler makineler inşa eden moleküler makine-

ler; DNA kopyalayan moleküler makineler; tüm makinelerin tarifini sayısal bir şifreyle içeren DNA öbeği.

Isıl titreşimler: Tüm maddelerin atomları mütemadiyen hareket eder. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, o ölçüde hızlı hareket ederler. Oda sıcaklığındaki hızları genelde ses hızından yüksektir. Katı haldeyken, kimyasal bağlardan ötürü belirli bir yere hapsolurlar ve burada titreşirler. Fakat bu titreşimler, nesnenin şeklinde, sertliğine bağlı olarak belirli bir varyasyon yaratır. Nanomakinelerde elmas kullanmak istememizin sebeplerinden biri, aksamın ısıl "dalgalanmasını" asgaride tutacak kadar sertliğe sahip olmasıdır.

Işınsal kuvvet: Tekerlerde, rulmanlarda ya da millerde yanlara baskı yapan kuvvet, tıpkı araba ağırlığının tekerlere bastırması gibi. Karşılaştırın **Eksen kuvveti**.

İlişkili bellek: Bilgisayarlarda ya da sinir sistemlerinde bu bellek, benzerlik sayesinde hatırlanan öğelere istek üzerine erişir. Biyolojik belleğin çoğu ilişkili bellek iken, çoğu bilgisayar belleği, ilişkili bellek değildir.

İşlevsel grup: Bir şeyin parçası. Nanoteknoloji bağlamında, molekülün bir parçası.

İyon: Protonlardan fazla ya da az sayıda elektron taşıyan atom. Dolayısıyla net bir elektrik yükü taşır.

İyonik bağ: Artı ve eksi yükler birbirini çeker, aynı yükler birbirini iter. Dolayısıyla sıradan sofra tuzu gibi iyonik kristaller, artı iyonların (sofra tuzunda sodyum) ve eksi iyonların (klor) ardı ardına dizildiği son derece düzenli örüntülerden oluşur. Eğer tüm moleküller doğru bir şekilde inşa edilmişse, molekülleri konumlandırmak için bunun gibi yük örüntülerinden hassasiyetle faydalanılabilir.

Kaba teknoloji: Molekülleri tek tek değil, düzensiz gruplar halinde toptan ele alan herhangi bir teknoloji. Fiilen bugünün tüm teknolojilerini kapsar.

Kam: İstenilen devinimi kendi şeklinde şifreleyen makine parçası. Takipçi denen başka bir makine parçası kam miline dokunur ve istenilen örüntüde hareket eder, oysa kam mili basit hareketini sürdürür (örneğin döner).

Kanat bükmek: Wright Kardeşler'in özgün uçağına, tellerle çekilen kanatların şekil değiştirmesiyle yön veriliyordu. Kısa süre sonra hareketli kanatçıklara sahip daha sabit kanatlar bunların yerini almıştır.

Karbon: 6 numaralı element. Karbon hafiftir ve çok güçlü bağlar kurar. Oluşturduğu bağlar çok çeşitli geometriler sergiler, dolayısıyla organik kimyaya o karmaşıklığı verir.

Katalizör: Kimyasal tepkimeleri kolaylaştıran, fakat bu esnada kendisi değişmeyen yapı. Normalde yan yana gelmeyecek utangaç molekülleri kaynaştırır.

KED: Bkz. **Kuantum elektrodinamiği**.

Kendini eşleme: Kendisinin eşini yapan varlıkların eylemi. Mühendislik sistemleri bağlamında, kopyalama ve üreme arasında ayrım yapıyoruz; kopyalama, kendisinin tam bir kopyasını çıkarmak anlamına gelirken, üreme, ebeveynden gelen genetik malzemenin, tasarımda kasıtlı bir çeşitlilik yaratmak amacıyla harmanlanmasını içerir.

Kimyasal bağ: Elektron tertibi. Atomları bir arada tutar. Bir malzemede bağlar ne kadar yoğun ve iç içe geçmişse, malzeme o kadar güçlüdür. Elmas çok güçlüdür, çünkü bağları çok yoğun bir örüntü sergiler. Kurşun kalem kalınlığında bir elmas çubuk aşağı yukarı bir ton ağırlığı destekleyebilir, oysa gerçek bir ahşap kurşun kalemi parmaklarınızla kırabilirsiniz.

