



İNTERNET, BULAŞICI HASTALIKLAR VE
BEDENİMİZDEKİ PROTEİNLERİN ORTAK YÖNÜ

TÜM DÜNYA BİR AĞ MI?

İnternet'le bedenimizdeki kimyasal maddelerin, protein ilişkilerinin ya da ekosistemlerdeki besin zincirlerinin ortak bir yönü var mı? Bundan birkaç yıl öncesine kadar bu soruya ne yanıt vereceğimizi bilemezdik. Ama bugün bu soruya verilecek yanıt, kuşkusuz ki "evet". Her şey, 1998 yılında İndiana'daki Notre Dame Üniversite-si'nden Albert-László Barabási ve arkadaşlarının, World Wide Web'in yapı-

sını ortaya çıkarmak üzere kolları sıvamasıyla başlamış. Araştırmacılar, Web'in yapısını incelemeye ilk başladıklarında, karmaşık ağ olarak adlandırılan bir yapı bulacaklarını düşünüyormuş. Bunun için, bir robot gibi ağda dolaşarak web sitelerinin arasındaki bağlantıları inceleyen, özel olarak tasarlanmış bir bilgisayar programı kullanmışlar. Web'deki sitelerin dağılımını ve aralarındaki bağlantıları in-

celediklerinde, buldukları onlar için sürpriz olmuş. Sitelerin, öteki sitelerle kaç bağlantısı olursa olsun (ister bir, isterse de ağın elverdiği ölçüde çok), sayılarının, bağlantılarının sayısıyla ters orantılı olarak arttığını ve benzersiz bir ağ oluşturduğunu görmüşler. Bu ağdaki bağlantıların anlamlı bir ortalama değeri, bir başka deyişle ağın ölçeği olmadığından, bu yapıyı, "ölçsüz ağ" olarak adlandırmışlar.

