

Araştırma Makalesi

Ağ Teorisinin Temelleri ve Evrimi: Bütünsel Bir Değerlendirme

Fundamentals and Evolution of Network Theory: A Holistic Evaluation

Sevim UNUTULMAZ GÜRLEK¹, Murat Ali DULUPÇU²

Öz

Geçtiğimiz yıllar içerisinde pek çok fizikçi, internet teorisyeni ve sosyal bilimci, ağ teorisinin geliştirilmesinde önemli adımlar atmışlardır. Bu teori ve onun giderek artan bir şekilde ağ bilimi olarak adlandırılan ampirik temeli, ağların neden ortaya çıktığını, nasıl büyüdüklerini ve geliştiklerini açıklamaya çalışmaktadır. Ağ perspektifi, biyoloji, sosyal bilimler, bilgi bilimleri, ekonomik ve diğer alanlar hakkında derin soruların ele alınmasını sağlar. Ağ bilimi sosyal ağlar, internet, karayolları ve terörist ağlarını da kapsayan çeşitli ağlarda muazzam benzerlikler olduğunu göstermiştir. Günümüzde büyük ölçekli ağları anlayabilmek için ağ bilimine disiplinler arası bir yaklaşım gerekmektedir. Örneğin matematik bilimcileri yol uzunlukları, derece dağılımları ve korelasyon katsayıları gibi ağın istatistiksel yapısına odaklanmışlardır. Bir araştırma alanında geliştirilen ölçüm, modelleme veya görselleştirme algoritmaları ağlar hakkındaki kavrayışı arttırmaktadır. Ağdaki bağlantılar insanların öğrenme, fikir oluşturma, haber toplama yöntemlerini ve hastalığın yayılması gibi pek çok olayı etkiler. Bu ağların yapısı hakkında yeterince bilgi elde edilmediği takdirde, ilgili sistemlerin tam olarak nasıl çalıştığını anlamak mümkün değildir. Bu bağlamda ağlar önemlidir çünkü ağlar anlaşılmaz ise piyasaların nasıl işlediği, kuruluşların sorunlarını nasıl çözdüğü veya toplumların nasıl değiştiğini anlamak mümkün değildir. Bu nedenle çalışmada öncelikli olarak ağ teorisinin teorik ve kavramsal çerçevesi incelenmiştir. Ardından geçmişten günümüze ağ teorisi ile ilgili önemli olayların tarihsel zaman çizelgesine bakılıp, ağ teorisinin istatistiksel temeli, ilkeleri, felsefesi ve matematiği ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağ teorisi, Ağ Tarihçesi, Temel Kavramlar, Teorik Modeller.

Jel Kodları: C00, C01, C18.

Abstract

The Economic Discomfort Index, introduced to economic theory by Arthur Okun in the 1970s, and the Misery Over the past years, many physicists, internet theorists, and social scientists have made significant strides in the development of network theory. This theory and its empirical basis, increasingly referred to as network science, attempts to explain why networks arise and how they grow and evolve. The network perspective enables deep questions to be addressed in biology, social sciences, economics and other fields. Network science has shown tremendous similarities in various networks, including social networks, the internet and terrorist networks. An interdisciplinary approach to network science is required to understand large-scale networks today. For example, mathematicians have focused on the statistical structure of the network, such as path lengths, degree distributions, and correlation coefficients. Measurement, modeling or visualization algorithms developed in a research area increase the understanding of networks. Connections in the network influence the way people learn, form opinions, gather news, and many things, such as the spread of disease. Unless enough information is obtained about the

*Bu çalışma Prof. Dr. Murat Ali DULUPÇU danışmanlığında Sevim UNUTULMAZ GÜRLEK tarafından hazırlanan "Ortaklaşa Proje Faaliyetlerinin İnovasyon Ekonomi Sisteminin Oluşumundaki Rolü" başlıklı doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Doktora Öğrencisi, sevimunutulmaz@hotmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Prof. Dr., muratdulupcu@sdu.edu.tr

structure of these networks, it is not possible to understand exactly how the related systems work. In this context, networks are important because if networks are not understood, it is not possible to understand how markets work, how organizations solve their problems or how societies change. For this reason, the theoretical and conceptual framework of network theory is primarily examined in this study. Then, the historical timeline of important events related to network theory from past to present is examined, and the statistical basis, principles, philosophy and mathematics of network theory are discussed.

Keywords: Economic Discomfort Index, Misery Index, Non Performing Loans.

Jel Codes: I31, I32, E51.

1. Giriş

Ağlar ekonomik performansın önemli bir belirleyicisi olduğundan bu ilişkilerin nereden geldiğini anlamak önemlidir. Bu durum ağ oluşumunun altında yatan mekanizmaları ve ağ yapılarının arkasındaki itici güçleri araştırmayı ihtiyaç haline getirmiştir. Ekonomik sosyologlar iktisadi aktörlerin içinde bulunduğu bağların sosyal yapısının, sonraki eylemlerini nasıl etkileyebileceğini etkili bir şekilde göstermişlerdir (Granovetter, 1985). Piyasalardaki değişim ilişkilerindeki farklı sosyal yapısal modellerin bilgi akışını şekillendirdiği de görülmüştür (Burt, 1982).

