

21.Yüzyılın Bilimi: Şebekeler Bilimini ve Barabási'yi Anlamak

Deniz TAŞCI

*Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi
İletişim Bilimleri Fakültesi
dtasci@anadolu.edu.tr*

I. Giriş

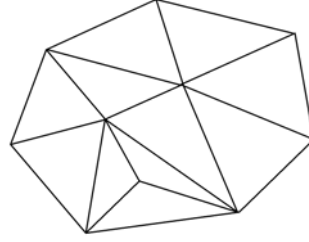
Hiçbiri daha önce birbirini tanımayan on konuğun katıldığı bir davette, konukların küçük gruplar halinde sohbete koyulması ile birlikte sosyal bağlantılar oluşur. Başlangıçta gruplar birbirlerinden kopuktur ve aynı gruptaki kişiler arasında sosyal bağlar bulunmasına rağmen, o grup dışındaki herkes hala yabancısıdır. Zaman geçtikçe her grup farklı gruplara yönelir ve dev bir küme ortaya çıkar. Herkes birbirini tanımasa bile, bütün konukları kapsayan tek bir sosyal şebeke oluşmuştur artık (Barabási, 2003: 23). Ya da başka bir örnek verilecek olursa Euler'e göre; "Grafik Teorisi"nin temeli olan grafikler, bağlantılar ile birbirine bağlanmış düğümler topluluğudur.

Her sistemin, şebekenin bağlantılarının oluşma şekilleri ve bunlara yön veren faktörler çok farklıdır. Bu sebepten dolayı bütün şebekeleri içeren bir modelleme yapmak çok güç bir süreçtir. Ancak "sosyolojiden matematiğe, biyoloji ve tıp bilimine kadar her alanda karşılaştığımız bağlantılar nedir? Zayıf ve güçlü yanları nedir? Bağlantıların oluşturduğu "gerçek şebekeler" nasıl kurulurlar? Şebekelerin yapılarını düzenleyen yasalar nelerdir?" sorularına yanıt bulunması sonucunda bir şebeke modeli oluşturmak mümkün olabilecektir.

2. Gelişigüzel Şebeke Modeli

Bu sorulara ilk cevap ancak 1950'lerde iki Macar matematikçi olan Erdős ve Renyi'nin grafik teorisinde bir devrim yaptığında gündeme gelmiştir. Farklı sistemler kendi şebekelerini kurarlarken aynı kuralları izledikleri için, Erdős ve Renyi bilinçli bir yaklaşımla bu çeşitliliği göz ardı ettiler ve doğanın izleyebileceği en basit çözümü ileri sürdüler: Düğümleri gelişigüzel şekilde birbirine bağlamak (Barabási, 2003: 25). Bu çözümle gelişigüzel şebeke teorisinin temelleri atılmış oldu.

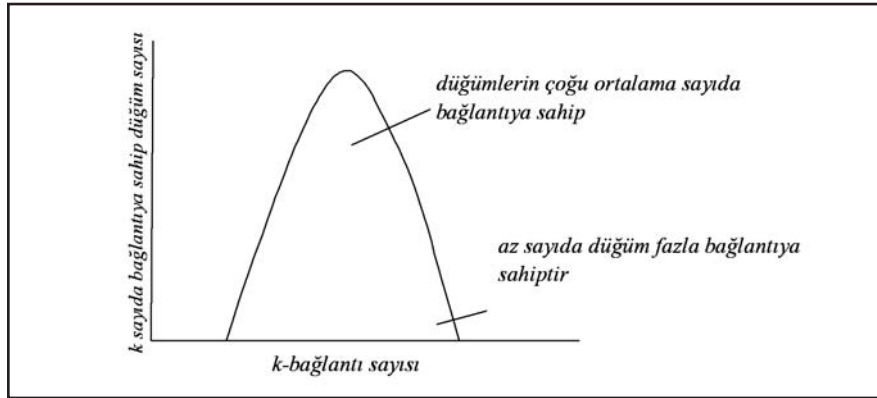
Gelişigüzel şebeke teorisinin temelinde demokrasi anlayışı yatmaktadır. Bu modele göre her düğümün birbiri ile bağlantı kurma olasılığı eşittir. Düğümler arası gelişigüzel bağlantılar oluşması sonucunda, birkaç düğümden oluşan kümeler ortaya çıkacaktır. Ancak her düğüme, ortalama sayıda bağlantıya sahip olmasına yetecek sayıda bağlantı eklediğimizde, bir mucize oluşur; benzersiz dev bir küme ortaya çıkar (Barabási, 2003: 26). Artık bütün düğümler bu dev şebekenin bir alt kümesi haline gelmiştir. Öyle ki; düğümler arasındaki bağlantılar boyunca ilerleyince, herhangi bir düğümden başlayarak bir diğerine ulaşmak mümkün olacaktır.



Şekil 1. Gelişigüzel Şebeke

Bu olay maddenin faz değişimi anındaki davranışına benzemektedir. Yukarıda belirtilen ortalama bağlantı sayısı "kritik" bir değerdir. Her düğümün tek bir bağlantıya sahip olması bağlantılı olmasına yeteceği için, gelişigüzel şebekede bu kritik bağlantı sayısı "bir"dir. Bu kritik değer altındaki bağlantı sayısında birbiri ile bağlantısı olmayan, ayrı düğümler kümesi oluşacaktır. Aynen sıcaklığın 0°C altına düştüğü anda suyun davranışı gibi; ancak bağlantı sayısı kritik değeri aştığında tüm düğümlerin katıldığı dev bir şebeke meydana gelecektir.

