



AĞ BİLİMİ VE MODELLERİ

Öğr. Gör. Dr. Dilek GÖNÇER DEMİRAL 

ÖZET

Ağ biliminin kökleri 17. Yüzyıla dayanmakta olup, gelişimi 1970'lerden sonra yapılan araştırmalar ile hız kazanmıştır. Etrafımızda birçok alanda ağlar mevcut olup, önemli olan bunları tespit edip, analiz yapabilmek, yorumlayabilmek ve örtük bilgileri ortaya çıkarabilmektir. Bu nedenle ağları tanımak önemlidir. Bu çalışmanın en temel amacı, ağları ve ağ bilimini detaylı olarak tanıtabilmek ve ağ biliminin tarihsel gelişimini kronolojik açıdan ele almaktır. Ağlar belirli kurallar dizini içerisinde işleyişlerini sürdürmektedirler. Bu işleyiş kurallarını belirlemeye yönelik olarak da ağ modelleri geliştirilmiş olup, çalışmada ayrıca bu modeller tanıtılmış ve modellerin esasları sergilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağlar, Ağ Bilimi, Ağ Modelleri

JEL Sınıflandırması: D85, Y20, D88

NETWORK SCIENCE AND MODELS

ABSTRACT

The roots of network science date back to the 17th century and its development accelerated with the researches made after the 1970s. There are networks in many areas around us, and the important thing is to identify, analyze, interpret and reveal implicit information. Therefore, it is important to know the networks. The main purpose of this study is to introduce networks and network science in detail and to discuss the historical development of network science in chronological terms. Networks continue to operate within a specific set of rules. In order to determine these operating rules, network models have been developed, these models are also introduced in the study and the principles of the models are exhibited.

Key Words: Networks, Network Science, Network Models

JEL Classification: D85, Y20, D88

* Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Rize-Türkiye e-mail: dilekgoncer@gmail.com

Makale Geçmişi/Article History

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Başvuru Tarihi / Date of Application | : 17 Ağustos / August 2020 |
| Düzeltilme Tarihi / Revision Date | : 8 Eylül / September 2020 |
| Kabul Tarihi / Acceptance Date | : 20 Eylül / September 2020 |

1. GİRİŞ

Güncel hayatımızda farkında olmasak bile, her alanda ağlar mevcuttur. İnternet ağları, bilgisayar ağları, kurumlar arasındaki iş ilişkisi ağları, örgütsel ağlar, biyolojik ağlar, besin ağları, dağıtım ağları, bireyler arasındaki arkadaşlık ağları, makalelere yapılan atıf ağları gibi birçok karmaşık sistem ağ şeklini almaktadır (Newman, 2003: 168). Mevcut olan tüm bu karmaşık sistemler, birçok yönden incelenmeye değerdir. Örneğin; bir bilgisayarın nasıl çalıştığı, bir bireyin toplum içerisindeki davranışları ve kişisel hissiyatları incelenebileceği gibi toplum içerisindeki bireylerin birbirleri ile olan ilişkileri ve etkileşimleri, bir sistemi oluşturan bileşenler arasındaki ilişkiler gibi düşünülerek ayrı bir çalışma alanını oluşturmaktadır (Newman, 2010). Sistemi oluşturan bu bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkileri son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmış olan ağ bilimi kapsamında değerlendirilmektedir. Ağ bilimi, matematik, fizik, bilgisayar bilimi, istatistik, sosyoloji gibi birçok bilim dallarından oluşmakta olup, multidisipliner bir kavramdır. Ağlar belirli kurallara ve kanunlara dayalı olarak işleyişlerini sürdürdükleri için, ağ bilimi kavramı da gerçek dünya ağlarının işleyiş kurallarını, kanunlarını belirlemek ve bunların ne olduklarını açıklamak için ortaya çıkmıştır (Committee on Network Science for Future Army Applications, National Research Council, 2006:8). Ağ bilimi, ağdaki grupları tanımlamak, önemli düğümleri ve bağlantıları belirlemek, düğümlerin ağdaki rollerini ve konumlarını saptamak, örtük bilgileri açığa çıkarmak gibi kullanıcılara oldukça fazla imkânlar tanımaktadır.

Verilerin analizi ve yorumlanması sonucunda bilgiler elde edilir. Günümüzde verilerin giderek artış göstermesi, bir karmaşıklığa sebep olmaktadır. Karmaşıklık tamamen açıklanamayan bazı sistemlerin davranışsal olgular gösterdiğini iddia eden bilimsel bir teoridir (Newman, 2010). Gell-Mann (2002) karmaşıklığı, artan sayıda bağımsız değişkenin birbirine bağımlı ve öngörülemez şekillerde etkileşime girmeye başladığı durumlarda ortaya çıktığını ifade etmektedir. Genel tanımı ile ortaya çıkan davranışlar olarak da adlandırılan “*karmaşıklık*” kavramı, borsadaki hisse senetlerinde veya insan beyni gibi canlı organizmaları içeren birçok karmaşık sistemde ortaya çıkmaktadır. Her karmaşıklığın arkasında, sistemin bileşenleri arasındaki etkileşimi tanımlayan bir ağ vardır ve bu ağları tespit edip anlamadığımız sürece karmaşık sistemleri asla anlayamayız (Barabási, 2016). Butts (2001) ağların, karmaşık sistemleri temsil etmenin bir yolu haline geldiğini ifade etmektedir. Bu nedenle, ağ bilimi de karmaşık ağların çizilmesi, analiz edilmesi ve yorumlanması noktasında büyük önem taşımaktadır. Ağ bilimi bu karmaşıklığın analizinde ve sonucunda bilginin elde edilmesinde en büyük role sahiptir.

Stephan Hawking tarafından da ifade edildiği gibi gelecek yüzyıl “karmaşıklık yüzyılı” olacaktır. Karmaşık sistemler günlük hayatımızda, bilimde ve ekonomide önemli bir role sahiptir. Bu durumu göz önünde bulundurarak, bu sistemleri anlayabilmek, matematiksel olarak tanımlayabilmek, tahmin edebilmek ve kontrol edebilmek günümüzün en önemli konularından birini oluşturmaktadır. Bu durum aynı zamanda, 21. Yüzyılın en büyük zorluklarından biri olarak da karşımıza çıkmaktadır (Barabási, 2016).

Ağlarla ilgili farklı alanlarda çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, günümüzde özellikle Covid-19 virüs salgını ile birlikte ağların öneminin daha fazla anlaşılması, ağ bilimine olan ilgiyi ve merakı da paralel düzeyde artırmaktadır. Bu çalışma, birçok disiplinde kullanımı mevcut olan ve popülerliği gittikçe yaygınlaşan ağların tanıtımını, ağ biliminin tarihsel gelişimini ve ağ modellerinin esaslarını göstermeyi amaçlamaktadır.

2. AĞ KAVRAMI VE ÇEŞİTLERİ

Bir ağ, varlıklar ile bu varlıklar arasındaki bağlantılardan oluşur ve bu varlıklar canlı veya cansız (şirket, hastane, kurum, ülke, kent vb) olabilir (Gürsakal, 2016: 6). “Ağ” kavramının birçok alanda farklı şekillerde kullanıldığı görülmektedir. Oxford İngilizce Sözlüğü, ağ kelimesini en genel şekli ile “birbirine bağlı şeyler topluluğu” olarak tanımlamaktadır (Kolaczyk, 2009: 1). Newman (2003), Barabási (2003) ve Kolaczyk (2009) bir ağın çizge olarak da ifade edildiğini belirtmektedirler. Ağlar, düğümler ve bunlar arasındaki bağlantılardan oluşur. Örneğin; kentler düğümler, bunlar arasındaki yollar ise bu düğümler arasındaki bağlantılardır. Veya havaalanları, limanlar, terminaller düğüm; bunların arasındaki bağlantıyı sağlayan hava, deniz, kara yolları ise bağlantılardır (Gürsakal 2016). Düğümler için “köşe(vertex), nokta”; düğümleri birbirine bağlayan doğrular için “kenar(edge), çizgi” kavramları kullanılabilir. Farklı uygulama alanlarına göre ağ kavramları farklı adlandırılabilir. Gastner (2011) tarafından, bilim dallarına göre ağ kavramı ve bileşenleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı Bilim Dallarına Göre Adlandırmalar

| Mühendislik ve Bilgisayar Bilimleri | Ağ | Düğüm | Bağlantı |
|-------------------------------------|------|-------|-----------|
| Matematik | Graf | Köşe | Kenar |
| Fizik | Ağ | Yer | Bağ |
| Sosyal Bilimler | Ağ | Aktör | Berberlik |