Newman ağ'ı ögeler seti olarak tanımlamaktadır. Bir ağın tepe noktaları ve kenarları, sistemin daha fazla ayrıntısını elde edebilmek için isimler veya önem derecesi gibi ek bilgilerle etiketlenebilmektedir. Bu nedenle genellikle tam sistemi bir ağ temsiline indirgeme sürecinde çok fazla bilgi kaybolmaktadır (Newman, 2010: 2). Barabási (2003: 16)'nin tanımına göre ağ veya çizge, bağlantılarla birbirine bağlanmış düğümler demetidir. Düğüm ve bağ bir ağın en temel iki ögesidir. Oxford English Dictionary ağ'ı en genel haliyle “*Birbirine bağlı şeylerden oluşan bir koleksiyon*” olarak tanımlamaktadır. Öte yandan matematiksel amaçlar için ağlar genellikle çeşitli türlerde grafikler kullanılarak temsil edildiklerinden sık sık grafik terimi ile dönüşümlü olarak kullanılmaktadır (Kolaczyk, 2013: 1-2).

Bir ağ, aktörlerden (düğümlerden) ve bu aktörler arasındaki ilişkilerden (bağlar veya kenarlar) oluşur (Wasserman ve Faust, 1994). Düğümler birey, grup, kuruluş veya toplumlar olabilir. Ağ perspektifinin belirleyici özelliği bireylerin bireylere, grupların gruplara veya bireylerin gruplara bağlanmasının kavramsal yapı taşı olmasıdır (Poole ve Hollingshead, 2014: 278).

Bu makalede öncelikli olarak ağ teorisinin teorik ve kavramsal çerçevesi incelenecektir. Ardından geçmişten günümüze ağ teorisi ile ilgili önemli olayların tarihsel zaman çizelgesine bakılarak, Ağ Öncesi (1736-1966), Mezo-Ağ (1967-1998) ve Modern (1998 – Günümüz) şeklinde üç dönem olarak ele alınacaktır. Daha sonrasında ise ağ teorisinin temel kavramları ayrıntıları ile ele alınacaktır. Ağ verilerinin analizinde ortaya çıkan istatistiksel temelin doğasını daha iyi anlamak için ağların ortaya çıktığı bağlamlar, bilimsel soruların sorulması ve alınan ölçümler hakkında başlangıç fikrine sahip olmak gerekmektedir. Bu nedenle sonraki bölümde teoride ağ biliminin önemli modellerinin oluşum süreçleri ve yapısal özellikleri ele alınmıştır.

2. Ağ Teorisinin Tanımı, Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Barabási ağların her yerde bulunduğunu, önemli olanın ağları görebilmek olduğunu vurgulamıştır (Barabási, 2003: 7). Aslında toplumdaki her insan bir veya birden fazla ağın üyesidir. Örneğin, aile fertlerinden meydana gelen akrabalık bir akrabalık ağı örneğidir. Okuldaki öğrencilerden meydana gelen okul arkadaşlığı, iş yerindeki çalışanlardan meydana gelen iş arkadaşlığı veya kulüp üyelerin meydana gelen kulüp arkadaşlığı arkadaşlık ağı örnekleridir (Gürsakal vd., 2014: 465). Aşağıdaki Tablo 1’de temsili ağ örnekleri yelpazesi gösterilmektedir.

Tablo 1. Ağ Örnekleri

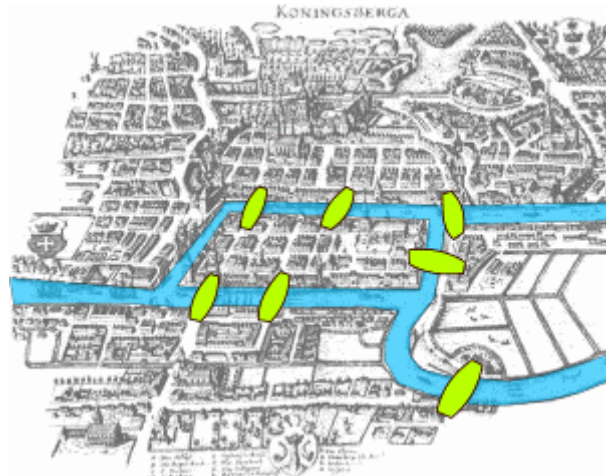
| Bireyler | Bağlantılar |
|-----------------------------------|--|
| Hollywood Oyuncuları | Bir filmde birlikte görünme |
| Fiziksel Proteinler | Etkileşim |
| Cep Telefonu Kullanıcıları | İletişim eylemi |
| Çevrimiçi Bir Mağazadaki Ürünler | Bir müşteri tarafından birlikte satın alınması |
| İnternet Sayfaları | Köprü |
| Çevrimiçi Sosyal Ağ Kullanıcıları | Arkadaşlık bildirim |
| Elektrik Santralleri | Fiziksel enerji hattı |
| Beyin Bölgeleri | Anatomik bağlantı |
| Şirket Yönetim Kurulu Üyeleri | Ortak üyelik |
| Şehirler | Direkt hava yolu uzunluğu |
| Araştırmacılar | Yayın ortak yazarlığı |
| Bilgisayar Ağları | Doğrudan internet bağlantısı |
| Lazerler | Optik işaretler |

Kaynak: Estrada, E., Fox, M., Higham, D.J. ve Oppo, G.L. (2010), s.2.

Geçmişten günümüze ağ teorisi ile ilgili önemli olayların tarihsel zaman çizelgesine bakıldığında, bunları Ağ Öncesi Dönem (1736-1966), Mezo-Ağ Dönemi (1967-1998) ve Modern Dönem (1998 – Günümüz) şeklinde üç dönem olarak incelemek mümkündür. Bu dönemler aşağıda sırasıyla incelenecektir.