Düğüm başına düşen ortalama bağlantı sayısı bu kritik değerden ne kadar fazla olursa, şebeke dışında kalan, tecrit olmuş durumdaki düğüm sayısı da o kadar azalacaktır. Her ne kadar bütün düğümlerin bağlantı edinme şansları eşit olsa da, bazı düğümler diğerlerine göre fazlaca bağlantıya sahip olacaklardır ki bu durumdan ötürü gelişigüzel şebekeler çan eğrisine sahip bir Poisson dağılımı izlemektedirler (Şekil-2). Bu dağılım çoğu düğümün aynı sayıda bağlantıya sahip olduğunu ve çok sayıda bağlantıya sahip düğümlerin daha az sayıda olduğunu gösterir. Yani gelişigüzel şebekelerde demokrasi egemendir, bu toplumda herkes ortalama bir düzeydedir ve son derece sosyal ya da büsbütün asosyal sayılabilecek, normdan sapan çok az kişi çıkar. Başka bir deyişle gelişigüzel şebekelere ortalamalar hâkimdir.



Şekil 2. Gelişigüzel Şebekelerde Çan Eğrisi

3. Altı Adımlık Ayırma

Peki, herhangi iki düğüm arası ortalama mesafe ne kadardır? Bu soruya yanıt bulabilmek için Stanley Milgrain, Wichita ve Omaha sakinleri arasında bir çalışmada bulunmuştur. Semt sakinlerine yolladığı mektupları, istenen kişiyi tanıyorlarsa doğrudan o kişiye, tanımıyorlarsa o kişiyi tanıma olasılığı en yüksek olan başka bir tanıdıklarına yollamalarını istemişti.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar çok çeşitlilik arz ediyordu. Bazıları bir düzineye yakın aracı kullanırken, sadece iki aracı üzerinden geçip gelen bağlantılara bile rastlanılmıştır -ki bu sonuçlardan elde edilen en kısa yol idi.

İstatistiksel hesaplamalar sonucunda, çalışmaya katılan deneklerin ortalaması 5,5 gibi, yuvarlanıp 6 alındığında bile çok küçük sayılabilecek bir değer çıkmıştır. Altı Adımlık Ayırma da ismini bu ortalamadan almaktadır.

Bu ayırmaya göre şebeke ne kadar büyük olursa olsun, bir düğümden diğer bir düğüme, ulaşmak mümkündür. Yeryüzündeki herkes birbirine ortalama en fazla altı kişiyle bağlantılıdır ki; bu değer önceden belirtilen kritik bağlantı sayısı olan "bir" in çok çok üzerindedir. Yani, her insan toplumun bir parçasıdır. Steve Lawrance Lee Giles de, benzer bir çalışmayı internetteki belgeler için yapmış ve herhangi iki belge arasındaki ortalama uzaklığı 18,59 yani 19'a yakın bir değer bulmuşlardır. Bu sonuca göre internet için 19 adımlık ayırma mevcuttur. Her belge bir diğerine ortalama olarak 19 tıklama uzaklıktadır (Barabási, 2003: 44).

Daha sonrasında yapılan bütün çalışmalar hemen hemen her şebekede, küçük ayrılma düzeylerinin yaygın olduğunu ortaya çıkarmıştır. Devasa boyuttaki şebekeler, sahip oldukları düğüm sayısından çok daha ufak bir ayrılma sergilemektedirler. Bu durumun sebebi; bu şebekelerin yüksek düzeyde karşılıklı bağlantılara dayanan bir doğaya sahip olmasıdır (Barabási, 2003: 45). Ayrıca düğüm başına düşen ortalama bağlantı sayısının artması da düğümler arası mesafenin azalmasını, daha az adımda diğer bütün düğümlere ulaşılmasını sağlayacaktır. Düğüm başına düşen bağlantı sayısı, kritik değer olan bir olduğunda ayrılma çok büyük olacaktır.

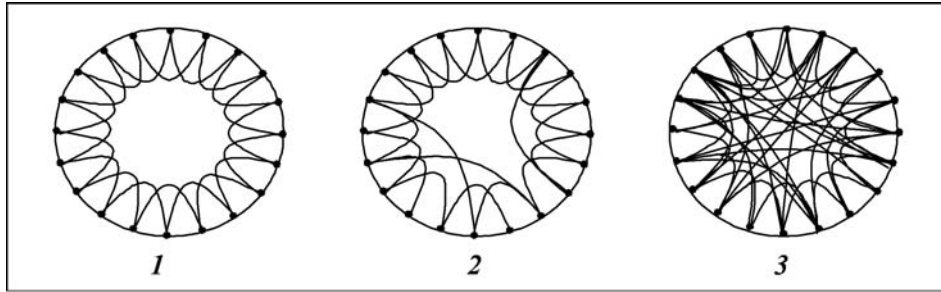
4. Watts-Strogatz Modeli

Garvonetter'in zayıf bağlar teorisine göre; toplum herkesin birbirini tanıdığı son derece kuvvetli bağlantılı kümeler, yani sıkıca kenetlenmiş arkadaş çevreleri halinde düzenlenmiştir. Bu kümeleri bağlayan birkaç dışsal bağlantı, bu kümelerin geri kalan dünyadan kopuk kalmamalarını sağlar (Barabási, 2003: 52).