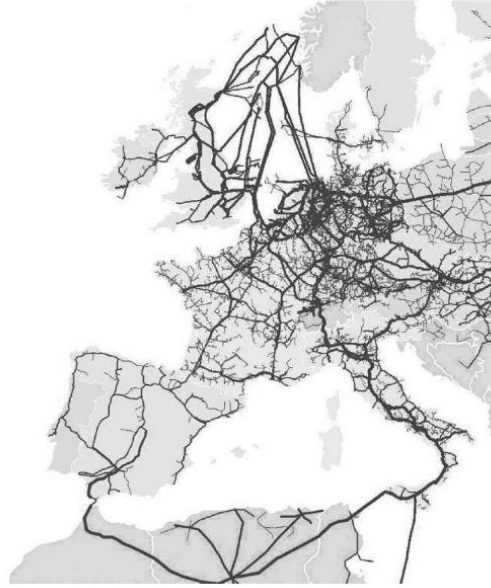
Newman (2003) tarafından ağların 4 gruba ayrıldığı ifade edilmektedir; teknolojik, biyolojik, sosyal ve bilgi ağları. Bu ağlar kesin çizgiler ile birbirlerinden ayrılmamakta olup, birden fazla gruba dâhil olan sistemler olabilmektedir. Bazı kaynaklarda, teknolojik ağlar fiziksel ağlar olarak da tanımlanır ve bilgi ağları gruba dâhil edilmemekte olup, toplamda 3 grup oluşturulur.

2.1. Teknolojik Ağlar

Teknolojik ağlar, modern toplumda en aşına olduğumuz fiziksel ağlar olup, internet, ulaşım, telefon, güç şebekeleri, dağıtım ağları bu kategoriye girmektedir. İnterneti ağ kavramları açısından ifade edecek olursak; köşeler bilgisayarları / diğer cihazları; kenarlar ise fiziksel olarak fiber kabloları/kablosuz olan bağlantıları temsil etmektedir. Bir güç kaynağı, elektrik enerjisinin ülke içerisinde uzun mesafeli taşınmalar sağlayan yüksek voltaj iletim hatlarından oluşur. Bir güç şebekesinin köşeleri, üretim istasyonlarına ve anahtarlama merkezlerine; kenarları ise yüksek voltaj hatlarına karşılık

gelmektedir. Ulaşım ağları da teknolojik ağlar kategorisine girmekte olup; havayolu, karayolu, demiryolu ve yaya güzergâhlarını kapsamaktadır. Petrol ve gaz boru hatları, su ve kanalizasyon hatları ile postane ve paket dağıtım şirketleri tarafından kullanılan güzergâhlar da teknolojik ağlar dâhilinde kabul edilmektedir (Newman, 2003).

Şekil 1: Avrupa'daki Doğal Gaz Boru Hatlarının Ağı



Kaynak: Carvalho vd. (2009)

Şekil 1 Avrupa'daki gaz dağıtım şebekesini göstermektedir. Şekle göre, çizgilerin kalınlığı boruların büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu ağda, kenarlar boru hatları ve köşeler de bu hatların kesiştiği pompalama ve depolama tesisleri ile rafine merkezleridir.

2.2. Biyolojik Ağlar

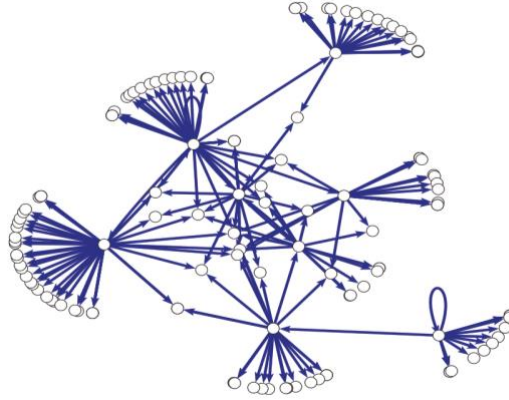
Ağlar biyolojinin birçok dalında, biyolojik elementler arasındaki etkileşim modellerinin bir temsili olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin moleküler biyologlar, hücredeki kimyasal reaksiyonların örüntülerini temsil etmek için; sinirbilimi ile uğraşanlar, beyin hücreleri arasındaki bağlantı örüntülerini temsil etmek için; ekoloji uzmanları, ekosistemdeki türler arasındaki etkileşimleri incelemek (örneğin: işbirliği ve avlanma) için ağları kullanırlar (Newman, 2010). Biyolojik ağlar, biyoloji ile ilgili olan ilişkilerin matematiksel bir temsiliyi sağlar. Genler, proteinler, metabolitler arasındaki ilişkiler, ağlar vasıtası ile ortaya çıkmaktadır. Modern tıbbin ilerlemesi konusunda da biyolojik ağlar çok önemli bir yere sahiptir. Günümüz konusundan örnek vermek gerekirse, Covid-19 salgını ile ilgili yapılabilecek birçok ağ araştırması mevcuttur. Örneğin; hastalık-semptom- ilaç- birey vb. gibi birçok parametre arasındaki ilişkiler, ağlar vasıtası ile ortaya çıkarılabilir. İnsanlardaki gen

farklılıklarına göre hastalığın seyri konusunda, ilerleyen dönemlerde bilime ışık tutacak sonuçlar elde edilmesi muhtemeldir.

2.3. Bilgi Ağları

Bilgi ağlarının en bilineni akademik makaleler arasındaki atıf ağlarıdır. Akademik çalışmalardaki A kişisinden B kişisine yapılan atıflar aslında “bilgi”nin yapısını da temsil etmektedir (White, Wellman, ve Nazer 2004). Atıf ve bibliyometri alanındaki ilk ciddi çalışma 1960'larda Eugene Garfield tarafından veri tabanlarının kullanımı ile başlamıştır (Newman, 2003). Son yıllarda atıf ağlarını inceleyen birçok makale mevcuttur. En önemli bilgi ağlarından bir diğeri de bir sayfayı diğer sayfaya hiperlinkler ile bağlayan world wide web (www)'dir (Huberman, 2001). Web, fiber optik ve diğer veri bağlantıları ile birbirine bağlanan fiziksel bir bilgisayar ağı olan internet ile karıştırılmamalıdır. Bilgi ağlarından bir diğeri de; kişisel günlük tutma olarak da adlandırılan “web günlüğü (blogging)”dir. Web günlükleri, sadece bilgi ağları olarak değil, aynı zamanda 'sanal toplulukları' da temsil eden sosyal ağlar olarak da değerlendirilebilir (Kolaczyk, 2009).

Şekil 2. AIDS Blog Ağı



Kaynak: Gopal (2007)

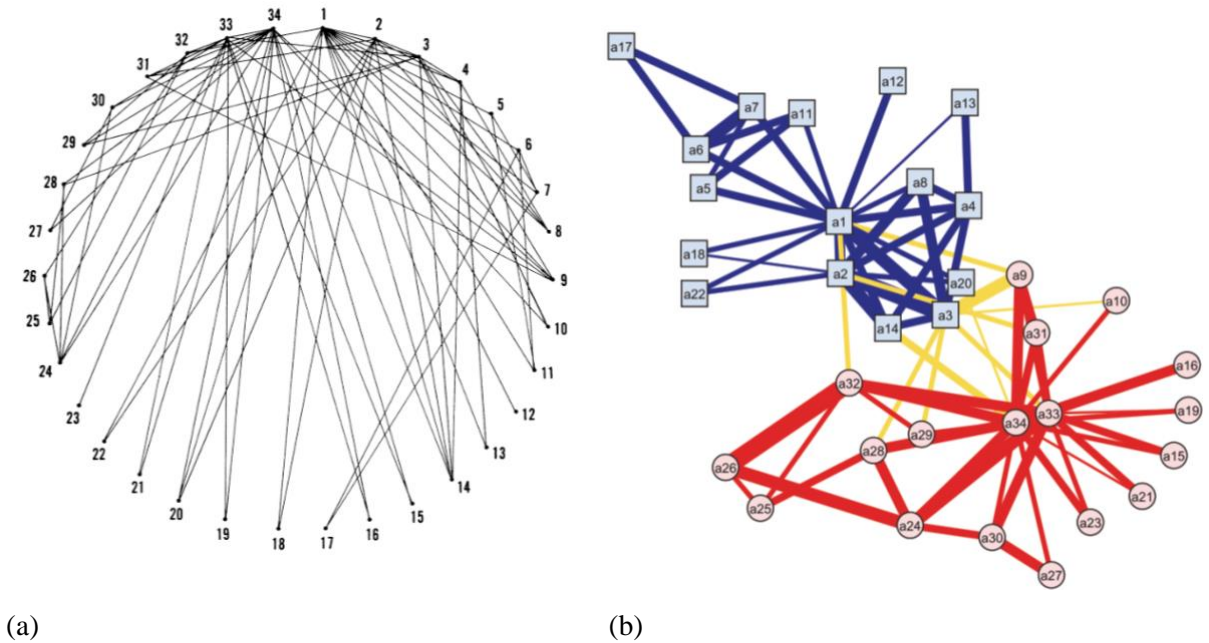
Şekil 2, 2005 Ağustos ayının herhangi 3 günü boyunca, AIDS hastalarının web günlük ağını göstermektedir. Ağ, 146 benzersiz düğümden yani web günlüğünden ve 187 bağlantıdan oluşmaktadır. Bir blog sahibi, diğer blog sahibinin web sayfasına bağlantı (hiperlink) verdiği, okların yönü ile belirtilmektedir. Bu çizgeye göre, belirli blog sahiplerinin fazla sayıda link verdiği görülmektedir. Bu ağ, AIDS hastalarının birbirleri ile olan ilişkilerinin, aralarındaki bilgi akışlarının da temsili bir gösterimini ifade etmektedir.