2.1. Ağ Öncesi Dönem (1736–1966)

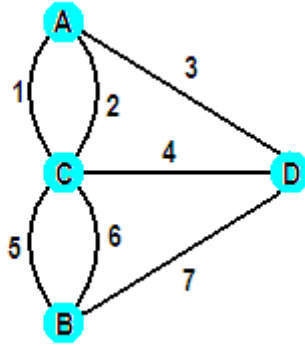
Ağ bilimi tüm zamanların matematik dalında en fazla yayın yapan Avusturyalı matematikçisi Leonhard Euler (1707-1783) tarafından ortaya atılmıştır. Eulerian yollar, 1736'dan kalma grafik teorisindeki en eski kanıtlardan birinin temelini oluşturmaktadır. Leonard Euler, şu anda Königsberg Köprü Sorunu olarak bilinen matematik bilmecesiyle ilgilenmeye başlamıştır. Königsberg şehri Pregel nehrinin kıyısında ve ortadaki iki ada üzerine inşa edilen bir şehirdir. Yedi köprü, şekil 1 'de gösterildiği üzere kara kütlelerini birbirine bağlamaktadır. Burada merak edilen soru "Bütün köprülerden bir ve yalnız bir defa geçmek koşulu ile bir yürüyüş yapılabilir mi?" olmuştur. Bu soru 1736'da İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından cevaplandırılmıştır. Böylelikle ağ kavramının doğuşu gerçekleşmiştir (Newman, 2010: 140).



Şekil 1. Königsberg Köprüleri

Buradaki en önemli bulgu, kanıtın kendisinden ziyade problemi çözmek için atılan ara adımdır. Euler'in bakış açısı Königsberg köprülerini bir grafik şeklinde görmesinde gizlidir. Euler

ırmağın ayırdığı dört kara parçasını temsil etmek üzere düğümleri kullanmış ve bunları A,B,C ve D harfleriyle sembolize etmiştir. Daha sonra köprüleri bağlantılar olarak adlandırmış, aralarında köprü bulunan bütün kara parçalarını çizgilerle birbirine bağlamıştır. Böylece düğümleri kara parçaları, bağlantıları ise köprüler olan bir grafik elde etmiştir (Barabási ve Elhüseyini, 2010: 20).



Şekil 2. Yedi Köprüsünün Grafiks gösterimi

Königsberg’de yedi köprünün hepsinden yalnız bir defa geçen güzergâhın var olmadığına ilişkin Euler kanıtı, basitçe geliştirdiği gözleme dayalıdır. Bu gözlem doğrultusunda tek sayılı bağlantılara sahip olan düğümler, bu yolculuğun ya başlangıç ya da bitiş noktasında olmak zorundadır. Bütün köprülerden geçen kesintisiz güzergâhın sadece tek bir başlangıç ve bitiş noktası olabilir. Bu bakımdan tek sayılı bağlantılara sahip ikiden fazla düğümün yer aldığı grafikte böyle bir yol var olamaz. Königsberg grafiğinde bu türden dört düğüm noktası bulunduğu için istenilen güzergâhı bulmak imkânsızdır (Barabási, 2010: 20).

Matematikçiler Euler’in 270 yıldan uzun bir süre önce temeli atmasından bu yana binlerce grafik teorisi sonucu elde etmişlerdir. Grafik teorisi, bilgisayar bilimi ve elektrik mühendisliğinin yanı sıra bir dizi uygulamalı disiplinde de son derece yararlı olmuştur. Ancak ağ bilimi söz konusu olduğunda, bir sonraki büyük adım 1925’te Yule’in ilk olarak evrimde tercihli bağlılığı gözlemlediği zaman gerçekleşmiştir (Lewis, 2011: 9). Yule türlerin bitki cinsleri arasında eşit olmayan dağılımını tanımlamak için stokastik bir tercihli büyüme modeli geliştirmiştir (De Blasio vd., 2007: 10763). Bu model cins ve türlerin doğadaki dağılımını açıklamak için geliştirilmiştir. Son zamanlarda, Yule sürecinin temelini oluşturan “tercihli bağlanma mekanizması”, www büyüme dinamiklerinin modellenmesinde yeniden kullanılmaktadır (Tonelli vd., 2010: 176).

1927’de, Kermack ve McKendrick biyolojik bir popülasyonda enfeksiyon yayılımının ilk matematiksel modelini yayınlamışlardır. Bu modelde, bir hastalığın nasıl yayıldığı veya bir salgının süresini tahmin etmek üzere geliştirilen modeller yer almaktadır. Model farklı durumların salgının sonucunu nasıl etkileyebileceğini açıklamaktadır. Örneğin belirli bir popülasyonda sınırlı sayıda aşı vermek için en etkili tekniğin ne olduğu araştırılmıştır (Brauer, 2005: 120). Kermack ve McKendrick kapalı bir popülasyonda (doğum, ölüm, göç veya göç olmadan) doğrudan iletilen bir viral veya bakteriyel maddenin iletiminin basit bir deterministik modelini formüle etmiştir (Anderson, 1991: 4). Kermack-McKendrick modelinin ikinci önemi ise iş dünyasındaki yeni ürünlerin pazarlanmasına uygulanmasıdır. Sosyal bir ağda bilginin yayılması bir salgının yayılmasına benzer. Bir ağın hangi özelliği bu virüs benzeri yayılmayı hızlandırır veya geciktirir sorusuna yanıt aranmaktadır (Lewis, 2011: 10).