Gelişigüzel bir şebekede ise, her düğüm bir diğerine tamamen rasgele bir şekilde bağlanacağından hiçbir arkadaş çevresi- kuvvetli bağlantılı kümeler- bulunmayacaktır. Duncan Watts ve Steven Strogatz, Garvonetter'in zayıf bağlar teorisinin günlük yaşama Erdős ve Renyi'nin gelişigüzel evren teorisinden daha uygun olmasından esinlenerek, gerçek şebekelerin temelde gelişigüzel olduğu görüşüne karşı ilk ciddi çalışmada bulunmuşlardır. Watts ve Strogatz, iki arkadaşın birbirini tanıma olasılığını nicel olarak "Kümeleşme Katsayısı" ile göstermişlerdir. Kümeleşme katsayısı toplam

bağlantı sayısının, toplam düğüm sayısına oranı olarak tanımlanabilir. Kümeleşme katsayısının 1,0'a yaklaşması, düğüm kümesindeki bütün düğümlerin birbiri ile bağlantılı olacağını gösterir. Kümeleşme sayısı 0,0 olduğunda ise düğümler arası herhangi bağlantı bulunmayacaktır. Kısacası yüksek derecede kümeleşmiş bir şebekenin yüksek bir kümeleşme katsayısına sahip olması gerekir (Barabási, 2003: 57). Nöron bağlantılarında, elektrik enerji şebekelerinde ve karayolu ulaşım hatlarında kümeleşme katsayısı, gelişigüzel şebekelere kıyasla beş kat daha fazladır.

Sonrasında Mark Newmann'ın fizikçiler, tıp doktorları ve bilgisayar yazılımcıları üzerinde yaptığı çalışmalar da "sosyal sistemlerde kümeleşmenin var olduğunu" açıkça ortaya konmuştur.



Şekil 3. Küçük ve Kümeleşmiş Bir Dünya

Yüksek derecede kümeleşmeye sahip şebekelerin modelini çıkarmak için Duncan Watts ve Steven Strogatz, işe her düğümün hemen yanındaki ve bir sonraki komşusuyla bağlantılı olduğu bir düğümler çemberi ile başladılar (Şekil 3; 1 numaralı gösterim). Bu dünyayı küçültmek için, seçilmiş düğümleri gelişigüzel birbirine bağlayan birkaç ilave bağlantı eklediler (Şekil 3; 2 numaralı gösterim). Bu uzun menzilli bağlantılar (Şekil 3; 3 numaralı gösterim), uzak düğümler arasında kritik kestirme yollar sağlayarak, bütün düğümler arasındaki ortalama ayrılmayı olağanüstü kısaltmaktadır (Barabási, 2003: 64).

Kuşkusuz bu model, düzenli kafes biçiminden yola çıkarak kümelerin varlığına olanak tanıyor. Ancak düğümlerin tamamen gelişigüzel bir biçimde bağlanmasından Erdős ve Renyi'nin gelişigüzel evrenini yakından izlemeye devam etmektedir.

5. Göbekler ve Bağlayıcılar

Şebekelerdeki bazı düğümler, diğerlerine göre olağanüstü sayıda bağlantı bulundurmaktadır. Göbek - Bağlayıcı olarak tanımlayabileceğimiz bu düğümler ne Erdős ve Renyi'nin gelişigüzel evreninde, ne de Watts-Strogatz modelinde ortaya çıkmaktaydı. Yüksek düzeyde bağlantılı bu düğümleri hesaba katmak için gelişigüzel evren görüşünü bütün zamanlar için tamamen terk etmek gerekmektedir (Barabási, 2003: 66).

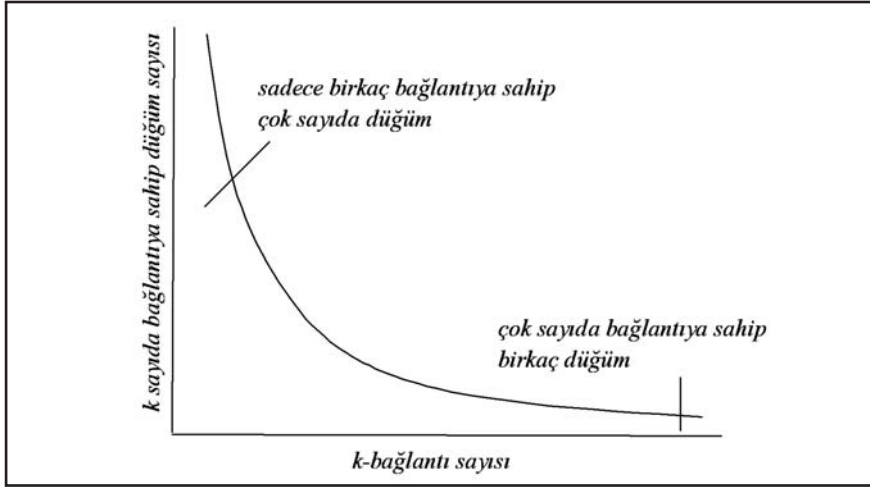
Hücre içinde su ve ATP (adenozin trifosfat) birçok madde ile etkileşimde bulunduğu için göbek

sayılabilirler. Elektrik enerji hattındaki elektrik santrallerini de göbek olarak tanımlamak mümkündür.

Olağanüstü sayıda bağlantıya sahip bu düğümler, buldukları şebekelerin karakteristik özelliklerini - esneklik, sağlamlık, kırılganlık vb... - belirlerler. Ayrıca şebeke içindeki düğümler arası ortalama mesafeyi de büyük oranda kısaltırlar.

6. Ölçeksiz Şebeke Modeli

İki düğüm arasında bir bağlantının bulunması gelişigüzel şebekelerin bir özelliğiydi ve bu şebekeler Poisson dağılımı göstermekteydiler. İçerisinde göbekleri barındıran şebekelerde ise durum farklıdır. Bu tür şebekelerde ayrılma seviyesi düşüktür ve şebeke “kuvvet yasası dağılımı” izlemektedir (Şekil-4).



Şekil 4. Kuvvet Yasası Dağılımı

Kuvvet yasaları, birçok gerçek şebekede düğümlerin büyük bölümünün sadece birkaç bağlantıya sahip olması ve bu sayısının ufak düğümün birkaç büyük göbekte, yani olağanüstü çok sayıda bağlantıya sahip düğümlerle birlikte var olması olgusunu matematiksel olarak formüle eder (Barabási, 2003: 82).