Klasik bilgisayar: Gerçekliğe dair sağduyulu bir anlayışa göre inşa edilen bilgisayar; bu bilgisayarda bir nesne sadece tek yerde olabilir ve teller her seferinde sadece tek voltaj değerine sahip olabilir. Tüm gerçek bilgisayarlar, yazıldığı gibi, klasik bilgisayarlardır. Turing makineleri, hesaplama yapmak ve sorun çözmek de dahil, bilgisayar biliminin matematiksel temelleri, bilgisayarları klasik biçimiyle varsayar. Karşılaştırın **Kuantum bilgi işlem**.

Klasik mekanik: Sağduyuya tekabül eden ve gündelik hadiselere uygulanan fizik yasaları, tıpkı Newton'ın hareket yasaları ve Maxwell'in elektromanyetik yasaları gibi. Görelilik ve kuantum mekaniğiyle farklarına bakılmalıdır.

Korunumlu: Mühendislikte bu şekilde tasarlanan makineler küçük bir hata yapsanız bile çalışır. Örneğin, hesaplarınızın kesinlikle olması gerek diye öngördüğünden daha güçlü kirişler yapmak. Başka bir deyişle hata payı bırakılması.

Kovalent bağlar: Atomlar arasında bir çift elektronun paylaşılmasıyla oluşan bağ.

Kozmik ışınım: Dış uzay, protonlar ve elektronlar gibi enerjik parçacıklarla doludur; bu parçacıklar "güneş rüzgârlarını," x ışını ve gama ışını gibi fotonları ve uzak yıldızların patlamasıyla doğup tüm gökadada seyahat eden ağır çekirdekleri meydana getirir. Bunlar hep birlikte, uzayda yaşayıp korunmayan insanlarda hasara yol açar. Ayrıca bkz. **Van Allen kuşakları**.

Kuantum bilgi işlem: Yeni yeni beliren bir alan; aynı makineyle klasik bilgisayarın bilgi işlem gücünü çok aşmak için kuantum mekaniğinin tuhaf görüngülerinden bazılarını kullanır, örneğin üst üste binme ilkesi gibi görüngüleri. Örneğin klasik bilgisayarlarda dört bit her seferinde on altı farklı değerden birini alabilir. Ancak, iç içe geçmiş dört kubit (kuantum biti) bu on altı değeri aynı anda alabilir, dolayısıyla aynı uygulama için on altı kat fazla iş yapabilir.

Kuantum elektrodinamiği: Işık ve maddenin işleyişine dair anlayışımızın zeminine sağlam bir kuramsal temel döşeyen kuram. Gerçi hesaplamaları çoğu hesaplama için fazlasıyla ağırdır ve uygulamada çoğunlukla kuantum mekaniğinin daha kabataslak biçimleri tercih edilir.

Kuantum mekaniği: Çok küçük ölçeklerde maddeye ve enerjiye hükmeden mekanik ya da fizik yasaları. Kuantum dünyasının doğası 1920'lerde büyük felsefi tartışmalar doğurmuştur, fakat günümüzde eski, yerleşik, bilimsel bir olgudur.

L5: Dünya-ay sistemindeki beşinci Lagrange noktası. L4 ve L5 noktaları, ay yörüngesindedir ve bu noktalar, ay ve dünyayla eşkenar üçgenler kurar. Bunlar sabit yörüngelerdir; başka bir yere uydu yerleştirirseniz ayın kütleçekiminden ötürü hareket etmeye meyillidir. L5, O'Neill yerleşimleri için önerilen yerlerden biriydi; sonraki çalışmalar daha karmaşık başka yörüngeler gündeme getirmiştir.

Litografi: Kelime anlamı "taşbaskı." Bu terim çeşit çeşit baskı işlemi için kullanılır, duvarınıza astığınız taşbaskı resimlerden mikroişlemci yapmak için kullanılan dağlama işlemlerine kadar.

Makroölçek: Olağan boyutlu, alıştığımız şekilde hareket eden nesneler ve görüngülere tekabül eder. Karşılaştırın **mikroölçek, nanoölçek**.

Mekanik: Teknik bakımdan, bu terim aşağı yukarı fizik yerine de geçer: Belirli bir alanda devinimin, enerjinin vesairenin matematiksel tanımı anlamına gelir. Genelde, Hangi alandan bahsedildiğini belirten tamlayıcı bir terimle birlikte kullanılır, örneğin "gök mekaniği" ve "kuantum mekaniği" gibi.