1951’de, Solomonoff ve Rappaport, salgınları ağlara uygulayan ilk kişilerdir. Zayıf bağlantının kapalı bir popülasyondaki bir bireyin, enfekte tek bir birey tarafından bulaşan bulaşıcı hastalığa yakalanma olasılığının bir ölçüsü olduğu gösterilmiştir. Burada hastalığın sınırlı bir bulaşıcı süreye sahip olduğu, ardından bağışıklık veya ölüm olduğu ve herhangi bir birey çifti arasındaki temasların eş değer kabul edildiği varsayılır (Rapoport, 1951: 85).

1955’de Yule’nin geliştirdiği model Simon tarafından genelleştirilip ağlara uyarlanmıştır. Yule-Simon işleminde tercih, aynı bağlantıya sahip düğüm gruplarına göre tanımlanmaktadır (De Blasio vd., 2007: 10763). Yule ve Simon’un çalışmaları, sıra frekans dağılımında Zipf’in yasası olarak da bilinen kuvvet yasası formunu izleyen nüfus dağılımının türetilmesidir. Yule-Simon süreci, ağın büyümesini tanımlayan Barabási-Albert (BA) grafik modeli gibi diğer çeşitli dinamik süreçlerin ilk örneğidir (Hashimoto, 2016: 1).

1959’da Gilbert, tüm kenarların birbirinden bağımsız olarak ağ analizi için aynı olma olasılığına sahip olduğu temel olasılık modelini ortaya koymuştur. Gilbert, ilk olarak tam bir grafik oluşturmuştur ve sonra istenen sayı bağlantılarına ulaşana kadar rastgele seçilen bağlantıları silerek bir grafiğin nasıl oluşturulacağını göstermiştir. Ancak bu algoritma Erdős ve Renyi’ nin yaygın olarak teşvik edilen algoritması tarafından geride bırakılmıştır (Fienberg, 2012: 827).

1960’ da üretilen alanında Erdős-Rényi modeli, matematiksel rastgele grafikler üretmek için birbiriyle yakından ilişkili iki modelden biridir. Erdős ve Rényi modelinde, sabit sayıda kenarlı bir tepe noktasındaki tüm grafikler eşit derecede olasıdır. Gilbert tarafından sunulan modelde ise her bir kenarın diğer kenarlardan bağımsız olarak mevcut veya yok olma olasılığı sabittir. Gilbert, ilk olarak tam bir grafik oluşturarak ve sonra istenen sayı bağlantılarına ulaşana kadar rastgele seçilen bağlantıları silerek rastgele bir grafiğin nasıl oluşturulacağını göstermiştir (Gilbert, 1959). Ancak bu algoritması yavaştı ve Erdős ve Rényi’nin yaygın olarak kullanılan algoritması tarafından hızla geride bırakıldı (Bollobás vd., 2001: 280). Erdős ve Rényi’ye (1961) göre her bir düğümün başka bir düğümle bağ kurma olasılığı eşittir ve bu bağlar rassal bir süreç içinde meydana gelmektedir. Bu süreç n adet izole düğüm ile başlar ve rassal çizgeye rassal kenarların ilave edilmesi ile gelişir. Bu sürecin farklı evrelerinde daha büyük bağlanma olasılıklarına (p’lere) denk gelene kadar birçok grafik elde edilebilir. Erdős Rényi (ER) algoritması basitliği nedeniyle hala kullanılmaktadır (Gürsakal vd., 2014: 472). 1967 yılına gelindiğinde ise ağ teorisi için Mezo-Ağ dönemi olarak bilinen yeni bir dönem başlamıştır.

2.2. Mezo-Ağ Dönemi (1967-1998)

1967’de yapılan çarpıcı bir deney, ağ bilimini saf grafik teorisinden bilimsel sorgulamaya sevk etmiştir. Stanley Milgram’ın ünlü “*Altı Adımlık Ayrılma*” deneyi oldukça basit görünmektedir ancak geçmişe bakıldığında bir dönüm noktasıdır. Bu deney iki kişi arasındaki mesafenin rastgele seçilmesini önermiştir. Milgram’ın deneyinde Kansas ve Nebraska’daki gönüllü kişilerden Cambridge, Boston ve Massachusetts’te yaşayan yabancı bir hedefe mektup göndermeleri istenmiştir. Mektupların çoğu kaybolmuştur ancak sonunda hedef adreslerine ulaşan mektupların aracı zinciri boyunca atlama sayısı 2 ila 10 arasında değişmektedir ve ortalama 5.2’ dir. Milgram, sosyal dünyanın gerçek dünyadan çok daha küçük olduğu sonucuna varmıştır çünkü nerede yaşadıklarına bakılmaksızın bir çift yabancıyı bağlamak sadece 6 atlama sürmüştür. Milgram buna küçük dünya sorunu adını vermiştir (Lewis, 2011: 4).