Kuvvet yasasının, Poisson dağılımının aksine, karakteristik bir ortalama değere sahip olamamasından ötürü, kuvvet yasası dağılımı gösteren şebekeler “Ölçeksiz Şebekeler” olarak adlandırılırlar.

Daha önce de belirtildiği gibi ölçeksiz şebekeler birkaç büyük göbeğe sahiptir ve bu göbekler şebekenin karakteristiğine yön verirler. Gerçek şebekelerin yapısal istikrarını, dinamik davranışını, sağlamlığını ve hatta saldırıya karşı dayanıklılığını bu göbekler belirtir (Barabási, 2003: 84).

7. Statik ve Dinamik Şebekeler

Gelişigüzel evren ve Watts-Strogatz modelleri şebekelerin statik olduğu varsayımına dayanmaktaydılar ve bütün düğümlerin sayıları sabitti. Ancak gerçek şebekelerin büyük çoğunluğu dinamik yapıya sahiptiler. Bundan dolayı büyüyen bir şebeke modeli kurmak gerekliydi.

İlk geliştirilen model Erdős ve Renyi'nin gelişigüzel evreninden yola çıkarak hazırlanmıştı. Temelinde üç düğümden ikisini rasgele seçip yeni düğüme eklemek, bu süreci devamlı tekrarlamak yatmaktaydı. Bu model de eklenen bağlantılar gelişigüzel seçilse de düğümlerin yeni bağlantı edinmeleri eşdeğer değildir. İlk düğümler yeni bağlantı kazanmak için en uzun süreye sahip olup kazançlı çıkarlarken, şebekeye en son katılan düğümler bu konuda kaybeden konumuna düşmekteydiler. Dolayısıyla bu model, göbekleri ve bağlayıcıları açıklamada yetersiz kaldı. Bununla birlikte kuvvet yasalannın ortaya çıkışının tek başına büyüme ile açıklanamayacağını gösterdi (Barabási, 2003: 98).

8. Tercihli Bağlanma Modeli

İlk modelin eksikliklerini gidermek için yeni bir model tasarlanmalıydı ve bu yeni model göbekleri ve kuvvet yasalannı yok saymamalıydı. Göbekler çok sayıda bağlantıya sahip olduğu için, şebekeye yeni bağlanan düğümlerin göbeklere bağlanma olasılıkları, diğer düğümlere bağlanmalarına göre yüksektir. Örneğin, Hollywood'da meşhur oyuncunun yeni rolü kapma şansı, çaylak bir oyuncuya göre çok daha yüksek olacaktır. Gelişigüzel evren ve Watts-Strogatz modellerinde düğümler eşdeğer ve düğümlerin bağlantı yapma olasılığı eşit sayıldığından, "tercihli bağlanma" bu iki modeli reddeder. Şebeke evrimine incelikli, ama acımasız tercihli bağlanma yasası yön verir. Böyle bir yönlendirme altında olduğumuz için, zaten yoğun bağlantılı olan düğümlere bilinçsizce daha yüksek bir hızla yeni bağlantılar eklenir (Barabási, 2003: 100). Kısacası zengin daha zenginleşir.

Ancak göbeklerin belli bir zaman sonunda yeni bağlantılar elde edememesi halinde bu göbeklerin büyümeleri sınırlı kalacak, yeni bağlantı çekme yetenekleri giderek azalacaktır.

Ölçeksiz şebeke modeline büyüme ve tercihli bağlanmanın birlikte eklenmesi, şebekede kuvvet yasası dağılımını ortaya çıkarır. Bu ikisinin bir arada olmadığı durumda kuvvet yasalannından söz etmek olanaksızdır. Tercihli bağlanma olmaksızın büyüyen bir şebekenin üslu bir dağılımı vardır ve göbeklere yer vermediği için çan eğrisi dağılımı gösterir. Büyümenin yokluğunda ise statik modele geri döneriz ki bu durumda da kuvvet yasalannı ortaya çıkaramayız.

9. Uygunluk Modeli

Ölçeksiz şebekelerde - eşitlik ilkesi doğrultusunda - şebekelere önceden dâhil olan düğümlerin yeni bağlantılar elde ederek göbek haline gelebilme olasılıklarının, şebekeye sonradan katılanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmiştik. Ancak, gerçek şebekelerde her düğümün kendine has özellikleri vardır. Bazıları sonradan ortaya çıksalar da göbek halini alabilirler. Ya da şebekeye önceden katılan düğümlerin etkinliklerini yitirerek silinmeleri mümkündür. Bu amansız rekabeti doğrulayabilmek için her düğümün farklı olduğu kabul edilmelidir.

O halde her düğümün belli bir uygunluk seviyesine sahip olduğu düşünülebilir. Buradaki uygunluk; bir düğümün çevresindeki diğer düğümlere göre bağlantı kurabilme yeteneğidir. Ya da bir düğümün rekabet ortamının ön safında kalma becerisinin nicel ölçüsüdür uygunluk. Diğer bir düğüme göre iki kat daha uygun olan bir düğüm, bağlantılan daha çabuk edinecektir. Dolayısıyla şebekeye ne zaman katılırsa katılsın, uygunluğu yüksek düğümler diğerlerini kısa sürede geride bırakacaklardır.