Mekanosentez: Tepkimeye girecek moleküllerin, geleneksel (çözelti) sentezdeki gibi etrafta gelişigüzel sekmek yerine, planlı yollar üzerinde mekanik olarak hareket ettirildiği kimyasal tepkimelerle nesneler (moleküller) inşa etme işi.

Mikron: Metrenin milyonda biri, mikrometre de denir. Mikrometre denen ölçüm aletiyle karışmasın diye mikron adı kullanılır. Bakteriler yaklaşık bir mikron, insan hücreleri 10 mikron, insan saçı ise 100 mikron enindedir.

Mikroölçek: Bakteri ve günümüz bilgisayarlarının transistörleri gibi molekül boyutundaki nesnelere ve görüngülere tekabül eder. Karşılaştırın **makroölçek**, **nanoölçek**.

Mikropçul: Robert Freitas'ın icadı olan yapay beyaz kan hücresi; istilacı mikroorganizmaları öldüren nanorobot.

Minsky, Marvin: Yapay zekânın kurucularından.

Mitokondri: Canlı hücrelerin "yakıt hücreleri." ATP üretmek için şeker ve yağ moleküllerini oksitlerler. Hücrenin geri kalanı da ATP'yi enerji diye kullanır.

Moleküler değirmen: Bir moleküler imalat biçimi. Malzemeler ve ürünler, özel amaçlı imalat makineleri içinden geçer, tıpkı geleneksel fabrikaların üretim hatlarında hareket eden ürünler gibi. Tek ya da bir avuç genel amaçlı nanorobotik aletin zıddıdır.

Moleküler dinamikler: Tek tek atomların hareketlerinin hesaba katılmasıyla oluşturulan madde benzetimleri, fakat elektronların etkinlikleri, kimyasal bağ örüntüleriyle özetlenir.

Moleküler ışın epitaksisi: Bugün kullanımda olan bir imalat yöntemi. Bir maddenin moleküllerini yüksek vakumda buharlaştırılması ve bu moleküllerin, oluşturulan nesnenin üzerine hassas katmanlar oluşturacak şekilde çökelmesi.

Moleküler imalat: Moleküler makinelerin yaptığı imalat. Atomik duyarlılıkta ürünler üretir.

Moleküler makine: Nanoölçekli aksamı olan ve her atomun, her kimyasal bağın hesaba katıldığı bir ayrıntı seviyesinde tasarlanıp imal edildiği makine. Hücre içi proteinlere moleküler makine demek yerinde olsa da, biz burada daha hızlı, daha katı aksamı olup su yerine boşlukta çalışan makinelerden bahsediyoruz.

Moleküler mekanik: Maddenin ve devinimin atomlar-kimyasal bağlar düzeyindeki tanımıyla, tahliliyle ya da benzetimiyle ilgilenen fizik dalı.

Moleküler mühendislik: Moleküler makine tasarlama uygulamaları ve bilgisi.

Moleküler nanoteknoloji: Bu kitapta kast edilen nanoteknoloji. 100 nanometreden küçük her şey için şimdilerde çok kullanılan nanoteknoloji teriminden ayrıdır.

Montajcı: Bünyesinde pekdüzenli bir iş istasyonu barındıran makine. Bu iş istasyonunda mekanosentez gerçekleştirir; başka bir deyişle, atomik duyarlıkta nesneler yapabilen makinedir.

Moore, Gordon: Bilgisayar donanımı öncüsü ve Moore Yasasının babası. Bu yasanın genel formülüne göre bilgisayarların gücü her bir buçuk senede ikiye katlanır.

Mühendislik: Belirli bir işlevi ya da amacı yerine getirsin diye inşa edilen nesneleri ya da sistemleri tasarlamak. Bu gibi tasarlanmış nesneler, tasarımcının anladığı fiziksel etkileri kullanmakla sınırlandırılabilir ki aslında çoğu zaman durum budur.

Nanobilgisayar: Bileşenleri nanometre boyutunda olan her bilgisayar. Böyle bir bilgisayar o kadar küçüktür ki hücre boyutundaki nanorobotlar tarafından taşınabilir ve bu nanorobotun eylemlerini denetleyecek kadar güçlüdür.