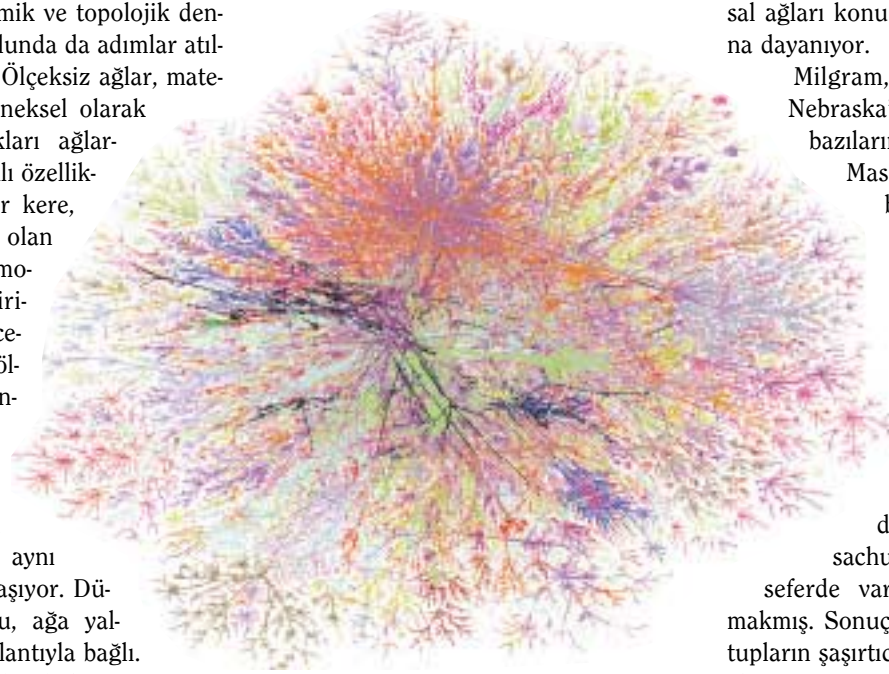
Ölçeksiz Ağlar

Barabási ve arkadaşlarının bu çalışmasına kadar, karmaşık topolojik özelliklere sahip ağlar, 1960'lı yıllarda Macar matematikçi Paul Erdős'ün bulduğu "rastlantısal grafikler kuramı"yla (random graphs theory) ele alınmış. Bu ağlarda, düğüm (node) olarak adlandırılan noktalar, rasgele bağlantılarla birbirbirlerine bağlı. Düğümlerin çoğuyla öteki düğümler arasında hemen hemen aynı sayıda bağlantı bulunuyor; düğümlerin çok azı bu ortalamadan farklı özelliklerde oluyor. Bu kuramın öngörülleri, büyük ağlar hakkında yeterli veri toplanmadığı için, gerçek yaşamda sınanmamış. Bilgisayar teknolojisinin veri toplama da sağladığı kolaylıklar sayesinde, büyük ağların dinamik ve topolojik dengesini anlama yolunda da adımlar atılmaya başlanmıştır. Ölçeksiz ağlar, matematikçilerin geleneksel olarak üzerinde çalıştıkları ağlardan tümüyle farklı özellikler taşıyorlar. Bir kere, büyük ağlar, var olan rasgele grafik modellerinin hiçbirinin öngöremeyeceği bir biçimde ölçeksiz olarak kendi kendilerini düzenliyorlar. Ölçeksiz ağlarda, sistemdeki bütün elemanlar aynı davranışları paylaşıyor. Düğümlerin birçoğu, ağa yalnızca tek bir bağlantıyla bağlı. Daha az sayıda bir bölümü iki, bundan da az bir bölümü üç, ve bu böyle devam ediyor. Yani, düğümlerin bağlantı sayısı arttıkça, o sayıda bağlantıya sahip düğümlerin sayısı azalıyor. Ağın yapısındaki baskın öğelerse, Barabási'nin "göbek" (hub) olarak adlandırdığı, bağlantı sayısı çok fazla, ama sayıları az olan siteler.

Barabási ve arkadaşlarının 2000 tarihli bir başka çalışması da, bu sistemlerin, hatalara ve saldırılara karşı hem çok güçlü hem de çok zayıf olabileceğini gözler önüne seriyor. Az sayıda bağlantıya sahip düğümlerin sayısı fazla olduğu için bu sistemler, rasgele saldırılara karşı çok daha korunaklı. Ancak, bu heterojen yapıya bağlı ola-

rak, en fazla bağlantıya sahip az sayıdaki düğüm, sistemin zayıf noktası. Bu noktalara yapılan saldırılar, büyük yıkımla sonuçlanabiliyor. Araştırmacılara göre, Web'deki sitelerin % 5'i bile zarar görse, ağın performansı zarar görmeden sürüyor. Ancak, "göbek"lerin % 5'i sistemden çıkarıldığında, ağda yolculuk yapmak için geçilmesi gereken aşamaların sayısı iki katına çıkıyor. Bu nedenle, e-teröristlerle savaşmak için kurulacak stratejilerin, bu bulguları da göz önüne alması gerekiyor.

Barabási'nin "göbek" olarak adlandırdığı sitelerin en önemli özelliği, kullanıcıların buradan, ağda aradıkları başka bir siteye gidebilmek için yalnızca birkaç kez tıklamalarının yeterli



olması. Araştırmacılar, ağdaki herhangi iki sitenin, ortalama olarak 19 "tık" uzaklıkta olduğunu görmüşler. Bu özellik, Web sitelerinin sayısı ne kadar artarsa artsın değişmeden kalıyor. Barabási, Web 10 kat büyüse bile, ağdaki herhangi iki site arasındaki ortalama uzaklığın 21 tık olacağını hesaplamış. Bu, aslında Web'in de bir tür "küçük dünya" (small world) olduğunu gösteriyor.