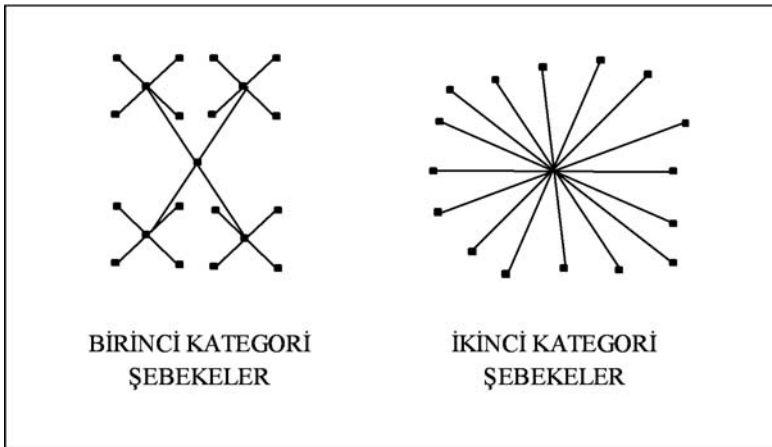
Bununla beraber uygunluk kavramının işe dâhil edilmesi, büyüme ve tercihi bağlanmayı reddetmez. Çünkü ölçeksiz modelde bir düğümün çekiciliğini sadece sahip olduğu bağlantı sağlarken, rekabet ortamında uygunluk başrol oynamaktadır. Buradan hareketle, şebekelerde tercihi bağlanmaya, düğümün yoğunluğu ile bağlantı sayısının çarpımının yön verdiğini varsayarak, her düğümün kendine has bir "uygunluk bağlantılilik çarpımı"nın varlığını kabul etmemiz gerekir.

Şebekeleri, düğümlerini uygunluklarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür (Şekil-5);

Birinci kategori: Bu tür şebekelerde ölçeksiz topoloji varlığını sürdürmektedir. Uygunluğu en yüksek olan düğüm gelişerek göbek halini alacaktır. Ancak bağlantı sayısı bakımından diğer düğümler ile arasında çok fazla fark bulunmayacak, en büyük göbeği hemen arkadan daha düşük bir uygunlukta düğüm takip edecek, düğümlerin bağlantı sayılan dar tepeli bir çan eğrisi izleyecektir.

İkinci kategori: Bu tür şebekelerde en uygun düğüm bütün bağlantılan kapatarak geride kalan düğümlerle çok az sayıda bağlantı bırakacaktır. Merkezi bir göbekte, çok geriden gelen takipçiler gözlemlenecektir. Bu durumda kuvvet yasaları kaybolacak, ölçeksizlik ortadan kalkacaktır. Bu karakteristiği ile ölçeksiz topolojiyi ve göbekler hiyerarşisini yok edecektir.

Bu sınıflandırmadan da anlaşılacağı gibi birinci kategoride ki rekabet ölçeksiz bir topolojinin oluşmasına neden olurken, ikinci kategoride kazananın tüm bağlantılan almasından ötürü bu ölçeksizlik kaybolacaktır.



Şekil 5- Düğümlerine Göre Şebekeler

10. Zayıf Halka

Şebekeler sahip oldukları karmaşık yapılarına rağmen, tehlikelere karşı tamamen koruma altındalar mıdır? Karmaşık bağlantılara dayalı sistemlerde, herhangi bir sorun ortaya çıktığında bu sorunun, bağlantılar aracılığıyla, sistem boyunca yayılması kaçınılmazdır. Bununla beraber doğal sistemler çok değişik koşullar altında varlıklarını sürdürmek gibi benzersiz bir özelliğe sahiptir.

Yüksek derecede dayanıklılık sergileyen sistemler incelendiğinde, bunların sahip olduğu son derece güçlü karmaşık şebeke yapısının, işlevselliğini güvence altına aldığı gözlemlenmiştir. Yani karşılıklı karmaşık bağlantılar ile sağlamlık ve dayanıklılık sağlama çabası gösterirler.

Buna rağmen düğümlerdeki aksaklıklar şebekeyi bozarak dağılmasına neden olabilirler. Şebekenin sahip olduğu düğümlerin devre dışı bırakılması, kaçınılmaz olarak şebekenin dağılma olasılığının yükselmesine neden olacaktır. Yine bu olayda da kritik bir eşik değerin var olduğunu kabul etmek gerekir. Sadece birkaç düğüm devreden çıkarıldığında, kalan düğümlerin sıkı bir biçimde bağlanarak daha sağlam yapılar oluşturduğu, kritik değerin üzerinde düğümün devreden çıkarılmasının ise şebekenin dağılmasına sebep olduğu varsayımı yapılabilir.

Ancak ölçeksiz şebekelerde aksaklıklar, sayılan fazla olduğu için ağırlıkla küçük düğümleri etkileyecek, göbeklerin var olmasından dolayı şebeke dağılması gözlemlenmeyecektir. Sadece bir tane göbeğin devre dışı bırakılması durumunda dahi, diğer göbeklere dayanan kesintisiz hiyerarşi, şebeke bütünlüğünü sağlayacaktır. Bunun sonucunda "ölçeksiz şebeke için kritik eşik değer ortadan kalkmıştır" varsayımı yapılabilir.

Topolojik sağlamlığın kökleri, ölçeksiz şebekelerin yapısal eşitsizliğinde yatar. Aksaklıklar küçük düğümleri orantısız bir şekilde etkiler (Barabási, 2003: 128).

Düğümlerde oluşacak aksaklıklar yerine, doğrudan göbekleri hedef alan saldırılar göz önüne alınırsa; göbekler sahip oldukları çok sayıda bağlantı ile maruz kaldıkları saldırının etkilerini, çok hızlı bir şekilde diğer düğümlere de aktaracaklardır. Bu saldırılar sonucunda sadece birkaç göbeğin devre dışı kalması sonucu, kritik değere ulaşılacak ve bu eşik değerin ötesinde şebeke parçalanacaktır. Kısacası şebeke bütünlüğünün bozulması için çok sayıda düğümü devre dışı bırakmak yerine birkaç göbeği etkisiz hale getirmek yeterli olacaktır.