Nanolitografi: Nanometre ölçeğinde herhangi bir yazı ya da baskı. Mevcut

teknikler daha ziyade moleküler boyuta indirilmiş dolma kalem ya da lastik mühür gibidir.

Nanometre: Bir metrenin milyarda biri. Elmasın bir nanometreküpünde kabaca 150 karbon atomu mevcuttur.

Nanoölçek: Atom ve molekül boyutundaki nesnelerle ve görüngülerle ilgili. Karşılaştırın **makroölçek**, **mikroölçek**.

Nanopantolon: Nanoölçekli araştırmalardan çıkan ilk ürünlerin pazarlamasında abartılı reklamların bolluğuna mizahi bir gönderme.

Nanosistem: Nanomekanik ve/veya nanoelektronik cihazlardan meydana gelen bir sistem.

Nanoteknoloji: 1. Mekanosentez yöntemiyle moleküler makineler yaratan ve benzeri moleküler makinelerden oluşan bir teknoloji. 2. Daha genel anlamıyla, rağbet gören bir sözcük olarak, eni 100 nanometreden küçük nesneleri kapsayan her türlü teknoloji.

Nanotıp: Tıbbı ileri taşımak için nanoteknolojiyi kullanmak. Moleküler ölçekte işleyen nanoteknoloji, bugünün tekniklerinden çok daha büyük bir hassaslıkla sorunları tespit edip düzeltebilir.

NNİ: Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi (The National Nanotechnology Initiative); ABD hükümetinin kapsayıcı bir ödenek makamı. Nanobilimin araştırılması ve geliştirilmesi için her sene aşağı yukarı bir milyar dolar tahsis eder.

Organel: Çekirdek ya da mitokondri gibi hücre bileşenleri (hücrenin organları).

Otojenöz: Kelime anlamıyla, "kendinden doğan." Mühendislik bakımından, kendisini onarmak, geliştirmek, yeniden inşa etmek için gerekli olan her şeyi üretebilen bir teknoloji, sistem ya da makine demektir. Bu terimin kullanımında çoğunlukla, mevcut öğelerin ya da malzemelerin işlediği bir substratı olduğu gizli olarak varsayılır, tıpkı "demircinin aletleri otojenözdür," ifadesinde olduğu gibi; oysa biliyoruz ki bu aletler ağaç, deri ya da demirci yetiştiremez.

Otomontaj: Genel kullanımda Brownvari montajla aynı anlamdadır: "Virüsler hücrede kendi kendilerini montajlar." Başka anlamlara da gelebilir, örneğin kendi montajını tamamlayan yarısı yapılmış robot gibi; hassasiyet isteniyorsa, Brownvari montaj terimi tercih edilmelidir.

Ölçek: Mühendislik bağlamında, karıncaların neden fillerden farklı bir yapıya sahip olması gerektiğini belirleyen özellik.

Örneksemeli dördün: A, B ile eşleşiyorsa ve C, D ile eşleşiyorsa, A, B, C verildiğinde D'yi bulun.

Paradigma: İlk defa bilim felsefecisi Thomas Kuhn'un, belirli bir bilimsel anlayış düzeyini meydana getiren tutarlı inançları ve varsayımları nitelemek

için kullandığı kelime. Bilimdeki temel ilerlemelerin bir "paradigma kaymasını" gerektirdiği düşünülür; paradigma kaymasında, bazı varsayımlar çöpe atılır ve yerlerini yeni, daha aydınlatıcı varsayımlar alır.

Pekdüzenli: Kelime anlamı "muntazam." Pekdüzenli moleküler makine sistemlerinde atomlar, belli yollar üzerinde hareket eder ya da belli konumlarda bulunur. Proteinler büyük oranda pekdüzenlidir, gerçi atomların durduğu konumlar, adamantin nanomakinedeki atomların konumlarına göre daha gevşek tanımlanmıştır. Su ve hücre içi difüzyon taşımacılığı pekdüzenli değildir.

Piezoelektrik malzeme: Kuartz gibi, büküldüğünde voltaj yaratan ve voltaj uygulandığında bükülen malzeme.

Protein: Amino asit yapı taşlarından meydana gelen uzun zincirli molekül. Bunlar hayatın Tinkertoy inşaat oyuncaklarıdır: Hücre içinde çalışan makinelerin çoğunluğu en az bir protein molekülünden oluşur.