2.4. Sosyal Ağlar

Bazı yazarlara göre, sosyal ağların kökleri 1930'ların başında Jacob Moreno'nun çalışması ile ortaya çıkmıştır (Leinhardt, 1977; Marsden & Nan, 1982; Freeman, Douglas, & Kimball, 1989; Wasserman & Faust, 1994). Diğer bazı yazarlara göre ise, 1970'lerin başlarına kadar sosyal ağlarla ilgili çalışmalar tam anlamı ile başlamamıştır (Mullins & Mullins, 1973; Berkowitz, 1982; Scott, 1992). Her iki görüşe nazaran, 1970'leri takip eden yıllarda, hızlı bir şekilde ayrı bir çalışma alanı olarak geliştiği oldukça aşikârdır (Freeman 2004). Sosyal ağlar, Wasserman ve Faust (1994) tarafından, aralarında birtakım temaslar ve etkileşimler olan insanlar veya gruplar topluluğu olarak tanımlanmıştır. Scott (1999) ve Borgatti, Mehra, Brass, & Labianca (2009) tarafından, insanlar, gruplar ve organizasyonlar arasındaki sosyal ilişkileri haritalamak, ölçmek ve analiz etmek için kullanılan farklı yöntemler kümesi olarak tanımlanmaktadır. Sosyal ağ analizi günümüzde birçok disiplinde uygulanan ve giderek kullanımı artan bir yaklaşım haline gelmiş olup, organizasyon yapılarının ortaya çıkarılmasında, bir hastalığın yayılmasında, genler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde yani genel olarak varlıklar arasındaki bağlantıların önemli olduğu herhangi bir çalışma alanına ait olan araştırmalarda kullanılabilir (Wasserman & Faust 1994).

Sosyal ağlar, sosyal varlıklar ve aktörler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarırlar. Bireyler arasındaki arkadaşlık; kurumlar arasındaki iş; aileler arasındaki evlilik ağları geçmişte üzerinde çalışılan ağlardır. Alanında önemli kabul edilen Zachary Karate Kulübü çalışmasında, üniversite öğrencilerinden oluşan bir topluluğun karate kulübündeki ilişkileri ağ ile temsil edilmiştir.

Şekil 3. Zachary'nin Karate Kulübü Ağı



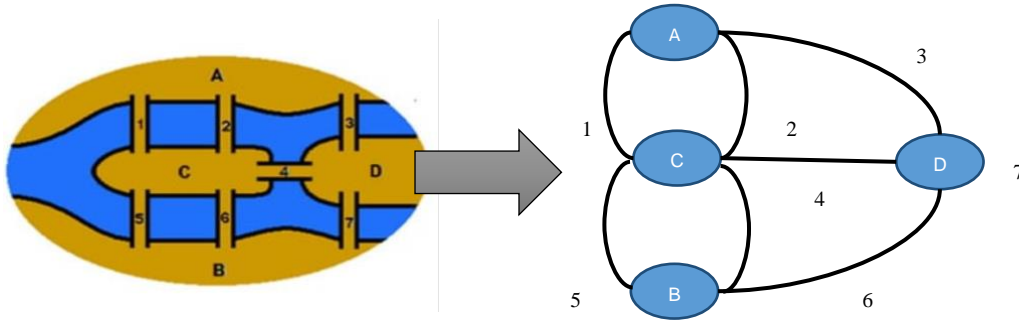
Kaynak: Zachary (1977)

Şekil 3, 1970-1973 yılları boyunca Zachary tarafından gözlemlenen bir karate kulübünün üyelerini temsil etmektedir. Şekil (a), literatürde çok kullanılan ve bilinen bu çalışmanın farklı bir gösterim şekli olup, şekil (b) orijinal çizimidir. Her düğüm karate kulüp üyesini temsil etmekte olup, kulüp toplamda 34 üyeden oluşmaktadır. İki düğümü birbirine bağlayan bağlantılar, iki üye arasındaki sosyal etkileşimleri (karate dersleri, kulüp toplantılar ve egzersizler dışındaki ilişkileri) gösterir. Şekil 3(a)'daki bağlantıların kalınlığı, etkileşimlerin göreceli sıklığını, renklerin farklılığı ise kulüp içerisindeki farklı toplulukları yansıtmaktadır (Kolaczyk 2009). Zackary karate kulübü ağı, ağdaki topluluk yapısını yansıttığı için Newman ve Girvan tarafından çalışmalarında kullanılarak popüler hale gelmiştir.

3. AĞ BİLİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Ağ biliminin tarihi 17. Yüzyıla kadar dayanmaktadır. İsveç asıllı matematikçi olan Leonard Euler'in Rusya'daki Königsberg - günümüzde Kaliningrad- kentindeki Pregel nehri üzerindeki köprü-ada ağını oluşturarak ağ biliminin ilk adımı atılmıştır. Kenti 4 adaya ayıran nehir üzerindeki köprülerden bir kez geçmek ve başlanılan noktaya geri dönmek koşulu ile halk tarafından oyun olarak başlatılan bu oluşum, Euler için bir problem şeklini almıştır. 4 ada ve 7 köprüden oluşan problemi çözebilmek amacı ile köprü ve nehrin ağını oluşturan Euler, çizgede kara parçalarını düğüm, köprüleri ise bağ olarak ifade etmiştir. Bu problemin çözümü ile ilgili yazmış olduğu makalesinde, her köprüden bir kez geçmek koşulu ile başladığı yere geri dönmenin mümkün olmadığını “çizge teorisi” ile çözüme kavuşturmuştur. Euler 1737 yılında yazmış olduğu “*Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*”(Konum geometrisiyle ilgili bir problemin çözümü) isimli makalesinde bu sonucu açıklamaktadır. Böylece “çizge teorisi” olarak yeni bir matematik alanı ortaya çıkmış olup, ağ biliminin de temelleri de bu şekilde atılmıştır.

Şekil 4. Köninsberg Köprüsü ve Problemin Soyut Gösterimi

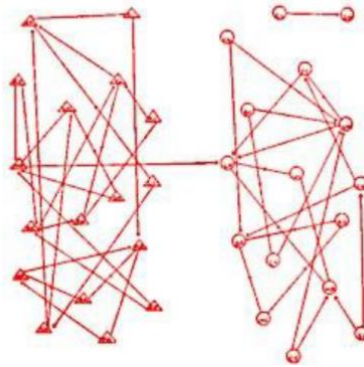


1929 yılında Macar yazar Frigyes Karinthy bir hikâyesinde, bir bireyin dünyadaki herhangi bir kişiyi en fazla beş tanıdık ile kendisine ulaşabileceğini öne sürmüş olup, “altı derecelik ayrılık/adım (six degrees separation)” kavramının da bir nevi temellerini atmıştır. Karinthy'nin zamanında bu iddia, popüler bir oyun haline gelmiştir ve bugün popüler kültürün bir parçası olmaya da devam etmektedir

(Luke and Harris 2007). Altı derecelik ayrılık kavramı, dünyanın önemli özelliklerini keşfetmek için bir ağ yaklaşımının kullanılabileceğinin ilk gösterimlerinden biridir. Karinthy'ye göre, dünyadaki nüfus arttıkça, insanların birbirine ulaşım bağları da kısalmaktadır. Teknolojik gelişim ve iletişim imkânlarının artması ile kişilerin çevreleri büyür ve daha fazla kişiye ulaşma imkânı sağlar. Böylece bağlar kısılır.

