

DÜNYANIN SANAL KABUĞU

WWW

Geçtiğimiz birkaç yıldan bu yana, İnternet'teki kullanıcı sayısı ve trafiğinin inanılmaz derecede arttığına tanık oluyoruz. Öyle ki, her gün yaklaşık bir milyon yeni Ağ sayfası ekleniyor. Bu sayfalar ve kullanıcıları birbirine bağlayan sanal ağın gelişimi, bilim adamlarının bile çözmekte zorlandıkları bir bilmece haline gelmiş durumda. Daha da şaşırtıcı olan, Ağ'ın gelişimi, doğadaki birçok karmaşık yapının gelişimiyle benzerlik gösteriyor.

İnternet'in en kısa tanımı, "şebekelerin şebekesi" olarak yapılabilir. İnternet, dünyanın en yaygın sistemidir. Buna karşın, ne bir merkezden yönetiliyor, ne de kullanıcıların kimseden izin alması gerekiyor. Bir kullanıcı, bir Dünya Çapında Ağ (World Wide Web, WWW) ya da kısaca "Ağ" sayfasına İnternet üzerinde baktığında, şebeke üzerinde birçok hareket olur. Herhangi bir sayfanın evdeki ya da işyerindeki kullanıcıdan çıkan bir veri paketi, küçük paketlere bölünür. Veri paketleri öncelikle kullanıcının İnternet servis sağlayıcısından (ISP) geçer. Bir Ağ sayfasına ulaşabilmek için, kullanıcının ISP'si, veri paketlerini bir başka ISP'ye gönderir. Veri paketleri, gideceği yere bağlı olarak birkaç ISP'den geçebilir. Ya da bir ISP'ye ulaşmak için, bir Değişim Noktası'ndan (IX), Ulusal Erişim Noktası'ndan, ya da Yerel Erişim Noktası'ndan geçebilir. Veri paketleri bu sırada yerdeki fiber optik kablolardan, yörüngedeki uydulardan, denizaltındaki kablolardan ya da radyo bağlantılarından geçebilir. İnternet Protokolü'yse (IP) tüm bu bağlantıları birbirine bağlar ve bu şekilde verilerin iletilmesi mümkün olur. Kullanıcının İnternet bağlantısındaki sorunlar, genelde kendi ISP'sinden kaynaklanır. Eğer kullanıcının bağlı olduğu ISP çalışmıyorsa, kullanıcı İnternet'e bağlanamaz. Bu, İnternet'in çalışmadığı anlamını taşımaz; sadece küçük bir parçası çalışmaz.

Veri paketleri, bir Ağ sunucusu aracılığıyla gerekli yere ulaştığında, geri dönen veriler benzer bir yoldan geri döner. Yol üzerindeki İnternet sağlayıcılarından biri ya da birkaçı sorunlu olduğunda, Ağ sunucusu yanıt vermiyor ya da yavaş olabilir. Ancak, bağlantının tümüyle kesilmesi için, Ağ sunucusunun çalışmıyor olması gerekir. Bu nedenle bir kullanıcı bağlantılardaki sorunlar nedeniyle bir siteye hiç bağlanamazken ya da yavaş bağlanırken, bir başka kullanıcı normal bir biçimde bağlanabilir. Eğer karşıdaki Ağ sunucusu çalışıyorsa ve aradaki problemler yüzünden bağlantı kesikse, İnternet sağlayıcıları kullanıcıyı bu siteye bağlayacak başka yol bulmaya çalışır.

İnternet'teki bu yönlendirme, çoğunlukla otomatik olarak, yani kendiliğinden gerçekleşir. İnternet trafiğinin en büyük yükünü, bazı büyük ISP'ler taşır. Bunlar, İnternet'in omurgası kabul edilir ve geniş coğrafi bölgeler bu şekilde birbirine bağlanır. Bu tür ISP'lerdeki sorunlar ya da onları birbirine bağlayan hatlardaki kopmalar, çok sayıda İnternet kullanıcılarını etkiler. Ancak, İnternet'teki en büyük sorunlar bile genellikle birkaç saat içinde giderilebilir.