Ribozom: Hücrenin "makine işliği." Tüm proteinler burada yapılır. Her hücrenin pek çok ribozomu vardır. Ribozom, hücre genomundaki DNA'da bulunan "asıl kopyadan" RNA'ya kopyalanan "yapı planını" okur. Sonrasında amino asit moleküllerinden bir zincir oluşturur. Bu zincir katlanır ve işlevsel bir moleküler makine meydana getirir.

Rulman: Makinenin en önemli unsurlarından biri. Mil ya da aksın hem serbestçe dönmesini hem de ağırlık desteklemesini ve güç nakletmesini mümkün kılar. Rulman, bir şeylerin döndüğü her makinede gereklidir; rulman olmazsa, makine sıkışır ya da sürtünmeden dolayı yanar. Güçlü, hassas rulmanların geliştirilmesi, özgün sanayi devriminin kilit ilerlemelerinden biriydi.

Sanal gerçeklik: Aslında olmadığınız bir yerde olduğunuz izlenimi veren her teknoloji. IMAX sinemaları iyi bir başlangıçtır; sanal gerçeklik teriminde amaç, en azından görüntü, ses ve dokunma hissinin tedarikini ima etmesidir. İki temel yöntemi vardır: Harici yöntemde, deneyimleyeceğiniz fiziksel uyarıyı sistem üretir; dahili yöntemde sistem, normalde duyularınızın üreteceği sinyalleri doğrudan sinir hücrelerine zerk eder.

Sanayi devrimi: 1800 civarında İngiltere'de yaşanan dönem. Buhar gücü ve bu güçten faydalanan kimi icatlar, İngiltere'yi tarım ekonomisi olmaktan çıkarıp sanayi ekonomisi haline getirmişti.

Sayborg: 'Sibernetik organizma'dan geliyor; kısmen insan (ya da hayvan) kısmen makine olan bir yaratık.

Schrödinger, Erwin: Avusturyalı fizikçi, (1887-1961). Kuantum mekaniğinin babalarından, ayrıca *What Is Life?* başlıklı kitabın yazarı.

Seeman, Nadrian: NYU'da araştırmacı ve DNA'yla tasarım eseri fiziki yapılar oluşturma alanının öncülerinden.

Sentez cihazı (ya da **masa üstü nanofabrika**): Ev içi kullanım için küçük

bir moleküler imalat tesisi.

Sert: Normal boyutlu çelik aksam serttir; iş görürken gözle görülür derecede şekil değiştirmezler. Doğanın moleküler makinelerini oluşturan proteinler gevşektir; hücrenin iç kısmı pasta fagioli'ye (barbunyalı makarna) benzer.

Sıfır toplamlı oyun: Tüm oyuncuların toplam kazançlarının ve kayıplarının birbirini sıfırladığı oyun. Birisinin kazançlı çıkmasının tek yolu, başkasının (ya da başkalarının) bir o kadar kayıp yaşamasıdır. Poker klasik bir örnektir.

SIGMA birimi: Sibernetik tarzı geri bildirim denetçisinden, Mitchell Copycat'in simgesel işlem andaçına kadar uzanan bilgi işlem öğeleri için yazarın kullandığı terim.

Sibernetik: Yunanca "dümenci" kelimesinden türemiştir; hayvanlarda ve makinelerde matematiksel denetim bilimi. Çağdaş mühendislik kontrol kuramının öncüsü olan sibernetik, kendisine yönelik özgün ve bir parça tantanalı beklentileri tatmin etmek noktasında başka görüngüleri açıklarken yeterince faydalı olamamıştır. Bu kelime, sayborg, robotbilim ve siberuzay örneklerindeki gibi bilgisayarla ilgili şeylere atıfta bulunur (kelimenin hatalı kullanılması).

Solunumcuk: Robert Freitas'ın icadı olan yapay kırmızı kan hücresi. Oksijen moleküllerini hemoglobin molekülüyle taşımak yerine, oksijeni pompayla tankın içine sıkıştırır, dolayısıyla aynı hacimde çok daha büyük bir oksijen derişimi istifleyebilir.

Step motor: Saat motoru gibi ayrık vurulara cevaben sabit sıçramalarla hareket eden motor. Eklemlerin ve robot kolların konumu üzerinde hassas bir denetim kurmak için robotbilim alanında yaygınlıkla kullanılır.