Küçük dünya fikri, sosyal ağların toplumu birbirine bağlayan hem güçlü (doğrudan) hem de zayıf bağlar (uzun mesafeli bağlantılar) içerdiğini öne süren Granovetter’in (1973) “*Zayıf Bağlar*” teorisiyle ilgilidir. İşçilerin yakın arkadaşları veya yakınları (güçlü bağlar) yerine tanıdıkları (zayıf bağlar) vasıtasıyla sık sık iş bulmalarına dayanan Granovetter’in teorisi, zayıf bağların iş gücü piyasası sonuçlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir

(Montgomery, 1992: 586). Tanıdıklar olarak adlandırılan zayıf bağlar dış dünyaya açılan köprülerdir (Barabási, 2016: 60). Tanışmaların farklı sosyal çevrelere taşınması yakın arkadaşlıklarla daha olası olduğundan kişinin başka türlü ulaşamayacağı bilgilere erişme olasılığı daha yüksektir. Pool ve Kochen, 1978 yılında küçük dünya ağlarının bilinen en eski teorik analizini gerçekleştirmişlerdir (Liu ve Duff, 1972: 362).

Bu arada Bass (1969) ve Fisher-Pry (1971), bulaşıcı bir hastalığın yayılması şeklinde tanımlanan yeni bir ürünün benimsenme şeklini modellemişlerdir. Bu çalışma Kermack-McKendrick salgın modelini yeni pazarlama alanlarına genişletip, ağ tabanlı ürün yayılım modellerinin temelini oluşturmuştur. Bu modellerin pazarlama için güçlü araçlar olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca teknolojik yayılımın (yeni ürünlerin benimsenmesi) tek bir ürün ve rastgele ağ için Bass ve Fisher-Pry denklemlerine uyduğu da gösterilmiştir (Lewis, 2011: 13).

1972 yılında Bonacich sosyal ağdaki bir etkinliğin, ağın bağlantı matrisi kullanılarak matematiksel olarak temsil edilebileceğini fark eden ilk sosyal bilimciydi. Grafik teorisi temelde bir problemin kenar ve düğümler ile modellenmesi ve bu modelin grafik şeklinde gösterilmesi ilkesine dayanmaktadır. Grafik teorisinde tanımlı olan bazı özellikler bu modelin çözümüne ve dolayısıyla gerçek bir problemin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır (Seker, 2015: 17).

1984 yılında Kuramoto birleştirilmiş doğrusal sistemlerde senkronizasyonu incelemek amacıyla matematiksel bir temel geliştirmiştir. Çalışması on yıl sonra Strogatz'ı etkilemiştir ve ağ bilimi ile kontrol teorisi arasındaki yakınlaşma üzerinde büyük bir etki sağlamıştır. Örneğin Kuramoto'nun çalışmaları Strogatz'ın küçük dünya ağlarında otomatik senkronizasyonu gözlemlemesine neden olmuştur (Lewis, 2011: 14).

1985 yılında Bollobas "Rastgele Grafikler" ile ilgili bir kitap yayımlamıştır. Rastgele grafikler basitçe bir olasılık dağılımı veya bunları üreten rastgele işlemle tanımlanmaktadır (Newman vd., 2002: 2566). 1988 yılında Waxman rastgele ağları algoritmik olarak oluşturmak için en yaygın kullanılan modellerden birini geliştirerek, internetin statik bir grafik teorisi modelini önermiştir. Bu modelde ağdaki düğümler iki boyutlu bir ızgarada rastgele noktalara yerleştirilir. Bağlantılar olası tüm düğüm çiftleri göz önünde bulundurularak, iki düğümün ne kadar uzak olduğunu ve tüm ağda kaç bağın olması beklendiğini içeren bir olasılık işlevine göre, bir bağlantının var olup olmayacağına karar verilerek eklenmektedir. Bu yaklaşımın asıl amacı *Minimum Steiner Tree* algoritmalarını karşılaştırmak için ağlar oluşturmaktır. Ancak tipik bir internet modeli oluşturmak için kullanıldığında bazı ciddi dezavantajları görülmüştür (Calvert vd., 1997: 160-161).

Milgram'ın deneyi, John Guare'in (1990) "Six Degrees Separation: A Play" adlı bir Broadway oyununa ve filmine ilham vermiştir. Altı adımlık ayrılma teorisi, bu dünyada rastgele seçilen herhangi iki kişinin diğer kişilere altı taneden fazla olmayan bir zincirle yani "Altı Adımlık Ayrılma" ile bağlı olduğu varoluşsal önermeyi belirtmektedir. Teori giderek daha fazla insan tarafından yaygın olarak kabul edildiğinden, aynı zamanda çevrimiçi Sosyal Ağ Hizmetlerinin (SNS) motivasyonu olarak kabul edilmektedir. Birçok Web 2.0 web sitesi, kullanıcıların sosyal sermayelerini büyük ölçüde artıracığı fikrine dayanmaktadır çünkü bu gezegendeki neredeyse herkesi altı adımda tanıyabileceklerdir (Zhang ve Tu, 2009: 1). Virginia Üniversitesi'nden Brett Tjaden tarafından yaratılan "Kevin Bacon Oyunu" buna bir örnektir. Bu ağ, aynı filmde yer alan aktörleri birbirine bağlamaktadır. Kevin Bacon ve diğer aktörler arasındaki mesafe, Kevin Bacon'u temsil eden düğümden başka bir aktörü temsil eden herhangi bir düğüme atlama sayısına eşittir (Lewis, 2011: 12).

1995 yılında Molloy ve Reed homojen olarak örneklenmiş rastgele bir grafik üretmek için basit ve doğrudan bir yöntem geliştirmişlerdir. Molloy – Reed süreci, g derece tarafından belirtilen derece sırasına sahip bir ağ oluşturur. Molloy-Reed algoritmasının büyük bir zayıflığı vardır. Buda her seferinde istenen topolojiyi garanti etmemesidir (Kim vd., 2009: 3).