İnternet üzerinde bağlantılar kurulurken, uç noktaları alan adı sunucularına bağlıdır. Alan adları, bir alan adı sunucusu tarafından İnternet Protokolü (IP) Adresi olarak adlandırılan sayısal değerlere dönüştürülür. Bu sayısal adresler sayesinde, veriler İnternet'i

oluşturan fiziksel ağ üzerinde taşınır. Örneğin, İnternet tarayıcınızın adres bölümüne www.biltek.tubitak.gov.tr yazdığımızda, bu alan adı, alan adı sunucusu tarafından 193.140.80.105 olarak değiştirilir.

İnternet = / WWW

İnternet'in sahip olduğu en önemli özelliklerden biri, tek merkezli olmayışı. Bu sayede bir bağlantıda sorun yaşandığında, bu sorun çok az kullanıcıyı etkiliyor. İnternet'in bu kadar hızlı ve güvenilir bir biçimde genişlemesindeki en önemli etken, onun büyük oranda bağımsız ve sürekli gelişen bir yapıda olması.

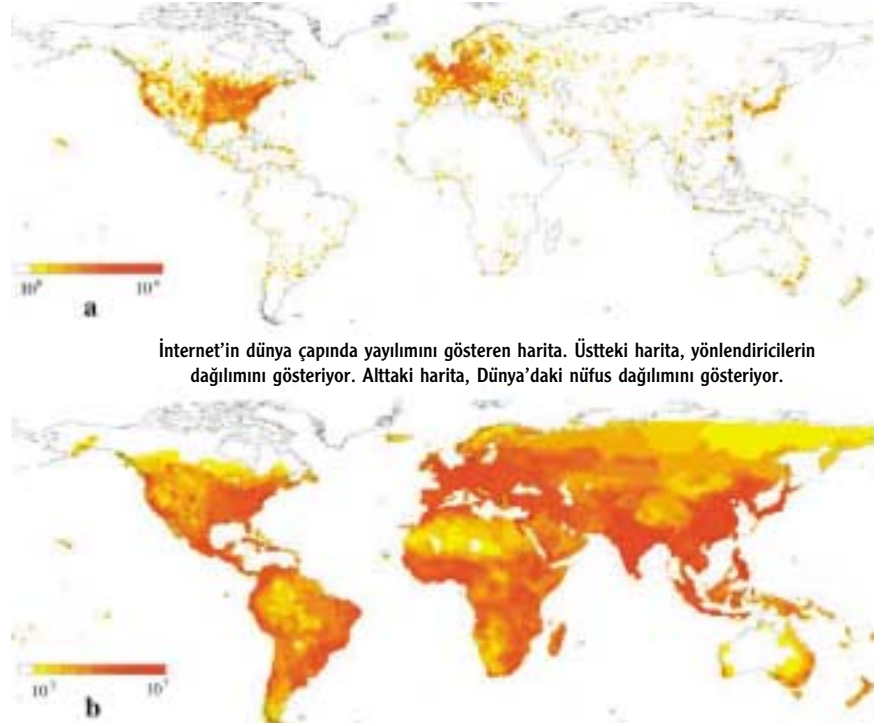
İnternet bağlantıları, fiziksel bir yapıya sahip. Yönlendiriciler, verilerin bir bilgisayardan başka bir bilgisayara aktarılmasını sağlarken, gruplar oluşturan bilgisayarlar ve yönlendiriciler bulunuyor. Düğüm noktalarını birbirine bağlayan bağlantılar, optik kablolar ya da telefon hatları gibi fiziksel bağlantılar. Bağlantıların fiziksel yapısına karşın, bu şebeke, Ağ'dan farklı çalışıyor. İnternet, fiziksel bir yapıda olmasına karşın, onun birbirine bağladığı bilgisayarlar arasında gidip gelen veriler, Ağ'ı oluşturuyor. Çok uzaktaki herhangi bir bilgisayardaki bir sayfaya ağ bağlantısı koymak, yan odadaki bir bilgisayardaki bir sayfaya ağ bağlantısı koymak kadar kolaydır.