Sonuç olarak ölçeksiz şebekeler aksaklıklar karşısında son derece esnek iken, bu esnekliğin bedeli saldırılar karşısında kırılganlık olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmalar sonucunda topolojinin, sağlamlığın ve zayıflığın tam olarak birbirinden ayırmayacağını kabul etmek gerekmektedir. Bütün karmaşık sistemlerin "Aşıl Topuğu"¹ vardır (Barabási, 2003: 136).

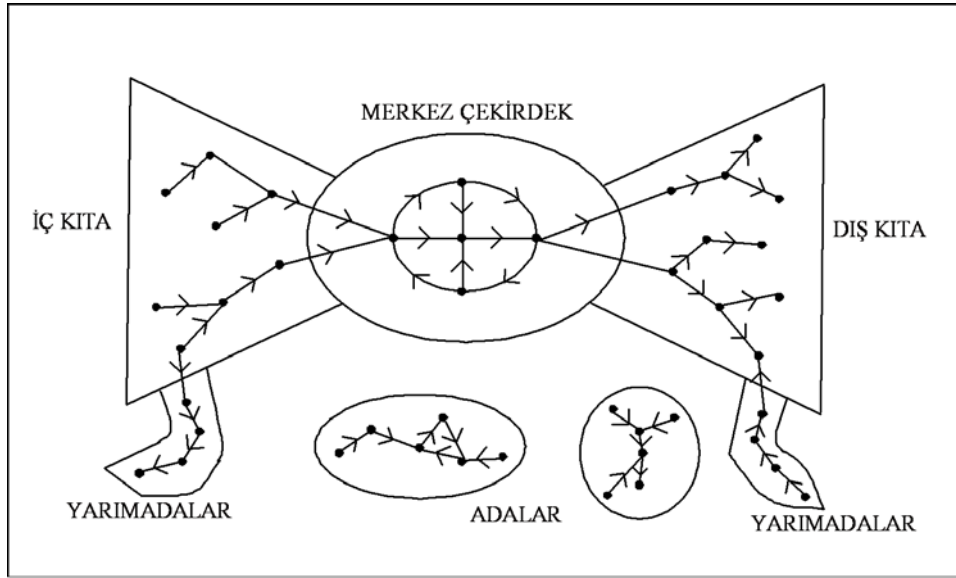
¹Aşıl Topuğu, toplamdaki güce rağmen filen ya da potansiyel olarak çöküşe yol açan ölümcül zayıflıktır. Terimin mitolojik kökeni, fiziksel bir hassasiyeti işaret ederken; mecazi göndermeler, çöküşe yol açan sıfatları ve nitelikleri vurgulamak amacıyla yapılır (<http://en.wikipedia.org>).

I I. Yönlendirmeli Şebekeler

Büyük ölçekli bir şebekenin, sayısız küçük ölçekli yapıyla bir arada bulunması, sadece bağlantılar boyunca her düğümün birbirine bağlanmasını kısıtlar.

İki düğüm arasında bir yol varsa, bu elbette tipik olarak kısadır (Barabási, 2003: 182). Eğer iki düğüm arası doğrudan bir bağlantı yoksa bunları başka düğümler aracılığıyla birbirlerine bağlamak mümkündür. A düğümünden D düğümüne ulaşmak için; A düğümünden sırasıyla B-C düğümleri aracılığıyla D düğümüne bir bağlantı olduğunu varsayalım. Belirtilen $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ yolunun varlığı, D düğümünden A düğümüne ulaşmak için en kısa yolun $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ yolu olduğunu kanıtlar. Ancak yönlendirmeli şebekelerde bu tersine yolun her zaman var olmasının garantisi yoktur. D düğümünden A düğümüne ulaşmak istediğimizde muhtemelen başka düğümler üzerinden bir yol izlememiz gerekecektir.

Yönlendirmeli şebekeler temelde yeni bir şebeke sınıfını temsil etmezler. Şebekeler ister ölçeksiz, ister gelişigüzel olsunlar, bağlantılar yönlendirmeli ya da yönlendirmesiz olabilirler (Barabási, 2003: 182).



Şekil 6- Yönlendirmeli Bir Şebekenin Kıtaları: Web gibi yönlendirmeli şebekeler kolayca belirlenebilen çeşitli kıtalara ayrılırken, doğal olarak merkez çekirdekte her düğüme diğer düğümlerin hepsinden ulaşılabilir. İç kıtadaki düğümler öyle düzenlenmiştir ki, bağlantıları izlediğinizde sonunda tekrar merkez çekirdeğe varırsınız. Ama çekirdekten yola çıkmanız iç kıtaya dönmenize olanak vermez. Buna karşılık dış kıtanın bütün düğümlerine çekirdekten ulaşılabilir, ama oraya vardığınızda, tekrar çekirdeğe dönmenizi sağlayacak bağlantılar yoktur. Bazı düğümler sadece iç ve dış kıtalara iliştilmiş yarımadalar oluşturur; birkaç düğüm de geri kalan düğümlerden erişilemeyen tecrit olmuş adalar oluşturur (Barabási, 2003: 183).

Bu tür yönlendirmeli bağlantıların olduğu şebekeler, homojen bir yapı yerine başlıca dört kıtadan oluşan ayrıntı bir yapıya sahip olacaklardır. Bu ayrıntı yapıları dört ana grupta toplamak mümkündür;

Merkez çekirdek olarak adlandırabileceğimiz kıtada; içerdiği düğümlerin arasında doğrudan ya da başka düğümler aracılığıyla bir bağlantı bulunacaktır.