Substrat: Üzerinde başka bir şey inşa edilen varlık. Bilgisayar, yazılımın substratıdır; beynimiz, zihnimizin substratıdır.

Taramalı sonda: Moleküler ölçekli nesnelerin görüntüsünü ışığı yansıtmaktan ziyade temasla oluşturan mikroskop biçimleri. İlkesel olarak, eski tarz gramofon iğnesine benzemiyor değildir.

Taramalı tünellemeli mikroskop: Taramalı sonda mikroskobunun ilk biçimi. Tünelleme akımı olgusundan faydalanır; bu akım, iğnenin ucu ve ölçüm yapılan nesne arasındaki boşluğu sıçrayarak geçer. Mikroskop, sıçranan bu mesafeye karşı son derece hassastır. Dolayısıyla bu yöntem, aradaki boşluğun ölçülmesinin bir yoludur.

Teledüşlem: Hayal kurar gibi görüntü oluşturmayı ve bunları başka insanlara nakletmeyi kapsayacağı ileri sürülen bir yetenek (ve bunun için kullanılan kelime).

Telomer: İnsan hücrelerindeki DNA'nın ucunda bulunan "fünye." Hücre bölündükçe bu fünye kısalır. Telomer, "Hayflick sınırını" tesis eder, bu da hücrelerin ancak belirli bir sayıda bölünebilmesi demektir.

Termodinamik: Isı ve iş arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim. Sanayi devriminden bugüne kadar tüm yakıtlı makineler termodinamik yasaları uyarınca işlemiştir. Elbette termodinamik tüm nanomakineleri de bağlayacaktır; fakat ısı makinesi olmayan makineler inşa ederek bu yasaların etrafından dolaşabiliriz.

Tolerans: Makine imalatı esnasında aksam boyutunda oluşan, göz yumulabilir türde hata. Tolerans ne kadar küçükse, aksam o ölçüde hassas olur, hızlı çalışır, yavaş aşınır, ve bilhassa, bu aksamdan meydana gelen makinenin etkinliği o ölçüde hassas olur.

Transhümanizm: İnsanın teknolojik gelişimiyle ilgili çalışmalar.

TTM: Bkz. **Taramalı Tünellemeli Mikroskop**.

Turing, Alan M.: Bilgisayarın babalarından. Yapay zekânın ilk savunucularından biridir ve "Makineler düşünebilir mi?" sorusundaki felsefi muammayı çözmek için ileri sürdüğü test meşhurdur; Turing testi denir.

Uyumluluk: Mekanik aksamda bükülme direncinin zıddı: Bir kuvvet uygulandığında aksamın bükülebilmesi.

Üst üste binme ilkesi: Kuantum mekaniğinde nesneler, aynı anda tek yerde olmak ya da tek hızla hareket etmek zorunda değildir. Evet, tuhaf.

Van Allen kuşağı: Dünya yüzeyinde bizleri kozmik ışınımdan atmosfer ve dünyanın manyetik alanı korur. Bu ışınımın büyük bir kısmı, manyetik alan tarafından dünya çevresinde halka şekilli bir alana hapsedilir; işte bu alana van Allen kuşağı denir. Bu alan, ardındaki boş uzaya kıyasla çok daha radyoaktiftir.

Van der Waals kuvveti: Kovalent bağlarla bağlı olmayan atomlar arasında yine de cılız bir çekim bulunur; bunlar "yapışkandır." Aynı zamanda, bunların belirli bir boyutu vardır ve birbirlerine doğru itilmeye direnç gösterirler. Böyle demek tam doğru olmasa da, bu görüngülerin ikisi de van der Waals kuvveti diye nitelenir.

VLSI: Çok büyük ölçekli entegrasyon, yani entegre çipler için. Mikroişlemci çiplerinin teknolojisine verilen genel isim (aslında günümüzde çoğu elektronik düzeneğe bu ad verilir).

Von Neumann, John: Bilgisayarın babalarından biri, ayrıca kendini eşleyen makinelerle ilgili ciddi bir çözümleme yapan ilk araştırmacı.

Yapay Zekâ: İnsanın zihinsel işlevlerini taklit edecek bilgisayar programları geliştirme uygulaması; bu işlevlere lisan anlamak ve kullanmak, sorun çözmek, duyu girdilerini yorumlamak, fiziki dünyada bedeni denetlemek vesaire dahildir. Bu minvalde inşa edilen her türlü program bu sınıfa girer.