Özellikle 1995 yılından bu yana tüm Dünya'ya yayılan Ağ, kendi kendine ge-

lişen bir canlı gibi davranıyor. Tümüyle insan tasarımı olmasına karşın, gelişimini sürdüren şebeke, daha çok bir hücre ya da bir ekolojik sisteme benziyor. Her biri değişik işleve sahip olan bileşenler, bu inanılmaz hızdaki değişime katkıda bulunuyor. Ağ'ın bu yapısını anlamak için, bilgisayarlardan ve bağlantılardan anlamak yetmiyor. Bunun için, büyük ve karmaşık ağ sistemlerini başlı başına incelemek gerekiyor.

Şebeke ve grafikler, uzun zamandır matematiğin ilgi alanlarından birini oluşturuyor. Yakın zamana kadar, büyük ve karmaşık sistemlerin yapısı hakkında yeterli bilgi yoktu ve noktaları birleştiren ağ yapısının rasgele bir biçimde oluştuğu varsayılıyordu. 1960'da iki Macar matematikçi, Paul Erdős ve Alfred Renyi, bu rasgele grafik modelini ayrıntılı biçimde ele aldılar. Buna göre, her bir bağlantı noktasının bir başkasına bağlanması, bir olasılıkla ifade ediliyordu. Erdős ve Renyi'nin rasgele bağlantılardan oluştuğunu düşündükleri şebeke sistemleri, "grafik kuramı" olarak adlandırıldı ve matematikçilerin araştırmalarını rasgele şebekeler üzerine yoğunlaştırmalarına önyak oldu.

40 yıldan uzun bir süredir, beyindeki sinir hücreleri, hücrelerin içindeki moleküllerin oluşturduğu bağlar ve toplumlarda kişilerin birbiriyle ilişkileri ve toplumların birbirleriyle bağlantıları, hep rasgele şebekeler olarak kabul ediliyordu. İnternet, elektrik güç şebekeleri ve taşıma şebekelerinin de bunlar gibi benzer yapıda olduğu düşünülüyor. Ancak, yapılan yeni araştırmalar, duru-



İnternet'in dünya çapında yayılımını gösteren harita. Üstteki harita, yönlendiricilerin dağılımını gösteriyor. Altteki harita, Dünya'daki nüfus dağılımını gösteriyor.

mun böyle olmadığını gösterdi. Üstelik, bu durum, hücreyi oluşturan moleküllerin yapısından, Ağ'a kadar benzer özellikler taşıyor.

İnternet ve Ağ, çok hızlı gelişmesi ve yapısal olarak da doğadaki öteki şebeke sistemlerini çağrıştırmaması nedeniyle, bilim adamları için oldukça çekici bir araştırma konusu oldu. Ağ şebekesindeki bağlantılar gerçekten rasgele olabilir miydi? Bu, o zamanlar kabul edilen bir yaklaşım olsa da, daha sonraları bilim adamları bu varsayımı kuşkuyla bakmaya başladılar. Her bir bilgisayar bir başkasına rasgele bağlanıyor olsaydı, kesintisiz ve hızlı bir bağlantı gerçekleş-

tirmek olası mıydı? Elbette, bu açıdan yaklaşınca, bu soruların yanıtı açık bir biçimde "Hayır" oluyor. Sistem her ne kadar karmaşık görünse de üzerine kurulu olduğu rasgele olmayan, sağlam bir yapısı olmalı. Ancak, bunu çözmek isteyen bilim adamlarının işi de oldukça zor oldu. Çünkü, milyonlarca bağlantıdan oluşan karmaşanın içinde bu yapıyı bulmak kolay değildi.

Karmaşık Şebekeler

Ağ'ın yapısını ortaya çıkarmak için, ABD'deki NEC Araştırma Enstitüsü'nden Steve Lawrence ve Pennsylvania Eyalet Üniversitesi'nden Lee Giles, 1999 yılında bir çalışma başlattılar. O sırada, İnternet yaklaşık bir milyar doküman içeriyordu. Günümüzde bu sayının 3 milyar civarında olduğu tahmin ediliyor. Her bir doküman, karmaşık şebekenin uç noktalarını oluşturuyor ve bu dokümanlar birlerine URL Uniform Resource Locator (Birörnek Kaynak Bulucu) adı verilen yer belirleyicilerle bağlanıyor.