1996 yılında Kretschmar ve Morris yaptıkları çalışmalarında, bulaşıcı bir hastalığın dinamik işbirliği ağına yayılmasını incelemiştir. Model duyarlı ve enfekte bireylerin ortaklıkları içinde hastalıkların bulaşma sürecine dayanmaktadır. Monte Carlo simülasyonunu kullanılarak, salgının yayılması, bireylerin aynı anda çok sayıda ortağı olabileceği durumlara kadar değişen temas modelleri için karşılaştırılır. Kişi başına sabit ortalama ortak sayısı için, bu ortaklıkların nüfus üzerindeki dağılımının salgının başlangıç aşamasındaki ve dolayısıyla belirli bir süre sonra enfekte olan bireylerin sayısı üzerinde büyük bir etkisi olduğu bulunmuştur (Kretschmar ve Morris, 1996: 165).

Holland (1998) “*çok azdan gelir*” kavramını ileri sürmüştür. Bir ağ geliştiğinde tam olarak bu durum gerçekleşir. Ağda makro düzey değişikliği gerçekleşinceye kadar bir dizi mikro seviye değişikliği zamanla birikir. Büyük bir değişikliğin gerçekleşmesi, yerel düzeydeki birçok küçük değişiklikten kaynaklanmaktadır. Bu durum ağ biliminin modern yorumunun ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamaktadır. Başka bir deyişle alanı tanımlayan bir bulmacayı tamamlamaktadır (Lewis, 2011: 15).

Milgram, sosyal dünyanın “gerçek dünyadan” çok daha küçük olduğu sonucuna varmıştır. Çünkü nerede yaşadıklarına bakılmaksızın bir çift yabancıyı bağlamak sadece altı adım sürmüştür. Milgram bu duruma küçük dünya problemi adını vermiştir. Yıllar sonra Watts ve Strogatz küçük dünya ağlarına olan ilgiyi tekrar canlandırarak fizikçiler ve biyologlara tanıtmıştır. Watts ve Strogatz (1998) rassal olarak yeniden bağlama yöntemini ileri sürmüştür. Burada, yöntem öncelikle k sayıda bağlantıya sahip n düğümlü bir düzenli örgü ile başlar. Daha sonra düzenli örgüdeki bir bağ bir başka düğüme rassal olarak yeniden bağlanır. Bu süreçte önce küçük dünya ağı elde edilir ve süreç devam ettirildiğinde düzensiz bir yapıyı ifade eden rassal bir örgü elde edilir (Gürsakar vd., 2014: 473). Küçük dünya ağı, basit bir üretim kuralı ile ağların karmaşıklığını göstermek için önemli bir ağ modelidir. Derece dağılımı homojen olmasına rağmen bu ağ modelinin heterojen bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir (Xia vd.,2010: 1282).

Günümüzde Watts-Strogatz modelinin Erdős-Renyi bakış açısıyla bağdaştığı görülmektedir. Bu model düzenli kafes biçiminden yola çıkıldığı varsayılarak kümelerin varlığına olanak tanımaktadır. Fakat birçok bakımdan temel felsefesi, Erdős -Renyi görüşüne dayanmaktadır. Aslında düğümler tamamen gelişigüzel bir şekilde birbirlerine bağlanmaktadır. Dolayısıyla her iki model de bağlantılara gelişigüzelliğin yön verdiği, son derece eşitlikçi bir toplumu resmetmektedir (Barabási, 2016: 72).

1998'e gelindiğinde, ağ biliminin temelleri oluşturulmuştu ancak temellerin gerçek dünya sistemlerine uygulanmasına duyulan ilgi henüz ortaya çıkmamıştı. 1990'ların başında başlayan İnternet'in hızlı yükselişi, insanın yarattığı ancak oldukça merkezi olmayan İnternet olgusunu resmileştirmek isteyen yeni nesil araştırmacılara bir teşvik sağlamıştır. Bu tür ağlara Web grafikleri denilmiştir. World Wide Web'i (WWW) anlamak için grafik teorisi kullanılmıştır. Araştırmacıların grafik teorisi ile internet ve WWW' nin dinamik büyümesi arasındaki bağlantıyı kurması on yıl daha almıştır (Lewis, 2011: 14).

2.3. Modern Dönem (1998 – Günümüz)

Ağ bilimi, bu dönemde kendi bilimsel disiplini olma yolundaki üçüncü ve mevcut adımını atmıştır. Barabási ve öğrencileri birçok sentetik ve doğal ağın, derece dizisi dağılımının bir kuvvet yasası izlediğini buldular. Barabási ve Albert, hub' larla rastgele olmayan ağlar konseptini genelleştirip ölçeksiz ağlar üretmek için üretken bir yöntem geliştirmişlerdir. Barabási-Albert (1999)' in geliştirdiği ölçeksiz ağ modeli (BA modeli), ölçekten bağımsız ağların ortaya çıkma nedenini kendi kendini organize etme kavramı ile açıklamaktadır. Bu ağlarda bağlantılar birbirinden bağımsız olarak p olasılığı ile değil, daha çok bağlantıya sahip merkez düğümlere tercihli olarak bağlantı yapılması ile oluşur (Gürsakal, 2009: 148).