Yaşlanma: Yaşla birlikte ortaya çıkan fizyolojik yıkım.

YZ: Bkz. **Yapay Zekâ**.

Dizin

adyabatik 105, 112
Adyabatik genleşme 105
adyabatik sıkışma 105
Alet Sisi 204, 205, 206, 207, 208, 209, 229, 253, 287
Ampère, André 48
android robotlar 151, 152, 299
Apollo Projesi 47
Aristoteles 35, 101
Asimo robot) 218
Asimov, Isaac 199, 206
Aşölyen el baltası 280, 281
ATP sentaz 66, 70, 260
Aziz Augustinus 101

Babbage, Charles 48, 112
Bell Laboratuvarları 113
Binnig, Gerd 52
Biot, Jean-Baptiste 48
Born-Oppenheimer kestirimi 73
Bose-Einstein yoğunlaşması 73
Brooks, Rodney 218
Brown devinimi 117
Buhar makinesi 102

Calvin, William 280
Cardwell, D. S. L. 34, 47
Carnot, Sadi 41, 48, 104, 106, 107, 109, 113
Cauchy, Augustin 48
Clarke, Arthur C. 34
Clarke yörüngesi 196
Shannon, Claude 113
Conan, Sir Arthur 42
Copycat 222, 223
Coriolis, Gaspard-Gustave 48
Crick, Francis 18
Crusoe, Robinson 162
Cumberland geçidi 28

Dalton, John 117
Deep Blue bilgisayarı 228
de novo (yeni) protein tasarımı 42
Descartes, René 17
deVries, Robert 87
Drexler, K. Eric 21, 22, 23, 25, 26, 36, 41, 42, 94, 110, 134, 185, 190
Dulong, Pierre 48

Einstein, Albert 117
eptoteknoloji 118
eşısıl genleşme 105
eşısıl sıkışma 105

Fabry-Perot etalonlar 60
Faraday, Michael 41
fasulye sırığı 195
Feynman, Richard 44, 46, 236
Fleming, Alexander 257
Fourier, Joseph 48
Franklin, Benjamin 94
Freitas, Robert 73, 87, 261, 269
Fresnel, Augustin 48

Galileo 101
Gay-Lussac, Joseph 48
Gerard O'Neill 184
gökçengel 195, 196
göksüpürgesi 233, 234, 239

havacıl 230, 231, 232, 233,

234, 238, 247
Hofstadter, Douglas 222

ışınlama 300

Kilmer, Joyce 19
kuantum mekaniği 18, 31
Kurzweil, Ray 204

Lamarck, Jean 48
Laplace, Pierre-Simon 48
Lavoisier, Antoine 48
Leibniz, Gottfried 218

Mahkûm İkilemi 165, 166, 288
Manhattan Projesi 40
Marlowe, Christopher 149
Maslow, Abraham 162
Maxwell'in Cini 114, 116
Maxwell, James Clerk 113
McCarthy, John 223
McKibben, Bill 276, 277, 278, 279, 280
Merkle, Ralph 39, 73, 87
Mitchell, Melanie 222, 225
Montgolfier, Jacques-Étienne 48
Montgolfier, Joseph 48
Moore Yasası 36, 37, 38, 226, 227, 229, 286
Moravec, Hans 161, 300

nanotüp 56
Neumann, John von 129, 135
Newcomen makinesi 102, 107, 109
Newcomen, Thomas 101
Newell, Allen 223
Newton, Isaac 42, 72, 218

O'Neill, Gerard K. 34, 189
otojenöz 85, 140
otomontaj 61, 65

örneksemeli dördün 222, 223, 224

Pascal 101
Pasteur, Louis 41, 256
Petit, Alexis 48
Popper, Karl 225
Priestley, Joseph 48

replizom 19
Rohrer, Heinrich 52

Savart, Félix 48
Schrödinger denklemi 72
Schrödinger, Erwin 18, 31
Seeman, Nadrian 63
Semmelweis, Ignaz 255, 256
SHRDLU programı 216, 217, 222, 223
Sıfır toplamlı oyun 288
sibernetik 214, 215, 223
Simon, Herbert 223
Sipper, Moshe 131
Smith, Adam 133, 134
Smith, George O. 140
spinning jenny 103
Stanley Buharlısı 106