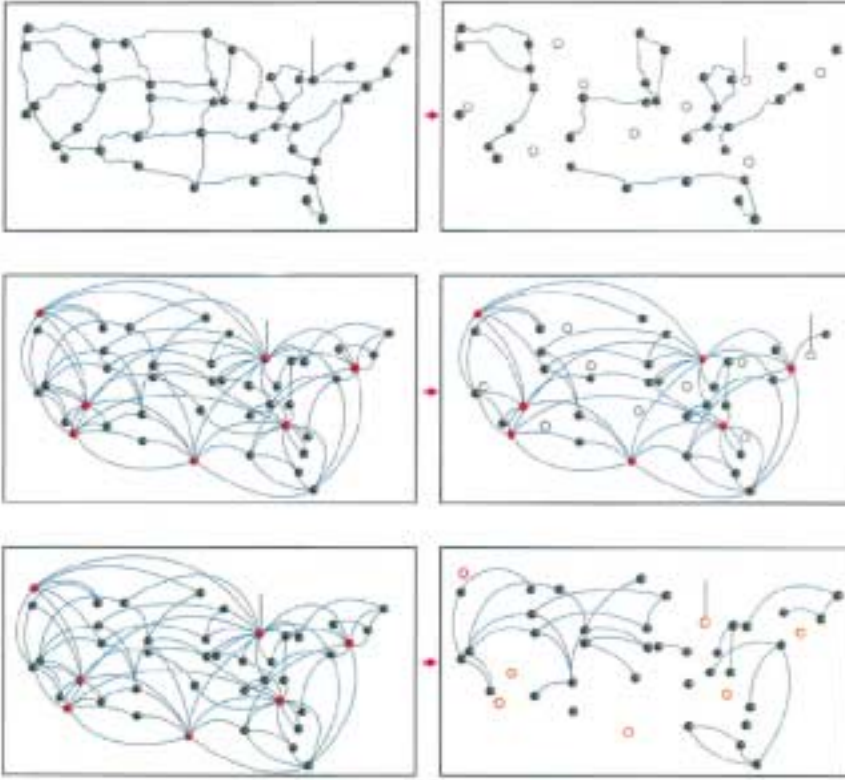
Ağın yapısını keşfetmeye çalışan araştırmacılar, sayfaların birbiriyle nasıl bağlantı kurduğunu gösteren bir haritaya gereksinim duyuyorlar. Bu bilginin benzeri, aslında Google ve AltaVista gibi arama motorlarıyla sürekli olarak toplanıyor. Ancak, arama hizmeti veren şirketler, genellikle kendi yöntemlerini keşfettiklerinden ve bu bilgiyi payla-

19 Sıçrayışta Dünyanın Öteki Ucuna

1967'de, ABD'deki Harvard Üniversitesi'nde sosyolog olan Stanley Milgram, ilginç bir varsayım la dünyayı şaşırttı. Milgram, çalışmaları sonucunda, yeryüzündeki herhangi bir kişinin bir başkasına altı dereceden uzak olduğunu hesapladı. Bunu, yazdığı çok sayıda adresiz mektubun ortalama kaç kez el değiştirerek sahibini bulduğunu hesaplayarak buldu. Bu araştırma, her ne kadar altı milyar kişiye ev sahipliği yapıyor olsa da Dünya'nın çok "küçük" olduğunu gösterdi. Milgram'ın deneyinin sonuçlarını yanlış aktardığını savunanlar olsa da, yapılan başka deneyler de benzer sonuçlar veriyor. Ayrıca, sosyologlar, düğüm noktalarının (bu deneyde insanların) sosyal şebekede küçük kümeler halinde gruplaştıklarını, her kişinin ailesini, arkadaşlarını ya da başka tanıdıklarını içeren ve birbiriyle kesişen kümeler oluşturduğunun altını çiziyorlar. Sosyal sistemin araştırılmasıyla ortaya çıkan bu sonuç, doğada başka yerlerde de karşımıza çıkıyor. Peki, bu yaklaşım İnternet'in yapısını çözmede de işe yarayabilir mi?