Jacob L. Moreno 1934 yılında kişiler arasındaki ilişkileri “sosyogram” olarak adlandırarak ağ bilimine katkı sağlamıştır. Sosyogram, kâğıt üzerinde kişileri ve kişilerarası ilişkileri birbirine bağlayan (Luke and Harris 2007) ilk ağ analiz aracı olmuştur. Sosyogramlar, bir ağ içerisindeki tüm düğümleri ve bağlantıları görsel olarak ifade etmenin bir yoludur (Katz et al. 2004). Wasserman & Faust (1994) sosyogramı; insanların (veya daha genel olarak herhangi bir sosyal birimin) iki boyutlu uzayda “noktalar” olarak temsil edildiği ve nokta çiftlerini birbirine bağlayan çizgileri “ilişkiler” olarak gösteren bir resim olarak tanımlamaktadırlar. Sosyogram, New York'daki bir okuldan iki hafta içerisinde 14 kız öğrencinin kaçmasının sebebini bulabilmek amacı yapılmıştır. Moreno, yapmış olduğu geleneksel çalışmalardan (kız öğrencilerinin yaşı, bireysel özellikleri, ırkları vb.) sonuçlar elde edemeyince, öğrencilerin arkadaşlık ilişkilerinden aralarındaki sosyal yapıyı ortaya çıkararak sosyogramı anlamlı kılmıştır.

Şekil 5. Moreno'nun Sosyogramı



Kaynak: Moreno (1934)

Şekil 5. Moreno'nun “Who Shall Survive” adlı kitabından, sınıftaki erkekler (üçgenler) ve kızlar (daireler) arasındaki dostluk ilişkisini gösteren, elle çizilmiş olan sosyogramını göstermektedir. Sosyograma göre, sağ üst kısımda bulunan iki kız öğrencinin diğer gruptan izole olduğu görülmektedir. Moreno'nun bu analizinin sonucunda belirtilen iki öğrencinin okuldan kaçacağı öngörülmüş ve sonuç da aynen bu şekilde olmuştur. O dönemde, Harrison White matematiksel sosyoloji konusunda öğrencilere ders veren ünlü bir sosyologdur. White, öğrencileriyle birlikte sosyal ağ teorisi ve araştırmalarına önemli katkılar sağlamıştır. Gerçekleşen bu tarihsel olayların her ikisi de, sosyal ağ araştırmasının gelişimi için dönüm noktaları oluşturan katkılar içermektedir (Freeman, 2004: 123)

Moreno'nun sosyal ağ analizinin temellerini atmasının ardından Freeman (2004)'a göre 1940-1960 yılları arası sosyal ağ analizi için karanlık bir dönem olarak adlandırılmaktadır. Bu dönemde sosyal ağ analizi ve kuramsal yöntemler ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıda yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çok ses getirmemesinin en büyük nedeni, araştırmacıların farklı coğrafyalarda yer alması ve bir birliklilik oluşturulamamasıdır (Ağcasulu, 2017: 40). Barnes (1954) ve Harary, R.Z., & D., (1965) tarafından 1950'nin ortalarından 1970'lerin başına kadar, sosyoloji, antropoloji ve matematik gibi alanlarda, modern sosyal ağ analizinin temelini sağlamlaştırmaya yardımcı olan kavramsal, teorik ve metodolojik ilerlemelere katkıda bulunduğu ifade edilmiştir. Coleman, Katz, & Menzel (1957) tarafından, doktorlar arasındaki ilişkilerin, yeni bir ilacın ortaya çıkmasında etkili olduğunu öne sürmeleri ile sosyal ağ analizi ilerleyişini sürdürmüştür. Çalışmalarında, doktorların sosyal bağlantılarının sıklığının ve türünün, profesyonel bağlantılarını da etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Ağ biliminde çok önemli bir yere sahip olan rassal ağ hipotezinin temelini oluşturan ilk önemli çalışmalar, Solomonoff & Rapoport (1951) tarafından yapılan makale ile ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmalarında rassal çizgeye ilişkin önemli bir özelliğin ortaya atıldığı Newman, Barabási, & Watts (2006) tarafından ifade edilmektedir. İfade edilen özellik; bir çizgede bağ sayısının düğüm sayısına oranı arttıkça, ağda birbirine bağlı olmayan düğümlerin birbiri ile bağlı hale gelmesidir. Bu durum, ağda beklenmedik bir değişimin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Solomonoff ve Rapoport'un rassal ağlara yönelik olarak yapmış oldukları büyük katkıya rağmen, 8 yıl sonra Erdős & Rényi (1959) tarafından kapsamlı bir çalışmanın ardından rassal ağlar teorisinin temeli atılmıştır. Erdős ve Rényi'nin 1960 yılında yayınlanan "On the Evolution of Random Graphs" isimli makalelerinde, rassal ağların birçok özelliğinden ilk kez bahsedilmiştir. Diğer adı ile rastgele grafik modeli, gerçek ağların nasıl işlediğine dair bir açıklama sağlamada erken başarılı bir girişimdir ve modern matematiksel ağ teorisinin yolunu açmıştır (Newman vd., 2006).

Price tarafından 1965 yılında bilimsel makalelere yapılan atıflar ile ilgili olan "Networks of Scientific Papers" isimli makalesinde, atıf-makale sayılarının kuvvet yasası dağılımına sahip olduğunu ifade ederek, aslında Barabasi ve Albert tarafından 1990'lı yılların sonlarında keşfedilen "tercihli bağlantı modeli"nin temelini atmıştır. Price'ın yapmış olduğu bu makale ölçekten bağımsız ağlara örnek ilk çalışma olarak tarihte yer almaktadır (Tüzüntürk 2012).

1967 yılında Stanley Milgram tarafından "Küçük Dünya Hipotezi" sosyal ağ araştırmalarının teorileştirilmesinin bir örneğidir. Milgram yapmış olduğu deneyde, bir mektubun rastgele seçilmiş bir kişiye yaklaşık olarak 6 adımda ulaşabileceğinin teorisini ispatladı ve buna da "Küçük Dünya Hipotezi" adını verdi. Milgram deneyinde, mektupların hedef noktalarına toplamda 2 ile 10 aracı kişi ile ulaştığını bulmuştur. Bu bağlantıların medyanı ise 5 kişidir. 5 aracı tanıdığın olması kaynak ve hedef noktasındaki zincirin 6 adımdan ibaret olduğu anlamına gelmektedir (Newman vd., 2006: 16). Bu sonuç "Six Degree's of Separation" yani altı derecelik uzaklık/aralık ifadesini doğurmuştur. Altı derecelik uzaklık

kavramı, dünyanın önemli özelliklerini keşfetmek için, bir ağ yaklaşımının kullanılabileceğinin ilk göstergelerinden biri olmuştur. Küçük dünya hipotezi, rastgele seçilen bir kişi ile diğer kişi arasında sosyal bağın kurulabilmesi için gerekli olan en kısa yolu anlatmakta olup (Gürsakal 2009: 61) bir ağda, çoğu düğümün komşu olmadığını, ancak düğümlerin çoğuna az sayıda sıçrama ile ulaşılabileceğini varsaymaktadır (Zhang 2010). Aslında bu teoremin temelleri 1929 yılında Frigyes Karinthy'nin kısa hikayesi ve Pool & Kochen (1978) 'in matematiksel çalışmaları ile atılmıştır. Milgram'ın 1967 yılında yazmış olduğu "The Small World Problem" adlı makalesinde küçük dünya probleminin iki felsefi görüşü olduğu belirtilmektedir. Birincisi; dünyadaki iki kişi birbirinden ne kadar uzakta olursa olsun, az sayıda tanıdık ile birbirlerine bağlanabilirler. İkincisi ise, gruplar arasında ilişki kurulabilecek tanıdıkların olmamasından durumunda dünyadaki iki kişi bağlantı kuramaz. Günümüzde, küçük dünya etkisi çok sayıda farklı ağda incelenmiş ve doğrulanmıştır (Newman, 2003: 180)