"Küçük Dünya"

"Küçük dünya" kavramı, arkadaşlar, komşular ve akrabalar arasında

görülen, birbirine karışmış tanışıklık ağlarını tanımlamak amacıyla geçtiğimiz yüzyılda ortaya atılmış, yeryüzünde yaşayan insanların tümünün, tanıdıklar aracılığıyla zincirleme olarak birbirine ulaşabileceği düşüncesine dayanan bir tür söz oyunu. Bugün, küçük dünya kavramının bu anlamda geçerliliği kanıtlanabilmiş değil. Yeryüzündeki tüm insanların birbirinden uzaklığının yalnızca "altı derece" olduğu, yani altı kişilik bir tanıdıklar zincirinden oluştuğu söylemi bugün popüler kültür öğeleri arasında çoktan yerini almış. Bu kavram, John Guare'nin, "Six Degrees of Separation" (Altı Derecelik Uzaklık) adlı oyunuyla popülerlik kazanmış. Oyunun çıkış noktasıysa, tanınmış psikolog Stanley Milgram'ın 1960'larda yaptığı, toplumsal ağları konu alan ünlü araştırmasına dayanıyor.

Milgram, ABD'de Kansas ve Nebraska'da yaşayan insanların bazılarını gelişigüzel seçerek, Massachusetts'te yaşayan belli birine ulaşması gereken mektuplar vermiş ve mektupları ,bu kişiyi tanıyabileceğini düşündükleri tanıdıklarına ulaştırmalarını istemiş. Deneyin amacı, mektupların tanıdıklar aracılığıyla elden ele aktararak Massachusetts'teki hedefe kaç

seferde varacağını ortaya çıkarmakmış. Sonuç olarak Milgram, mektupların şaşırtıcı bir biçimde az sayıda el değiştirerek yerine vardığını gözlemiş. Bu gözleminden yola çıkarak da, ABD'de yaşayan insanların, birbirlerinden ortalama olarak altı kişi uzaklıkta olduğu varsayımını ortaya atmış. Çalışma, hiçbir bilimsel dergide yayımlanmamış olsa da, zamanla bu varsayım, "six degrees of separation" deyişiyle popüler kültürde kendine yer edinmiş. Günümüzde, arşiv kayıtlarından Milgram'ın deneyini inceleyen kimi araştırmacılar, deney sonuçlarının aslında bu genellemeye elvermeyecek kadar belirsiz olduğunu düşünüyorlar.

Bu araştırmacıardan biri de, Alaska Üniversitesi'nden psikolog Judith Kleinfeld. Kleinfeld, 1990'larda, lisan-



süstü öğrencileriyle Milgram deneyini tekrarlamak istemiş. Milgram'ın çalışmalarının bulunduğu Yale Üniversitesi arşivlerinde araştırma yapmaya gittiğinde, Milgram'ın araştırmalarında mektupların aslında çok küçük bir bölümünün hedefine vardığını görmüş.