Bunu hemen yanıtlayabilmek için, Ağ'ın tam bir haritası gerekiyor. Ne var ki, en kapsamlı arama motorları bile, ancak %16'lık bölümünü kapsıyor. Burada, istatistik önem kazanıyor. Sınırlı bir örnek üzerinde yapılan çalışma, böylece tüm Ağ'a uygulanabiliyor. Notre Dame Üniversitesi'nde çalışmanın sonuçlarından biri de iki Ağ sayfası arasındaki en kısa yolun kaç atlama gerektirdiğini ortaya koymasıydı. Çalışmanın sonucu atlamaların sayısının 19 olduğunu gösterdi.

Bunun yanında IBM, Compaq ve AltaVista'nın 200 milyon sayfa üzerinde yaptığı deneyde, iki sayfa arasındaki en kısa yolun 16 atlama içerdiği bulundu. Buna göre, iki yönlendirici arasındaki uzaklık ise dokuz atlama kadar. Bir başka deyişle bir veri paketi 10 sıçrayışta bir yönlendiriciden ötekine ulaşıyor. Bu çalışmalar, Dünya'nın elektronik kabuğu İnternet'in ve onun içinde yaşamını sürdüren Dünya Çapında Ağ'ın yüksek derecede kümeleştiğini gösteriyor.



iki farklı Ağ modelinde, bazı bağlantı noktalarının çalışmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar. "Rasgele Şebeke" modelinde, bağlantı noktalarından birkaçının çalışmaması durumunda, şebeke parçalanırken, Ölçeksiz Ağ modelinde böyle bir sorunla karşılaşılıyor. Ölçeksiz Ağ modelinde, ancak çok bağlantının bulunduğu büyük sitelerin devre dışı kalması durumunda ağ parçalı hale gelebiliyor.

makta isteksiz olduklarından, araştırmalarda bu bilgidenden pek yararlanılmıyor. Ayrıca, araştırmacıları kendi modellerini oluşturmada kendi yöntemlerini daha kullanışlı buluyorlar. Ancak arama motorları da kendi araştırmalarını yaparak sonuçlarını paylaşıyorlar.

ABD'deki Notre Dame Üniversitesi'nden bir grup bilim adamı, bir sayfadan başlayan, tüm dış bağlantıları toplayan ve toplanan tüm bağlantıları izleyip ulaşılan tüm bağlantıları da toplayan bir tür "Ağ Sürünge" programı yazdılar. Bu program, bir Ağ sayfasından ötekine geçerek tüm bağlantıları topladı. Böylece, Ağ'ın sadece %0,05'ini kapsayan, kendilerine ait bir harita oluşturular. Araştırmacılar, elde edecekleri sonucun rasgele bağlantılardan oluşan şebeke kuramını destekleyeceğini düşünürken, beklenmedik bir sonuç çıktı. Ağ'ı bir arada tutan şebekenin çok bağlantılı siteler olduğu anlaşıldı.

Rasgele bağlantılardan oluşan modeli, bildiğimiz karayolları şebekesine benzetebiliriz. Kentleri uç noktaları olarak düşünersek, onları birbirine bağlayan yolları bağlantılar olarak kabul edilebiliriz. Birçok kent, yolların kesişme noktasında yer alır. Bu durumda, bir Ağ sayfasından ötekine bağlanırken, başka kavşak noktalarından geçmek gerekir.

Bu modelde, web sayfalarından bir bölümü çalışmazsa, Ağ bir çok parçaya bölünür ve bu parçalar arasında herhangi bir bağlantı kurulamazdı. Bu model geçerli olsaydı, herhangi bir kullanıcı, Ağ'ın yaklaşık %95'ine ulaşamazdı.