1973 yılında sosyolog Mark Granovetter, insanların sosyal ilişkileri ile ilgili bazı temel gerçekleri açıklayan bir ağ modeli önermiştir. Granovetter'in "zayıf bağlar teorisi" basit bir sorudan ortaya çıkmıştır: "İnsanlar nasıl iş bulabilirler?". Bu sorunun şaşırtıcı cevabı; insanların yakın arkadaşlarından ziyade zayıf bağlarla birbirlerine bağlı olan tanıdıkları vasıtası ile iş bulabilmeleridir. Bu sonuç, bilginin sosyal ağlardan nasıl verimli bir şekilde geçebildiğine dair daha derin bir anlayışa yol açmıştır (Luke and Harris 2007). Granovetter, 1973 yılında yazdığı "The Strength of Weak Ties -Zayıf Bağların Gücü" adlı makalesinde ve devamında yaptığı çalışmalarda, az sayıda insanla sıkı ilişki içinde olmak yerine, çok sayıda insanla tanışıp nispeten zayıf bağlantılar kurmanın iş yaşamında başarıyı getirdiğini ortaya koymuştur. Bunun da temelde iki nedeni olduğunu savunmuştur. Birincisi, sürekli aynı kişileri görmek, sabit ve sınırlı bir çevreye sahip olmak kişisel gelişimi engellemektedir; ikinci ise daha zayıf bağlantılara sahip olmak iletişim kabiliyetini yükseltir. Granovetter'in çalışması çeşitli nedenlerle önemlidir. Karmaşık ve gerçekçi bir ağ yapısı modelinin geliştirilmesine yardımcı olduğu gibi daha sonra yapmış olduğu çalışmalar, sosyal yapı ve insan davranışlarını açıklamaya çalışan ağ teorisinin ilk uygulamaları içerisinde yer almaktadır. Granovetter (1982) sonraki çalışmalarında güçlü bağların önemini de tartışmıştır. Genel olarak, Granovetter yeni bilgiler elde etmek için zayıf bağların kullanıldığını ve yeni bilgileri uygulamak için de güçlü bağların kullanıldığını ifade etmektedir (Kjos, 2009: 41). Newman vd. (2006) tarafından, Granovetter'in öne sürmüş olduğu modelin, Erdős ve Rényi'nin rassal ağ modeline göre daha üstün olduğu ve toplumun günlük yaşantısı ile daha fazla örtüştüğü ifade edilmektedir.

Watts & Strogatz'ın 1998 yılında yazmış oldukları "Collective Dynamics of Small World Networks" adlı makalelerinde, rassal ağlara alternatif olarak "küçük dünya ağları" modelini öne sürmüşlerdir (Gürsakal 2007). Watts-Strogatz modeli olarak isimlendirilen bu ağlar, küçük dünya özelliklerine sahip rassal ağ üretme modelidir (Gürsakal 2016).

1998 yılının sonlarına doğru, Barabasi, Albert ve Jeong web üzerindeki herhangi iki belgenin birbirlerine olan uzaklığının 19 tıklama olduğunu tespit etmişlerdir (Barabási, 2003: 34). Barabasi ve

Albert'in yapmış oldukları bu küçük dünya deneyi ile ilgili çalışmalar derinleşerek ilerlemiş ve web'de yüksek düzeyde bağlantıya sahip olan sayfaların az olduğu sonucuna ulaşarak, web sayfalarının dağılımının “kuvvet yasası” kuralına göre hareket ettiğini saptamışlardır. Sonraki çalışmalarda aslında gerçek dünya ağlarının birçoğunun bu yasaya göre hareket ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Barabasi ve Albert özellikle büyük ağların tanımlanmasında oldukça yararlı olan bu ağları “ölçekten bağımsız ağlar” olarak adlandırmışlardır.

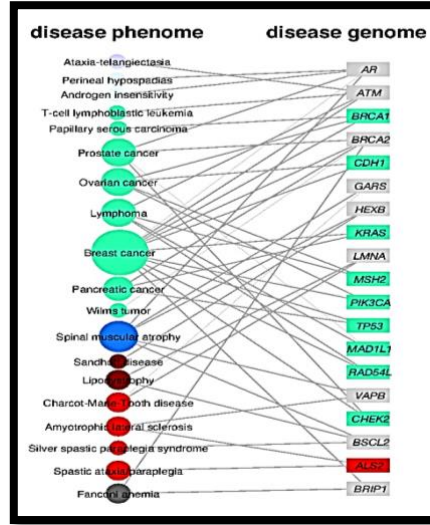
Ağ biliminin popülerliği ve farklı disiplinlerdeki kullanımı 21. Yüzyılın başlarında artmıştır. Ağlara olan ilgi, iki makaleye yapılan atıfların artması ile anlamlı hale gelmiştir. Bunlardan birincisi, 1959 yılında Paul Erdős ve Alfréd Rényi (Erdős and Rényi 1959) tarafından yazılan “Rassal Ağlar” diğeri ise Granovetter (1973) ‘ın “Zayıf Bağların Gücü” makalelerine yapılan atıfların artış göstermesidir (Barabási 2016). Facebook, Twitter, Instagram vb. gibi sosyal ağların doğuşu ve popülerliği bu alana olan ilginin artması yönünde çok büyük katkılar sağladığı yadsınamaz bir gerçektir.

4. TEORİK MODELLER

Ağ bilimi ile ilgilenen araştırmacılar, ağların belirli kurallar dizini içerisinde işleyişlerini sürdürdüklerini savunmaktadırlar. Bu işleyiş kurallarını belirlemek ve neler olduğunu açıklamaya yönelik olarak ağ türleri (modelleri) belirlenmiştir (Gürsakal vd., 2014). Ağların türleri bilindiği takdirde, davranışları hakkında daha iyi bilgiye sahip olunabileceği gibi, aynı zamanda gerçek hayat ağları üzerinde yapılmak istenen analizler ve deneyler de kolaylıkla yapılabilmektedir. Ağ modellerinin belirlenmesinde kümelenme katsayısı, derece dağılımı, ortalama patika uzunluğu ve merkezilik ölçüleri etkin rol oynamaktadır (Lewis, 2008).

Bir sosyal ağda, farklı varlıkların bulunduğu kümeler mod kavramı ile ifade edilir (Wasserman and Faust 1994). Bir ağdaki her bir düğüm, diğer düğümlerin her biri ile ilişkilendirildiği zaman tek modlu ağdan bahsedilebilir (Eteman., vd. 2014). Bir okuldaki öğrenciler arasındaki arkadaşlık ilişkilerinde tüm düğümler bir kümenin içerisinde yer aldığı için tek modlu ağ olarak adlandırılır ve en yaygın kullanıma sahip olan ağdır. Eğer bir ağda iki farklı düğüm seti varsa yani kesişimleri olmayan iki ayrı küme varsa bu ağlara iki modlu ağlar denilir. Örneğin; öğrenciler ve almış oldukları dersler iki farklı kümeyi oluşturduğu için iki modlu ağdır. İki modlu ağlarda, kümeler gönderen ve alıcı konumundadır. Öğrenciler gönderen konumundaki bir küme, dersler de alıcı konumundaki ikinci kümeyi oluşturmaktadır.

Şekil 6. İki Modlu Hastalık –Gen Ağı Örneği



Kaynak: Goh vd. (2007)

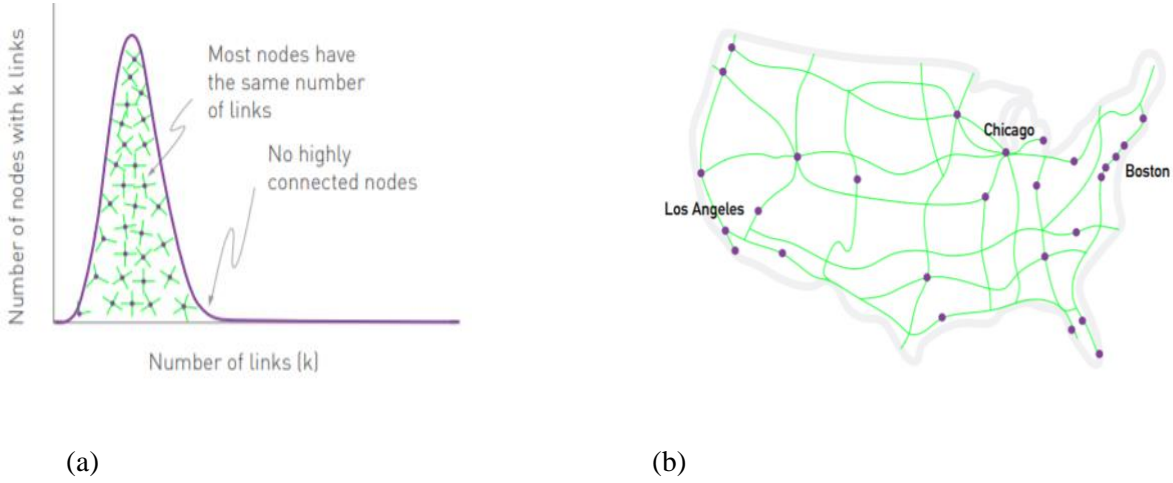
Şekil 6’da hastalık – gen ağına örnek iki modlu bir ağ mevcuttur. Şekle göre, hastalıklar bir küme, genler kesişimi olmayan ikinci bir kümeyi oluşturmaktadır. Kümeler arasındaki bağlantılarda, hastalık düğümleri gönderici, gen düğümleri de alıcı pozisyonundadır. İki modlu ağlarda, ok ile gösterim söz konusu değildir. Göndericiden alıcıya doğru bir ilişki olduğu bilinmelidir.