Taniguchi, Norio 22
teledüşlem 284
telemevcudiyet 151, 152, 183, 205, 206
Terry Winograd 216
tersinir ısı makinesi-pompası 106
Tinkertoy 30

Torricelli 101

uçan arabalar 39, 110, 170, 177, 178, 181, 248, 287

Van Allen radyasyon kuşağı 196
van der Waals bağları 54, 58
Van der Waals kuvveti 59, 74, 137, 138
Verne, Jules 53
Vinge, Vernor 227
von Neumann bilgisayarı 225

Watson, James 18
Watt, James 102, 103
Wiener, Norbert 214
Wilson, Edward O. 289
Woolf, Arthur 103

Sanayi devrimi, yaşam tarzımızı dönüştürdü; bireylerin ortalama ömrünü iki katına çıkardı ve bütünüyle küresel olan uygarlıkların doğuşunu mümkün kıldı. Peki, nanoteknolojinin etkisi bu gibi bir dönüşümle boy ölçüşebilecek büyüklükte midir; kimilerinin öne sürdüğü gibi ikinci bir sanayi devrimi olacak mıdır?

Nanoteknoloji, şimdiden bünyesinde kayda değer icatlar barındırıyor, üstelik daha da fazlası kuramcıların laboratuvarlarında ve bilgisayarlarında hazır bekliyor. Biyolojik mekanizmaların becerilerini geleneksel mekanizmaların becerileriyle birleştirmek mümkün olabilir mi? Başka bir deyişle kendi kendilerine oluşan, kendilerini tamir eden, fabrikalar olmaksızın çoğalan ve tohumlardan filizlenen makinelerimiz olabilir mi? Yaşamın maharetini ve uyum gösterme yeteneğini, jumbo jetlerin gücünü, elektrikli motorların verimini, bilgisayarların şaşmazlığını bünyesinde barındıran bir teknolojiye sahip olabilir miyiz? Ne kadar dahice olursa olsun birtakım yeni icatların, küçük bir teknoloji dalını aşıp dünyayı değiştirip değiştiremeyeceğine nasıl karar verebiliriz? İşte *Nanogelecek*, bu soruların cevaplarını vermeye çalışıyor.

J. Storrs Hall'a göre nanoteknoloji olgunlaştıkça, bugün yazılım dünyasında olduğu gibi, en çetin sorunların gerektirdiği muazzam çabalardan tasarruf etme imkânı fiziksel dünyada da söz konusu olacak. Uzayda yaşam mevcut teknolojiyle hem tehlikelidir hem de yanına yaklaşılmayacak kadar pahalı; fakat ileri nanoteknoloji sayesinde ucuz, kolay ve güvenli olacak.

Yeteneklerimizi artırmak için benimsediğimiz teknolojiler bizi öngörmediğimiz boyutlarda değiştirmiştir. Bugünün kültürüyle yüzyıl öncesinin kültürünü karşılaştırırsak, artan ulaşım ve iletişim imkânları sayesinde, zihniyetimizin hatırı sayılır ölçüde daha evrensel bir hal aldığını görebiliriz. Afrika ovalarında taş yontan atalarımız sonuçta bizlere dönüşeceklerini bilmiyordu; keza bizler de nanoteknolojinin bizi nereye götüreceğini bilemeyiz. *Homo erectus*'la yer değiştirmek ister miydiniz? O kadar çok şey kazandık ki: Dil, sanat, bilim; bazıları bu listeye bilincin kendisini de ekler. Bugünküne kıyasla hayat o zamanlar daha sağlıksız, çok daha zalim ve kısaydı. Eğer olasılıkları kucaklar ve bunları hayata geçirmek için açık gözlerle ve açık zihinlerle çalışırsak, geleceğin getirebilecekleri karşısında da mevcut yaşamlarımız bir o kadar yoksul görünecek. Bu tamamen bir bakış açısı meselesi. Ya doğal yaşam alanımızdan çıktık, dünyayı hınca hınç doldurduk ve git gide azalan kaynaklar üzerinde savaşmak dışında umut edecek bir şeyimiz kalmadı diyebilirsiniz; ya da evrenin eşiğinde, gerçek zekâ çağının şafağında duruyoruz ve insanın macerası henüz başlıyor diyebiliriz. Seçim sizin.

BOĞAZİÇİ ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ Elginkan Vakfı