Eğer bir havayolu şirketinin tanıtım dergilerindeki haritalara baktıysanız, uçuş seferleri haritada kentler arasında çizilen çizgilerle gösterildiğini görmüşsünüzdür. Örneğin, İstanbul gibi büyük bir kentten, Dünya'nın birçok büyük kentine sefer vardır. Bunun tersi de geçerlidir. Bu, büyük bir İnternet sitesinden, başka büyük sitelere çok sayıda doğrudan bağlantı olmasına benzer. Küçük kentlereyse, genellikle yakındaki büyük kentler üzerinden aktarma yapılır. Küçük kentlerdeki havaalanları gibi, küçük İnternet sitelerinde de genellikle az sayıda bağlantı bulunur; ancak bunlar genellikle yakınlarındaki büyük kentlerle bağlantılıdır. Küçük hava alanları kapatılırsa, öteki kentlerin birbiriyle bağlantısı kesilmez. Yine, az sayıda büyük kentin hava alanı kapatılırsa, birkaç küçük kent hariç çoğu kent arasındaki bağlantı yine kesilmemiş olur. Yolunuz uzasa da bir büyük kentten ötekine hava yoluyla bir şekilde gidebilirsiniz. Büyük kentlerdeki hava alanlarından çoğunu kapatırsanız, kentlerin

küçük bir bölümünün birbiriyle bağlantısı kesilecektir. Ancak, Ağ üzerindeki çok ziyaret edilen sayfalar tamamen kapatılırsa, bazı sayfaların ötekilerle bağlantıları kesilir ve Ağ işlevini kısmen sürdürmekle birlikte birkaç parçaya ayrılabilir.

Fiziksel bir şebeke olan İnternet ve sanal bir şebeke olan Ağ'ın nasıl olup da benzer yapıda şebekeler oluşturduğu ayrı bir tartışma konusu. Ağ, yeni sayfaların eklenmesiyle sürekli olarak genişliyor. Bununla birlikte, İnternet de yeni yönlendiriciler ve bağlantı hatlarının eklenmesiyle büyüyor. Ayrıca, rasgele grafik modelleri bağlantıların rasgele dağılmış olduğunu söylese de, gerçekte şebekede ayrıcalıklı bir durum var. Bazı bağlantıların ziyaret edilme olasılığı, ötekilere göre daha fazladır. Örneğin, kendi Web sayfamıza koyacağımız bağlantıların Web'deki popüler dokümanlardan olma olasılığı daha fazladır.

İnternet'in yaratıcıları, büyük olasılıkla, onun bu kadar gelişebileceğini öngörmemişlerdi. İnternet ve onunla birlikte gelişen Ağ, bir organizma gibi, çok karmaşık bir yapıya ulaştı. Dünya'nın birçok yerinde çeşitli bilim adamları, kendi kendine gelişen bu yapıyı çalışıyorlar. Bunda ne kadar başarılı oldukları tartışılır. Ancak, Ağ'ın bu karmaşık yollarında aradığımız bilgiye bizi götüren arama motorlarının da bu yapıyı bilerek ilerlemesi gerekiyor. Ağ'ın küçük bir bölümünü kapsasalar da Google gibi arama motorları bu yolları başarıyla kat ediyorlar.

Ağ sistemleri, ister doğadaki canlılar gibi karmaşık sistemler olsun ya da İnternet gibi insanın yarattığı şebekeler, bilgi işlemcilerin ilgi alanından çok, fizikçilerin, hücre biyologlarının ve bu tür karmaşık yapıları inceleyen matematikçilerin ilgi alanına giriyor. Aslında İnternet, ağ yapıları üzerinde çalışan tüm araştırmacılar için mükemmel bir örnek oluşturuyor. İnsanoğlunun doğadaki karmaşık yapıları çözebilmesi için, öncelikle kendi yarattığı karmaşık sistemleri çözmesi gerekiyor.

Alp Akoğlu

Kaynaklar
Barabasi A.L., The Physics Of Web, Physics World, Temmuz 2001
Barabasi A.L., Bonebeau E., Scale-Free Networks, Scientific American, Mayıs 2003
Kleinberg J., Lawrence S., The Structure of Web, Science, 30 Kasım 2001
Mattis, J., Scale-Free Networks, ComputerWorld, 4 Kasım 2002
<http://www.mids.org/works.html>
<http://www9.org/w9cdrom/160/160.html>
<http://www.fractalgenomics.com/technology/>