Ağ biliminde teoride üç modelden bahsetmek mümkündür. Rassel Ağlar: Erdős -Rényi Modeli (ER Modeli); Küçük Dünya Ağları: Watts-Strogatz Modeli ve Ölçekten Bağımsız Ağlar: Barabási-Albert Modeli.

4.1. Rassel Ağlar

1959 yılında Paul Erdős ve Alfréd Rényi tarafından geliştirilen ilk resmi modeldir. Rassel ağlar en eski ve en çok araştırılan ağ modelidir. Temel anlamda “rastgele / tesadüfi” olarak çizilen ağları temsil etmektedir ve her bir düğümün birbiri ile bağlantı kurma olasılığı eşittir. Bu model matematikte tamamen yeni değildir ancak olasılıksal fikirlerin grafik gibi basit bir yapıda kullanılması kesinlikle şaşırtıcı bir hal almıştır (Bollobas 2001). Birbiri ile bağlantılı olmayan düğüm çiftlerinin rastgele bağlanması ile başlayıp, diğer düğümlerin de gelişigüzel olarak birbiri ile bağlanması ile devam eder. Erdős ve Rényi bu modelle, ağın boyutu ne kadar büyük olursa, ağın tamamen bağlanması için düğümler arasında daha az bağlantıya ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir (Luke and Harris 2007). Rassel ağlar en iyi geliştirilen ağ grafik modelleri sınıfı içerisinde yer almaktadırlar. Rassel ağların derece dağılımı, poisson dağılımına uymaktadır. Poisson dağılımına sahip olan rassel ağların bir tepe noktasına sahip olması diğer ağ modellerinden ayıran en büyük özelliğidir. Bu ağlara aynı zamanda “Bernoulli ağı” de denilmektedir.

Şekil 7. Rassal Ağların Derece Dağılımı ve Örnek Gösterimi



Kaynak: Barabási & Pósfai (2016)

Şekil 7(a) rassal ağların derece dağılımını göstermektedir. Şekle göre rassal ağlar çan eğrisine oldukça benzer ve poisson dağılımı göstermektedir. Dağılıma göre, çoğu düğüm karşılaştırılabilir derecelere sahiptir ve çok sayıda bağlantıya sahip düğümler yoktur. Şekil (b) şehir ve otoyol ağını göstermektedir. Düğümler, şehirler; bağlantılar otoyollar olarak gösterilmiştir. Bu gösterimdeki bir rassal ağda, yüzlerce karayolu bulunan şehirler yoktur ve karayolu ile bağlantısı olmayan şehir de yoktur.

İnternet, biyoloji gibi karmaşık sistemlerin rassal olarak dağılıp dağılmadığı sorgulanmaya başlandığı 2000’li yılların başında, gerçek hayattaki ağların rassal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Gürsakal 2009: 136). Paul Erdős ve Alfréd Rényi tarafından da daha sonradan yazılmış olan makalelerinde bu sonuçtan bahsedilmiş olmasına rağmen, rassal ağlar ağ bilimi için çok önemli bir model olmuştur. Rassal ağlar, gerçek ağların nasıl işlendiğini ve matematiksel olarak ağ teorisinin önünü açan erken dönemli başarılı bir girişimdir (Luke and Harris 2007).

4.2. Küçük Dünya Ağları

Altı derece/adım uzaklık olarak da bilinen küçük dünya olgusu, 1967 yılında Milgram tarafından yapılan bir posta gönderimi ile deneyimlenmiş olup, dünyadaki kişilerin birbirlerine 6 adımda ulaşabileceğini ispatlayan bir modeldir. Ağ biliminde küçük dünya olgusu, bir ağda rastgele seçilen iki düğüm arasındaki mesafenin kısa olduğu anlamına gelir. Bir anlamda dünyanın küçük olduğunu kanıtlar. Küçük dünya ağlarında ağlar büyüdükçe, ortalama patika uzunluğu kısalmaktadır. Bu tür ağların, ortalama patika uzunluğunun kısa ve yüksek kümelenme katsayısına sahip oldukları bilinmektedir. Örnek vermek gerekirse, X bireyinin Z bireyi ile ve Y bireyinin de Z bireyi ile ilişkisi varsa, X ve Y bireylerinin de birbiri ile ilişkisinin olma ihtimali yüksektir. Veya dünyadaki herhangi iki

insan şunu söyleyebilir: “benim arkadaşımın arkadaşının arkadaşısı, senin arkadaşının arkadaşını tanıyor”. Bu durum günümüzdeki sosyal arkadaşlık ağları için de zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda ,ilk kurulan sosyal ağın adı da “sixdegrees.com” dur (Tuğal 2013).

Milgram tarafından yapılan çalışmaların temel alındığı bu ağ modeli Watts-Strogatz tarafından 1998 yılında oluşturulmuş olup, Watts-Strogatz “Küçük Dünya Modeli” olarak adlandırılmıştır. Watts ve Strogatz’a göre küçük dünya ağları büyük ve heterojen, ortalama patika uzunlukları 2 ile 4 adım arasında, kümelenme katsayıları büyük, yoğunlukları düşük, merkezi düğümleri olmayan ve rassal ağ ile tam ağ arasında bulunan ağlardır (Gürsakal 2009: 142). Sosyal ağlar, internet ve biyolojik ağlar küçük dünya ağlarının özelliklerini göstermektedir. Facebook, iki düğüm arasındaki ortalama uzaklık 4,74 adım ile küçük dünya ağ modelini sergilemektedir. Küçük dünya ağlarında, herhangi bir düğüme, en fazla birkaç adımda ulaşılabilir (Backstrom et al. 2012).

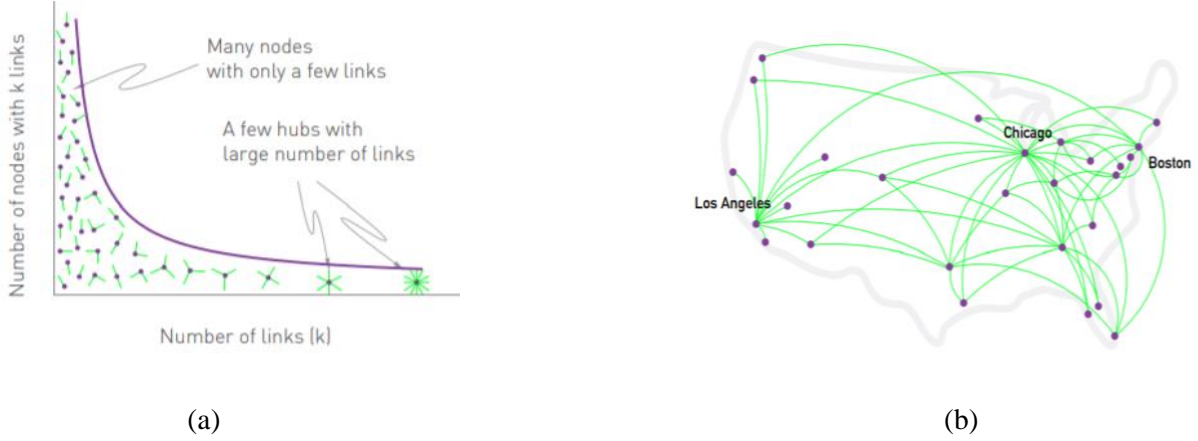
Watts ve Strogatz bu modelde, ağ bilimindeki önemli ölçütlerden biri olan ”kümelenme katsayısı” nı geliştirmişlerdir. Kümelenme katsayısı, bir düğümün komşularının birbirleri ile ne derecede bağlantı içerisinde olduklarını ifade eder. Örneğin bir arkadaşlık ağı içerisinde, bir kişinin arkadaşlarının arkadaşları da birbirleri ile arkadaşlarsa veya bağlantıları varsa, o kişinin kümelenme katsayısı yüksektir. Kümelenme katsayısı bir düğümün komşularının birbirleri ile olan bağlantısını ölçer.