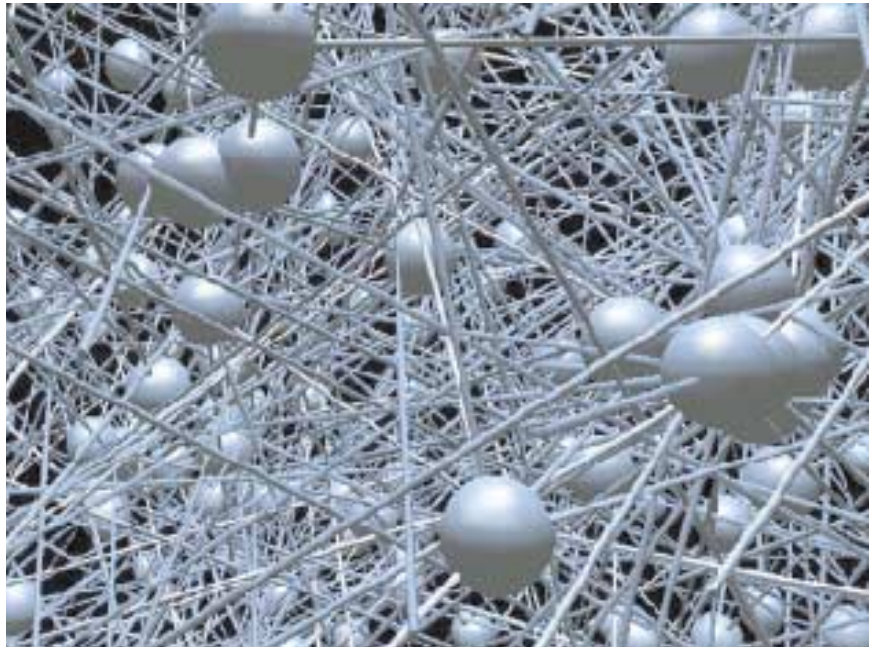
Toplumsal Yaşamın Küçük Ağları

Öte yandan, Milgram'ın varsayımını desteklemek için çalışmalar yürüten bilim adamları da var. 1990'larda, Cornell Üniversitesi'nden Steve Strogatz ve Duncan Watts, binlerce insanın görelisi de olsa kısa toplumsal yollarla birbirine nasıl bağlanabileceğini açıklayan kuramsal modeller üretmeye başlamışlar. Bu tür ağların gerçekten var olup olmadığını test etmek için, "Six

Degrees of Kevin Bacon" (Kevin Bacon'un Altı Derecesi) adlı bir oyun geliştirmişler. İnternet'te Oracle of Bacon at Virginia Web sitesinin ev sahipliği yaptığı oyun, bütün oyunculara ait bilgilerin saklandığı, bir film veritaba-

nıyla destekleniyor. Oyunun amacı, herhangi bir oyuncuyla, ünlü aktör Kevin Bacon arasındaki en kısa bağlantı yolunu bulmaya dayanıyor. Bağlantılar, "Bacon'la birlikte herhangi bir filmde rol almış olmak" ya da "Bacon'la herhangi bir filmde birlikte rol almış bir oyuncuyla herhangi bir filmde rol almış olmak.." diye giden ilişkilere göre kuruluyor. Şimdiye kadar hiçbir oyuncunun Bacon'a 10 dereceden daha fazla uzaklıkta olduğu görülmemiş. Ortalama "Bacon sayısı"ysa, 2,918.

Ancak, bu modellerden çıkarak büyük toplumsal ağlara dair genellemeler yapmak çok güç. Kimilerine göre de, gerçek yaşamda "küçük dünya" olgusu, yalnızca kimin kiminle arkadaş olduğu kriterini uygulamanın zor olmadığı ve görece küçük sayıda insandan oluşan meslek grupları gibi topluluklarda görülebiliyor. Bunun bir örneği, ortaklaşa makaleler yayımlayan bilim adamlarının oluşturduğu ağ. New Mexico'daki Santa Fe Enstitüsü'nden Mark Newman, bilimsel yayınların oluşturduğu elektronik veri tabanlarını inceleyerek, ortak makale yayımlayan bilim adamlarının arasındaki ağın yapısını ortaya çıkarmış. Birlikte makale yayımlayan herhangi iki bilimadamlarının, ağda doğrudan birbirleriyle bağlantılı olduğunu kabul etmiş. Newman, bu ağda rasgele seçilen herhangi iki insan arasındaki ortalama uzaklığın, genellikle "arkadaşlardan" kurulu, beş-altı kişilik bir zincirden oluştuğunu görmüş; tıpkı Guare'nin oyunundaki gibi. Araştırmacıya göre, bilim adamları arasında görülen bu ağ, yeni düşüncelerin, standartların ve etik değerlerin etkili bir biçimde yayıl-



masına yardım ediyor. Bilimadamlarının oluşturduğu bu ilişkiler ağının, başka meslek gruplarında, hatta toplumun genelinde de görülmesi olası; ancak bu konudaki bilgilerimiz şimdilik genellemelerden öteye gitmiyor.