Büyüme yasası, ağların her seferinde yeni bir düğümün katılmasıyla kurulduğunu ifade eder. Tercihli bağlantı yasası ise, büyüme ile her seferinde ağa katılan yeni bir düğümün bağlanacağı düğüme karar vermesi durumunu ifade eder. Her yeni düğüm, daha fazla bağa sahip düğümü tercih ederek ağa katılır. Her yeni düğümün daha fazla bağa sahip düğümü tercih etmesi ile ağın ilk düğümleri çok yüksek sayıda bağ sahibi olur. Böylece tercihli bağlanma, zengin daha zenginleşir olgusunu harekete geçirir. Bu da ilk düğümlerin daha sonra gelenler aleyhine yüksek sayıda bağa sahip olmasına neden olur. Büyüme ve tercihli bağlantı mekanizması sayesinde yüksek düzeyde bağa sahip az sayıda merkez belirir. Böylece kuvvet yasası ortaya çıkar (Barabási, 2003: 87).

Küçük dünya ve ölçeksiz ağların öneminin farkına varılması 1999'dan 2002'ye kadar matematikçiler, fizikçiler ve sosyal bilimciler arasında araştırma çılgınlığına yol açmıştır. Dorogovtsev, Mendes, Samukhim, Krapivsky ve Redner, tamamen ölçeksiz bir ağın kuvvet yasasına dair bir formülünü elde edip birçok biyolojik sistemi tanımladığını gösterdiler. Kleinberg, Kumar, Raghavan, Rajagopalan ve Tomkins, WWW' nin ağ modellerini tanımlamak için Web grafik terimini önerdiler. Broder, Kumar, Maghoul, Raghavan, Rajagopalan, Stata, Tomkins ve Wiener, WWW' yi bir web grafik olarak haritalayan ve yapısını ilk keşfeden kişilerdir. Bu keşifler rastgele gerçekleşmemiştir. Kleinberg'in araştırması Milgram'ın deneyi olan kaynak ve hedef düğümler arasındaki “Manhattan mesafesi” ne dayanmaktadır. Manhattan mesafesi, Manhattan ve New York'taki sokaklar boyunca kaynak ve hedef kavşakları arasında geçen blok sayısı olarak tanımlanır. Kleinberg böyle küçük dünyada gezinmek için yalnızca $O(n)$ adımlarının atıldığını göstermiştir (Lewis, 2012: 16).

Albert vd. (2000), ölçeksiz ağların rastgele saldırılara karşı son derece dirençli olduğunu ancak hub'lara yapılan sistematik saldırılara karşı hassas olduklarını gözlemledi. Rastgele bir saldırı büyük olasılıkla sadece birkaç bağlantı ile bir düğüme çarpar ve onu yok etmektedir. Çünkü ölçeksiz bir ağın bu tür birçok düğümü vardır. Hub'lar nadir oldukları için saldırı olasılığı düşüktür. Ancak bir hub'ın çok sayıda bağlantısı olduğundan yok olması durumu ağın büyük bir kısmına zarar vermektedir (Albert vd., 2000: 378).

2002 yılında Kleinfeld, Milgram deneylerinin iyi kurulmadığını ve küçük dünya sosyal ağının “kentsel bir efsane” olduğunu ileri sürmüştür. İnsanların “altı adımlık ayrılma” ile bağlandığı “küçük bir dünyada” yaşadığı fikri kentsel bir efsanenin akademik karşılığı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yale arşivlerindeki küçük dünya sorunu üzerine yapılan araştırmaların tekrar gözden geçirilmesiyle elde edilen yeni kanıtlar, geniş çapta kabul gören bu fikrin yetersiz ampirik kanıtlara dayandığını ortaya koymaktadır (Kleinfeld, 2002: 61).

Kleinfeld diğer araştırmacılara neden bu yaygın efsaneye inandıklarını sorduğunda birçok insan onlara “güven duygusu” verdiği için inandıklarını belirtmiştir. İnsanlar genel olarak gerçek ve anlamlı bir şekilde bağlantılı olduklarına inanmak istemektedir. Bu teoriye tüm kanıtsal olasılıklara rağmen inanmanın arkasındaki temel neden muhtemelen ilişkisel bir teori olmasıdır.

Milgram’ın deneyi ile teşvik edilen yayınlar 1978’den sonra hızlı bir azalış göstermiştir (Hoelscher, 2019: 1-2).

Pastorve-Satorras (2001) yaptıkları çalışmalarında, ölçeksiz bir ağ oluşturan popülasyonların bulaşıcı bir hastalığın tekrarlanmasını önleyen minimum salgın eşiğine sahip olmadığını gözlemlemiştir (Pastor-Satorras, 2001).

Atay (2006) yaptığı çalışmasında derece sırası dağılımı olan ağlarda senkronizasyonu araştırmıştır. Atay düğümlerin durumunu hesaplamak için yerel bir ortalama algoritması kullanarak bir tür dinamik ağ elde etmiştir. Belli koşulları sağlayan herhangi bir derece dizisi için, Laplace grafiğinin ilk önemsiz öz değerinin keyfi olarak sıfıra yakın ve bu derece dizisine sahip bağlı bir grafik olduğu kanıtlanmıştır (Atay vd., 2006: 92).

Gabbay (2007), sosyal ağlarda bir bireyin fikrinin gelişmesi altında yatan fikir dinamikleri modelini araştırmıştır. Bu çalışmada fikir birliğine varmaya çalışan bir grup insan göz önünde bulundurulmuştur. Grubun her üyesi bir başlangıç pozisyonuyla başlamaktadır ve en yakın komşularına pozitif veya negatif bir etki uygulayarak komşusunun pozisyonunu etkilemeye çalışmıştır. Araştırma sorusu ise ağın hangi koşullar altında uzlaşmaya ulaşacağıdır. Ağın en büyük durum matris öz değeri bir ile sınırlandığında ve ağda herhangi bir çelişki olmadığında fikir birliğine ulaşıldığı görülmüştür (Gabbay, 2007: 118).