4.3. Ölçekten Bağımsız Ağlar

2000’lı yılların başına kadar Paul Erdős ve Alfréd Rényi’nin çalışmalarına dayanarak ağların rassal olduğu düşünülüyordu. Etrafımızda birçok alanda mevcut olan doğal ve yapay ağların hiçbiri de rassal değildir. Örneğin, şehirlerin alt – üst ulaşım yolları, kentlerin altındaki borular, kablolar. Bunların yerleşim şeklinin bir mantığı vardır yani rassal olarak yerleştirilmemektedir. Ağlar da bu anlamda rassal değillerdir.

Barabási (2003) tarafından belirtildiği gibi, ağlar genellikle “zengin daha zengin olur” mantığı ile işler, az sayıda kişi dünyadaki servetin büyük bir kısmını, çok kişi ise az bir kısmını paylaşır. Barabási ve Albert, 1999 yılında “tercihli eklenti” modelleri ile ölçekten bağımsız ağları ortaya koymuş olup, ağların derece dağılımlarının kuvvet yasasına uygun olduğunu ve bu özelliklerin sosyal ağların ortak bir özelliği olduğunu bulmuşlardır. Tercihli eklenti; düğümlerin birbirlerine rastgele olarak bağlanması yerine, fazla bağlantıya sahip olan düğümlere tercihli olarak bağlanmasıdır. Her yeni düğüm, daha fazla bağlantıya sahip düğümü tercih ederek ağa katılır. Böylece, ağdaki ilk düğümler çok sayıda bağlantıya erişmiş olur. Kuvvet yasası dağılım eğrisi sol yukarıdan aşağıya doğru inen bir eğri görünümündedir. Bu dağılım “kalın kuyruklu dağılım” olarak da adlandırılmaktadır.

Şekil 7. Ölçekten Bağımsız Ağların Dağılımı ve Örnek Gösterimi



Kaynak: Barabási ve Pósfai (2016)

Şekil (a) kuvvet yasası dağılımında, çok düğümün az sayıda, az sayıda düğümün ise yüksek sayıda bağa sahip olduğunu göstermektedir. Şekil (b), bir hava- trafik ağını temsil etmektedir. Düğümler havaalanı, bağlar ise direkt uçuşları göstermektedir. Havaalanlarının çoğu sadece birkaç direkt uçuşa sahipken, az sayıdaki büyük havaalanları (Chicago, Los Angeles) ise çok sayıda diğer küçük havaalanlarını birbirine bağlayarak hub görevi üstlenmektedir.

Albert, Jeong, ve Barabási, 1999 yılında 203 milyon web sayfasını kapsayan bir örneklem üzerinde çalışmışlar ve bu web sayfalarının %90'ının birbirleri ile 10 ya da daha az yönlü bağlantıya sahip olduğunu görmüşlerdir. Buna karşın birkaç sayfanın ise bir milyona yakın yönlü bağlantıya sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu sonuç, ağ analizi çalışmalarında bir devrim niteliği taşımaktadır.

Ölçekten bağımsız ağların ortaya çıkma nedeni kendi kendini organize etme kavramı ile açıklanmaktadır. Bu ağlarda, az bağlantılı düğümlerin çıkartılması ağı etkilemez, ancak çok bağlantılı düğümler ağdan çıkartıldığı zaman ağ çöker. Ölçekten bağımsız ağlar, düğüm sayıları ne olursa olsun aynı özellikleri gösterirler (Gürsikal 2009: 158). Gerçek hayatta birçok ölçüm değeri tipik bir değerin etrafında kümelenir. Karpuzların ağırlığı, belirli günlerdeki trafik yoğunluğu, şehirlerdeki nüfus, bir bölgenin sıcaklık değerleri, link alan web sayfası, satılan kitap sayısı hep ortalama bir değerin etrafında kümelenir. Bu durum da, gerçek ağların derece dağılımlarının kuvvet yasası özelliğine sahip olduğunun bir göstergesi niteliğindedir.

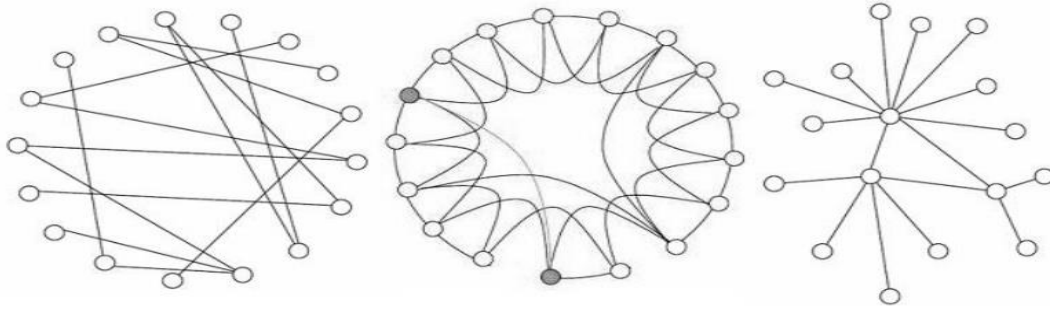
Gerçek ağların rassal ve küçük dünya ağ modellerinde yer almayan iki önemli özelliği vardır. Barabási & Albert (1999)'a göre bunlar şu şekildedir;

- 1- Her iki modelde sabit sayıda (N) düğüm sayısı ile başlanıldığı varsayılır. Buna karşılık, gerçek dünya ağları sisteme sürekli olarak yeni düğümler ekleyerek oluşurlar. Böylece ağın ömrü boyunca düğüm sayıları artar. Örneğin, www yeni sayfaların eklenmesi ile zaman içinde katlanarak büyür veya makale atf ağları sürekli olarak yeni makalelerin

yayınlanması ile büyür. Sonuç olarak, ölçekten bağımsız ağ modelini, diğer iki modelden ayıran özelliği, ağın mevcut olan düğümlerine, yeni bağlanan düğümlerin eklenmesiyle sürekli genişlemesidir. Rassal ve küçük dünya ağ modellerinde yüksek bağlantıya sahip olan düğümler pratikte mevcut olmamasına rağmen ölçekten bağımsız ağ modelinde, yüksek bağlantıya hâkim olan düğümler vardır.

- 2- Rassal ağ modelleri, iki düğümün bağlanma olasılığının rastgele ve tekdüze olduğunu varsayar. Buna karşılık, ölçekten bağımsız ağlar tercihli bağlantı gösterir. Örneğin, yeni bir web sayfasının; yüksek bağlantıya sahip, bilinen ve tanınan diğer web sayfaları ile bağlantılar içermesi büyük bir olasılıktır.

Şekil 8. Rassal Ağlar, Küçük Dünya Ağları ve Ölçekten Bağımsız Ağlar



Şekil 8'e göre, en soldaki Erdős ve Rényi modeli olan rassal ağlardır. Ortadaki yüksek kümelenme katsayısı ve ortalama en kısa patika uzunluğuna sahip olan Watts ve Strogatz küçük dünya ağlarıdır. En sağdaki ise, Barabási ve Albert'in ölçekten bağımsız ağının bir örneğini göstermektedir (Tarapata, 2015).

Ölçekten bağımsız ağlar, rastgele saldırılara karşı dirençli olmasına rağmen, hedefli saldırılara karşı oldukça zayıftır. Bu ağlarda hedefli bir saldırıda tüm ağın çökebilme ihtimali vardır. Küçük dünya ağlarında daha az sayıda merkezi, çok sayıda küçük dereceli düğüm olduğu için, ağa yapılacak herhangi bir saldırıda merkezi düğümlere gelme olasılığı düşüktür. Rassal ağlarda merkezi düğümler olmadığı için, bu ağlar herhangi bir saldırıdan etkilenmeyecek veya böyle saldırılara maruz kalmayacaktır.