Ölçeksiz Ağlar Her Yerde

Barabási, ilk başlarda ölçeksiz ağın yalnızca Web'e özgü olduğunu düşünmüş. Ancak daha sonra, örneğin, Kevin Bacon oyunundaki oyuncuların arasındaki ağın da ölçeksiz ağların özelliklerini taşıdığını fark etmiş. Oyuncuların ağında da Bacon gibi tanınmış ve birçok filmde oynamış oyuncular baskın durumda. Zaman geçtikçe, ölçeksiz ağlar listesine daha bir çok ağ eklenmiş. Ölçeksiz ağlara, ABD'nin batısındaki enerji iletim hatlarından, *Caenorhabditis elegans* adlı solucanın sinir sistemine, ekosistemlerdeki besin zincirlerinden, bilimsel makalelerdeki referansların oluşturduğu ağlara, insan bedenindeki protein etkileşimlerine ve kimyasal maddelere kadar, yaşamın çok çeşitli alanlarında rastlamak olası.

Geçtiğimiz yılın en ilginç bulgularından biri de, ölçeksiz ağların, bulaşıcı hastalıkların yayılmasında da etkili olduğunun anlaşılması oldu. Örneğin, Stockholm Üniversitesi'nden Fredrik Liljeros ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırma, insanlar arasındaki cinsel ilişkilerin oluşturduğu ağın da ölçeksiz bir ağ olduğunu ortaya koyuyor. Yeryüzündeki birçok insanın yalnızca tek bir eşi varken, çok az sayıda insan çok eşli yaşıyor. Bu ağda da insanların bağlantı sayısı, çok bağlantıya sahip insanların sayısı ters orantılı olarak görülüyor. Örneğin, bundan yola çıkarak, cinsel yolla bulaşan hastalıkların yayılmasını önlemek için en etkili yolun, mücadelenin, çok sayıda eşi olan az sayıda bireye yönlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

Gerçek yaşamdaki ölçeksiz ağların iki önemli özelliği var. Bunlardan ilki, bu sistemlerin sürekli genişlemesi. Örneğin, oyuncuların ağı, sisteme yeni oyuncuların katılmasıyla; Web, sisteme eklenen yeni sitelerle; araştırma literatürü de, yayımlanan yeni makalelerle sürekli olarak genişliyor. İkincisi

Küresel Köyümüzde Birbirimize Ne Kadar Yakınız?

Dünyanın herhangi bir yerinde yaşayan herhangi bir insan, birbirini tanıyan altı kişiden oluşan bir zincirle yine dünyanın herhangi bir yerinde yaşayan herhangi başka bir insana ulaşabilir mi?

Milyonlarca insanın birbirlerinden yalnızca küçük birer adım uzaklıkta olduğu düşüncesi, İnternet kullanımının yaygınlaştığı günümüzde doğru bir saptamamış gibi gözükse de, kimi araştırmacılara göre, bu yalnızca bir illüzyon. Gelişmiş iletişim olanakları, küçük bir azınlığın bu şekilde yaşamasına olanak tanısa da, dünyadaki insanların büyük çoğunluğu, ekonomik kısıtlılıklar, ırk ve cinsiyet gibi engeller nedeniyle yalnızca küçük bir biçimde yaşıyor.

1967 yılında, ABD'li psikolog Stanley Milgram, ABD'de yaşayan insanların gerçekten de altı kişiyle birbirine bağlı olup olmadığını sınamak amacıyla bir araştırma başlatmıştı. Birçoklarına göre bu araştırmada elde edilen veriler, bu sorunun yanıtını bulmaya yeterli nitelikte değil. Kuram, 30 yıldır kanıtlanamadan duruyor ve bugüne kadar da Milgram'ın deney tasarımını tekrarlayan başka bir araştırma yapılmamıştı. Ancak, yakın bir zamanda, iki farklı araştırma grubu, elektronik iletişim araçlarını kullanarak bu kavramın doğruluğunu test etmek için kolları sıvadı. Columbia Üniversitesi Sosyoloji Bölümü'nden araştırmacılar, Milgram'ın kuramını, küresel ölçekte, elektronik posta zincirleri aracılığıyla sınamaya çalışıyorlar. Small World Research Project adlı projede, dün-