İç kıta ise; içerdiği düğümlerden, yönlendirmeli bağlantılar ile merkez çekirdeğe ulaşmak mümkün iken, merkez çekirdekten iç kıtaya ulaşmak olanaksızdır.

Dış kıta bulunan düğümlere merkez çekirdekten kolayca ulaşım sağlanabilirken, dış kıtadan merkez çekirdeğe herhangi bir bağlantı bulmak olanaksızdır. Dış kıtadan çıkış yolu yoktur.

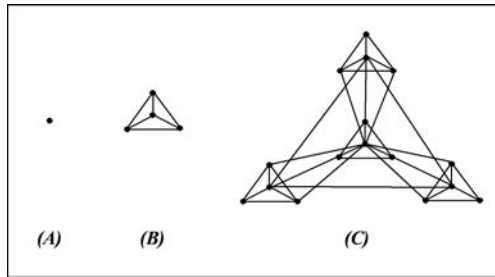
Yarım ada ve bağlantısız adalar ise merkez çekirdekten ulaşamayan ve aynı şekilde merkez çekirdeğe ulaşımı olmayan, sadece kendi aralarında bağlantılı, diğer kıtalardan tecrit olmuş kümelerdir.

12. Ölçeksiz Modüler Şebeke

Modülerlik karmaşık sistemlerden çoğunun tanımlayıcı özelliğidir (Barabási, 2003: 246). Modülerlik geniş anlamda, karmaşık işlemleri daha basit kısımlara bölmek suretiyle kompleks mamulleri ve süreçleri etkin bir şekilde organize etmede kullanılan bir yaklaşımdır (Mikkola, 2001: 2).

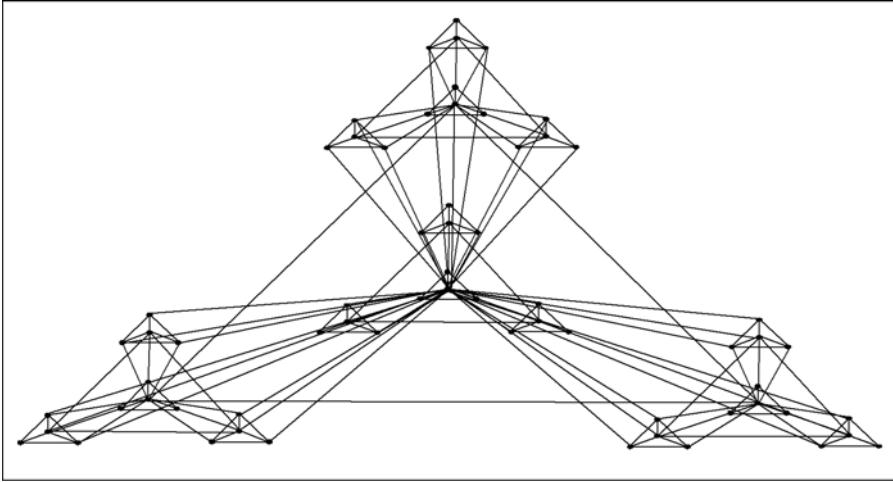
Ancak modüler bir mimari karmaşık şebekeler hakkında şimdiye kadar öğrendiğimiz her şeye ters düşmektedir. Gerçek şebekelerin çoğu ölçeksizdir ve birkaç göbek tarafından bir arada tutulurlar. İçerdikleri çok sayıda bağlantı nedeniyle, göbeklerin farklı modüllere ait düğümlerle bağlantı içinde olmaları gerekir. Dolayısıyla modüller birbirinden çok kopuk olamazlar. Bu durum bildiğimiz haliyle ölçeksiz model ile modül hipotezi arasında temel bir çatışmaya yol açar. Mevcut modeller bu çelişkiyi gidemeye yeterli değildir. Gelişigüzel ve ölçeksiz şebekeler modülerlik belirtileri göstermezken gerçek hayattaki şebekeler belirgin biçimde ölçeksiz ve modülerdir. Karmaşık şebekelerin nasıl örgütlendiğine ilişkin bir paradokstur bu (Barabási, 2003: 246).

Ölçeksiz model karmaşık şebekelerin anlaşılmasına yardımcı olurken, bu şebekelerin ayırt edici özelliği olan kuvvet yasalarını açıklamayı sağlamıştı. Yeni model ise eksik kalan son boşluğu dolduruyor; " Ölçeksiz bir Modüler Şebeke".



Şekil 7

Tek bir düğümden (Şekil-7(A)) başlayarak ve bunun üç kopyasını çıkararak bir hiyerarşik şebeke oluşturulabilir; yeni düğümler eski düğüme ve birbirlerine bağlandığında, dört düğümlü bir yapı (şekil-7(B)) elde edilir. Sonraki adımda dört düğümlü yapının üç kopyası çıkarılır ve onlar eski modülün çevresine yerleştirilir. Yeni modüllerin çeper düğümlerini eski modülün merkez düğüme ve yeni modelin merkez düğümlerine bağlanır. Elde edilen şebekenin (Şekil-7(C)) on altı düğümlü olacaktır. Aynı işlem tekrarlanarak C modülünün üç kopyasını çıkarabilir, bunları eski modülün çevresine yerleştirebilir, çeper düğümleri eski modülün merkezine bağlanabilir ve böylece yeni bir modül (Şekil-8) elde edilebilir.