5. SONUÇ

Ağ biliminin başlangıcı çok eskilere dayanmış olsa da, özellikle teknolojik alandaki gelişmeler ile birlikte önemi gittikçe artmıştır. Dijitalleşmenin giderek arttığı bir ortamda, ağ biliminin farklı birçok alanda kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. Verilerin en değerli hale geldiği günümüz dünyasında, bu verileri etkin bir şekilde yorumlayabilmek ve çıkarımlarda bulunmak en kıymetli bilgilere sahip

olmamızı sağlamaktadır. Etrafımızdaki çoğu şey birbiri ile ilişkili hale gelmiştir. Bu ilişkilerin ortaya konulması ağ biliminin esas işlevlerinden biridir.

Çalışmanın en temel amacı, birçok alana hizmet eden bir bilim dalının tarihsel ilerleyişinde atılan en önemli adımların ortaya konulmasıdır. Kronolojik olarak aktarılan bu adımların her aşamasında ağ bilimine ciddi katkılar sağlayacak oluşumlar gerçekleşmiştir. Bu oluşumlar içerisinde ağ modellerinin önemi ve birbirlerinden farklılığı da ağ biliminin en önemli konularından biri olarak yer aldığından dolayı, çalışmada ayrıca bu modellere de yer verilmiştir. Çalışma, farklı disiplinlerde yapılacak olan araştırmalar için; tarihsel gelişimi açısından bilgilendirici; ağ modelleri açısından da uygulayıcı olması amaçlanarak yapılmıştır..

KAYNAKÇA

- Ağcasulu, H. (2017). “Ağ Yaklaşımı ve Sosyal Sermaye Kuramı Perspektifinden Formel Örgütlerde İlişkiler: Belediye Meclisi Sosyal Ağ Analizi İncelemesi.” Doktora Tezi: Süleyman Demiral Üniversitesi, Isparta.
- Albert, R., Hawoong J., and Albert-László, B. (1999). “Diameter of the World-Wide Web.” *Nature* 401: 130–31.
- Backstrom, L., Paolo, B., Marco ,R., Johan, U., & Sebastiano, V. (2012). “Four Degrees of Separation.” In *WebSci '12: Proceedings of the 4th Annual ACM Web Science Conference*, 33–42.
- Barabási, A. L. (2003). *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Penguin Group, New York.
- Barabási, A.L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
- Barabási, A.L., and Réka, A.. (1999). “Emergence of Scaling in Random Networks.” *Science* 286 (5439): 509–512.
- Barabási, A.L., and Pósfai, M. (2016). “The Scale Free Property.” In *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barnes, J A. (1954). “Human Relations.” *Human Relations* 7: 39–58.
- Bollobas, B. (2001). *Random Graphs*. Cambridge University Press.
- Borgatti, S. P., Ajay, M., Daniel J. Brass, and Labianca, G. (2009) “Network Analysis in The Social Sciences.” *Science* 323: 892–895.
- Butts, C. T. (2001). “The Complexity of Social Networks: Theoretical and Empirical Findings.” *Social Networks* 23: 31–71.

- Carvalho, R., Lubos, B., Flavio, B., Eugenio, G., Wolfram, J., Arrowsmith, D. (2009). “Robustness of Trans-European Gas Networks.” *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*.
- Coleman, J., Elihu, K., and Herbert, M. (1957). “The Diffusion of an Innovation Among Physicians.” *Sociometry* 20 (4): 253–270.
- Erdős, P., and Alfréd, R. (1959). “On Random Graphs.” *Publicationes Mathematicae* 6: 290–297.
- Eteman, F.S., Gürsakal, N. and Tüzüntürk, S. (2014). “NodeXL Ile Sosyal Ağ Analizi : # Akademikzam Örneği.” In *15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırmaları ve İstatistik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 464–482. Isparta.
- Freeman, Linton C., R. Douglas, W. and Romney Kimball. (1989). *Research Methods in Social Network Analysis*. Fairfax: George Mason University Press.
- Freeman, Linton C. (2004). *The Development of Social Network Analysis*. Vancouver: Empirical Press.
- Gastner, M.T. (2011). *Networks: Theory and Applications*. Imperial College.
- Gell-Mann, M. (2002). *What Is Complexity? Contributions to Economics*. Physica-Verlag HD.
- Goh, Kwang-Il, Michael E Cusick, David Valle, Barton Childs, Marc Vidal, and Albert-László Barabási. (2007). “The Human Disease Network.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (21): 8685–90.
- Gopal, S. 2007. “The Evolving Social Geography of Blogs.” In *Societies and Cities in the Age of Instant Access*, 275–294. Berlin: Springer.
- Granovetter, M.S. (1982). *The Strength of Weak Ties: A Network Theory Revisited. Social Structure and Network Analysis*. CA: Sage Publications.
- Granovetter, M. S. (1973). “The Strength of Weak Ties.” *The American Journal of Sociology* 78 (6): 1360–1380.
- Gürsakal, N. (2007). *Sosyal Bilimlerde Karmaşıklık ve Kaos*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Gürsakal, Necmi. (2009). *Sosyal Ağ Analizi: Pajek, Ucinet ve Gmine Uygulamalı*. 1. Baskı. Bursa: Dora Yayınları.
- Gürsakal, N. (2016). *Sosyal Ağ Analizi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Gürsakal, N., Tüzüntürk, S. and Sert, E.F. (2014). “Sosyal Ağ Verilerinin Kuvvet Yasası Olasılık Dağılımına Uygunluk Analizi: Twitter Örneği.” In *15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Bildiriler Kitabı*, 501–523. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Harary, F., Norman R.Z., and Cartwright D. (1965). *Structure Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. Wiley, New York.

- Huberman, B. A. (2001). *The Laws of the Web*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Katz, N., Holly A., David L., and Noshir, C. (2004). “Network Theory and Small Groups.” *Small Group Research* 35 (3): 307–332.
- Kjos, Andrea Lee. (2009). “The Role Of Social Networks In Medication Information Seeking Behavior.” (Doktora Tezi). Minnesota: University Of Minnesota.
- Kolaczyk, Eric D. (2009). *Statistical Analysis of Network Data: Methods and Models*. New York: Springer, New York.
- Leinhardt, Samuel. (1977). *Social Networks: A Developing Paradigm. Behavirol Science*. London: Academic Press.
- Luke, D. A., and Jenine K. H. (2007). “Network Analysis in Public Health: History, Methods, and Applications.” *Annual Review of Public Health* 28 (1): 69–93.
- Marsden, Peter V., and Lin. Nan. (1982). *Social Structure and Network Analysis*. Beverly Hills: Sage.
- Milgram, S. (1967). “The Small World Problem.” *Psychology Today* 1 (1): 60–67.
- Moreno, J. L. (1934). *Who Shall Survive*. Washington, DC,: Nervous and Mental Disease Publishing Company.
- Newman, M.E.J. (2003). “The Structure and Function of Complex Networks.” *SIAM Review* 45 (2): 167–256.
- Newman, M.E.J. (2010). *Networks An Introduction*. England: Oxford University Press.
- Newman, M., Barabási, A.L. and Duncan, J. W. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton: NJ: Princeton University Press.
- Pool, Ithiel de Sola, and Manfred, K. (1978). “Contacts and Influence.” *Social Networks* 1: 5–51.
- Price, Derek J. De Solla. 1965. “Networks of Scientific Papers.” *American Association for the Advancement of Science* 149 (3683): 510–515.
- Scott, J. (1999). *Social Network Analysis*. Newbury Park: SAGE Publications.
- Solomonoff, R., and Anatol Rapoport. (1951). “Connectivity of Random Nets.” *Bulletin of Mathematical Biology* 13 (2): 107–117.
- Tuğal, İ. (2013). “Sosyal Ağlarda Hastalık İlaç Bağlantı Tahmini.” (Yüksek Lisans Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi.
- Tüzüntürk, S. (2012). *Ağ Bilimi*. Bursa: Dora Yayınları.
- Wasserman, S., and Katherine, F. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.



- Watts, Duncan J., and Steven H. Strogatz. (1998). “Collective Dynamics of ‘small-World’ Networks.”
Nature 393: 440–442.
- White, Howard D., Wellman, B., and Nancy Nazer. (2004). “Does Citation Reflect Social Structure?”
Journal of the American Society For Information Science And Technology 55 (2): 111–126.
- Zachary, Wayne W. (1977). “An Information Flow Model for Conflict and Fission in Small Groups.”
Journal of Anthropological Research 33 (4): 452–73.
- Zhang, M. (2010). “Social Network Analysis: History, Concepts and Research.” In *Handbook of Social Network Technologies and Applications*, 3–21. Springer, Boston, MA..