yanın dört bir yanından insanlar, yalnızca kişisel bağlantılarını kullanarak, binlerce elektronik postanın, araştırmacılarca hedef olarak seçilen 20 kişiye ulaşması için çalışıyorlar. Araştırmacılar, mesajların yerine ulaşmasını zorlaştıran ya da engelleyen faktörleri ortaya çıkarmak ve katılımcıların hedefledikleri kişiye ulaşması için hangi stratejileri kullandıklarını belirlemek için, katılımcılarla ilgili demografik veriler de topluyorlar.

Başka bir araştırmada, Ohio Eyalet Üniversitesi'nden araştırmacılar, İnternet'in toplumsal haritasını çıkarmaya çalışıyorlar. The Electronic Small World Project adlı araştırma, farklı insanların nasıl bağ kurduğunu, toplumda bilginin nasıl paylaşıldığını ve küçük toplumsal ağların nasıl oluştuğunu ortaya çıkarmayı amaçlıyor. Bu deneye katılanlar, demografik özellikleri ve elektronik posta kullanımlarıyla ilgili olarak İnternet'te bir anket dolduruyorlar. Araştırmacılar, katılımcıları, elektronik posta ilişkilerinin zaman içinde değişimini öğrenmek üzere, anketi doldurduklarından bir yıl sonra yeniden arayacaklar. Bu projenin amaçlarından biri de, İnternet'in, insanlar arasındaki ırk, cinsiyet ve ekonomik farklılıklar gibi engelleri kaldırma etkisi olup olmadığını sınamak.

Bu iki projeye, İnternet'te, <http://small-world.sociology.ohio-state.edu/html/homepage.html> ve <http://smallworld.sociology.columbia.edu/> adreslerinden erişilebilir.

de, gerçek yaşamdaki ağlarda, sisteme eklenen yeni elemanlar, hangi noktalarla bağlantı kuracakları konusunda seçicilik gösteriyorlar. Örneğin, yeni bir oyuncu çoklukla, daha deneyimli ve tanınmış bir oyuncuyla birlikte, yardımcı bir rolde oynatılıyor. Benzer şekilde, yeni yaratılan bir Web sayfasının, zaten çok sayıda bağlantısı olan, tanınmış ve popüler bir siteye bağlantı atması da sık gerçekleşiyor. Ya da, yeni makalelerin, sık başvuru yapılan ve iyi bilinen başka çalışmalara referans gönderme olasılığı da daha fazla. Yani, gerçek yaşamdaki ağlara eklenen yeni elemanların, ağda zaten fazla sayıda bağlantısı olan elemanlara bağlanma olasılığı daha yüksek. Ölçeksiz ağların yaşamın her alanına ya-

yılmış olduğunun anlaşılması, bu ağların yapısının anlaşılmasının ne kadar önemli olduğunun da altını çiziyor. Bu sistemlerin yapısının daha iyi anlaşılması, şimdilik hakkında topolojik verilerin kısıtlı olduğu, örneğin, biyolojik sistemlerde protein kodlanmasının oluşturduğu ağlar gibi sistemlerin daha iyi anlaşılabilmesini sağlayabilir.

Aslı Zülâl

- Kaynaklar**
Kleinfeld, J. S. "Could it be a big world?" http://www.uaf.edu/northern/big_world.html
Ball, Philip, "Science is all about networking". Nature ScienceUpdate, 12 Ocak 2001
Albert, R., Jeong, H. & Barabási, A. L. "Error and attack tolerance of complex networks". Nature, 27 Temmuz 2000
Barabási, A. L. & Albert, R. "Emergence of scaling in random networks". Science, 15 Ekim 1999.
Liljeros, F., Edling, C. R., Amaral, L. A. N., Stanley, H. E. & Aberg, Y. "The web of human sexual contacts". Nature, Haziran 2001
Wright, Karen. "Six degrees of speculation". Discover, Haziran 2002