Şekil 8

Her seferinde dört kat büyük bir şebeke oluşturularak, aynı işlem sonsuza kadar sürdürülebilir. Ortaya çıkan şebeke ölçeksizdir. Birkaç büyük göbeğin bir arada tuttuğu çok sayıda küçük düğüme dayalı bir hiyerarşi açık seçik ayırt edilebilir. Şebeke aynı zamanda modülerdir, yani gittikçe büyüyen modüllerin bir hiyerarşisinden oluşmaktadır. Şebekenin ilginç özelliklerinden biri hiyerarşik bir kümeleşmeyi sergilemesidir. Karşılıklı bağlantıları yüksek olan çok sayıda dört düğümlü modülden oluşmaktadır. Bu dört düğümlü modüller karşılıklı bağlantıları daha düşük olan on altı düğümlü modüller oluşturmaktadır; on altı düğümlü modüller ise daha da gevşek altmış dört düğümlü modülün yapıtaşını oluşturacaktır. Son yıllarda bu tür hiyerarşik kümeleşmenin, birçok gerçek şebekenin jenerik bir özelliği olduğu ortaya çıkmıştır (Barabási, 2003: 247).

Hiyerarşik modülerlik, göbeklerin rolüne de yeni bir boyut kazandırmaktadır; modüller arasındaki bağlantıyı göbekler sağlar. Ayrıca hiyerarşik modüler tasarım, sistemdeki parçaların hepsinin ayrı ayrı evrim geçirmesine olanak tanır.

13. Sonuç Yerine: Şebekeler Biliminin İşletmelere Yansımasının İpuçları

Sektörden ve iş alanından bağımsız olarak, yirminci yüzyıl şirketlerinin tümünün ardındaki şebeke benzer yapıya sahiptir. Yönetimin kök kısmında yer aldığı, alt kademe yöneticilerinin ve elemanlarının artan ölçüde uzmanlaşmaya dayanan ve farklılaşan görevlerinin ise çatallaşan dalları temsil ettiği bir ağaç modelidir. Bu dalların uçlarına doğru gidildikçe sorumluluk zayıflar ve en sonunda kökte kararlaştırılan talimatları yerine getiren işçilere ulaşılır (Barabási, 2003: 217).

Karmaşık yapısına karşın bu ağaç modelinin de bünyesinde barındırdığı bazı aksaklıklar vardır. Hiyerarşide yukarıya doğru giden enformasyonun titizlikle süzgeçten geçirilmesi gerekmektedir ki, bu süzme olayı idealin altında kalırsa üst kademelerde toplanan yük olağanüstü boyutlara ulaşır. Bunun yanında karmaşık yapı ve bütünleşme beklenmedik bir örgütsel katılığa yol açabilir ve şebekenin esnekliğini yitirmesine neden olur.

Enformasyon çağının sınırlarının giderek genişlemesi örgütlere esnek yapılara sahip olma gerekliliği getirmiştir. Böylece ağaç yapısı terk edilerek ağ yapısına, yani düğümler arasında bir sürü karşılıklı bağlantının bulunduğu yassı bir şebeke örgütlenmesine geçiş zorunlu hale gelmiştir. Bu geçiş; fiziksel varlıklardan bilgi birikimi ve enformasyona, dikey bütünleşmeden sanal bütünleşmeye, işletmenin çalışma alanı yerelden küresele, işçilerden iş gören veya serbest çalışana geçiş şeklinde gerçekleşmiştir.

Geliştirilen yeni ürünler, yapılan yeni ittifaklar ağaç modelindeki ara yönetici kademelerinin ortadan kalkmasını gerektirmiştir. Böylece ikincil rol oynayan çalışanlar önemli sorumluluklar yüklenmiş, proje ekipleri, ittifaklar ve dışarıdan temin giderek artış göstermiştir.

Hızla gelişen bir piyasada rekabette başarılı olmak isteyen şirketler de optimalleştirilmiş, statik bir ağaçtan daha esnek bir komuta yapısı sunan ve daha kolay şekil verilebilir dinamik ve sürekli bir evrim içinde bulunan bir ağ yapısına geçilmiştir (Barabási, 2003: 218).

Sonuç olarak şebekeler bilimi, karmaşıklık konusu gibi kuantum fiziğinin ve düşüncesinin yönetim alanına hediye ettiği bir konudur. Belki de şebekeler biliminin anlaşılması işletmelerdeki yönetim ve örgütlenme sorunlarının çözümüne önemli ölçüde bir katkıda bulunabilir.

Kaynakça

"Achilles' heel", http://en.wikipedia.org/wiki/Achilles'_heel, (Eriřim: 05.11.2007)

Barabási, A. L. (2003), İş Hayatında, Bilimde ve Günlük Yaşamda Bağlantılar (Çev.: Nurettin Elhüseyni), İstanbul: Türk Henkel Dergisi Yayınları.

Batram, A. (1999), Karmaşıklıkta Yol Almak: İş ve Yönetim Hayatında Karmaşıklık Teorisi İçin Bir Yöntem (Çev.: Zülfü Dicleli), İstanbul: Türk Henkel Dergisi Yayınları.

Eren, E. (2003), Yönetim ve Organizasyon, İstanbul: Beta Basım Yayım.

Koçel, T. (1995), İşletme Yöneticiliği, İstanbul: Beta Basım Yayım.

Mikkola, Juliana H. (2001), "Modularity and Interface Management: The Case of Schindler Elevators", Danimarka Endüstriyel Dinamikler Araştırma Birimi, 2001 Kış Konferansı Bildirisi, www.druid.dk/uploads/tx_picturedb/dw2001-403.pdf, (Eriřim: 05.11.2007).

Strogatz, H. (2001), "Exploring Complex Networks", Nature, 410, 268-276.

Ülgen, H. (1993), İşletmelerde Organizasyon İlkeleri ve Uygulanması, İstanbul: Şahinkaya Matbaacılık.

Watts, D. J. (1999), "Networks, Dynamics and the Small World Phenomenon", American Journal of Sociology, 105(2), 493-527.

Watts, D. J. and S. H. Strogatz (1998), Collective Dynamics of 'Small-World' Networks. Nature, 393, 440-42.