Leskovec ve Horvitz (2008), veri kümesi 240 milyon kişiden oluşan 30 milyar sohbetin özet özelliklerini incelemişlerdir. Verilerden 180 milyon düğüm ve 1.3 milyar yönlendirilmemiş kenar elde edilip bir iletişim grafiği inşa edilmiştir. Bugüne kadar inşa ve analiz edilen en büyük sosyal ağ oluşturulmuştur. Veri kümesinin ve sentezlenmiş grafiğin birçok yönü incelenmiştir. Gezegenel ölçekte insanların “*altı adımlık ayrılma*” ile ayrıldığı ve Messenger kullanıcıları arasındaki ortalama yol uzunluğunun 6.6 olduğu görülmüştür (Leskovec ve Horvitz, 2008: 915).

Karsai vd. (2011), iletişim ağları içerisindeki kısa yolların küçük dünya özelliği taşıırken, içlerindeki yayılma dinamiklerinin oldukça yavaş ortaya çıktığını göstermişlerdir. Burada bilgi yayılımının zaman evrimi, iletişim dizileri ve duyarlı virüs bulaşmış model üzerindeki ampirik veriler kullanılarak iletişim ağları aracılığıyla takip edilmiştir (Karsai vd., 2011: 1).

Çelik (2019), çalışmasında dünyadaki çatışmaları ağ analizi yöntemi ile araştırmıştır. Çalışmada 1979-2018 yılları arasında GDELT veri setinden elde edilen çatışma verileri R yazılımının “igraph” paketi kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda dünyadaki çatışmalarda en büyük iki aktörün sırasıyla ABD ve Rusya’nın olduğu sonucuna varılmıştır.

Wu vd. (2019), 1997-2016 yılları arasında Web of Science veri tabanlarında indekslenen ergen miyoplüğün önlenmesi ve kontrolü alanında yayınlanmış tüm makaleleri (610) analiz etmiştir. Ortak yazarlık ağları Ucinet ve VOS görüntüleyici kullanılarak çizilmiştir. Aktif yazarlar derece, yakınlık, arasındalık merkezilikleri, yoğunluk ve çap dahil olmak üzere çeşitli ölçümler ile değerlendirilmiştir. En üretken ülkelerin Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya olduğu görülmüştür.

Demirgil ve Çelikkaya (2019), 1975-2017 yılları arasında atıf indekslerinde (SCI, SSCI ve AHCI) Bölgesel Kalkınma konusunda, Türkiye adresli yapılmış 158 yayını değerlendirmiştir. Çalışmada ağ yapı haritaları ve merkezilik değerleri CiteSpace ve UCINET programları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, atıf indekslerinde yayınlanmış bölgesel kalkınma çalışmalarının hızının 2010 yılından sonra arttığı yönündedir.

Kong vd. (2019), akademik sosyal ağların arka planını, mevcut durumunu ve eğilimlerini incelemişlerdir. Öncelikle akademik sosyal ağlar kavramı ve ilgili araştırma geçmişi detaylandırılmıştır. Daha sonrasında modeller düğümlerin türlerine ve zamanlarına göre analiz edilmiştir. Üçüncü olarak ise ilgili metrikler, ağ özellikleri ve mevcut akademik analiz araçları dahil olmak üzere analitik yöntemler gözden geçirilmiştir.

Öztemiz ve Karcı (2020), çalışmasında veri madenciliği ve ağ yöntemlerini kullanılarak yazarların yayınlarında belirtmiş oldukları anahtar kelimelere göre ilgili yazarlar arasındaki çalışma alanı benzerliklerini tespit etmişlerdir. Veri seti olarak IDAP 2018 sempozyumunun yayın verileri kullanılmıştır. 536 yazar ve 1188 anahtar kelimedenden oluşan veri setine Jaccard, Euclidean, Cosine benzerlik yöntemleri uygulanmıştır ve çalışmalarına göre yazarların yayınları arasındaki benzerlikler analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Yazarların sonraki yayınlarında birbirleri ile çalışma yapabilmeleri açısından yönlendirici sonuçlar elde edilmiştir.

Cinelli vd. (2020), çalışmasında COVID-19 ile ilgili sosyal medya içeriklerini ve etkileşimlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, COVID-19 ile ilgili anahtar kelimeleri kullanarak Twitter, Instagram, YouTube, Reddit ve Gab'dan alınan 8 milyon yorum ve gönderiyi analiz etmiştir. Yorumlar ve tepkiler analiz edilerek COVID-19'a olan ilgi ölçülmüş olup, SIR modeli kullanılarak her bir sosyal medya platformundaki söylemin evrimi karşılaştırılmıştır.

Velásquez vd. (2020), yanlış bilgilerin yayılmasının yanı sıra nefret dolu ve kötü niyetli COVID-19 içeriklerinin yayılması bağlamında Ekim 2019'dan Mart 2020'ye kadar Twitter verilerini analiz etmiştir. Araştırmacılar bu ağdan alınan içeriği, aynı ağ içerisinde COVID-19'un olmadığı bir dönemden alınan içerikle karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda bu sosyal medya platformlarının, komplo teorileri ve Çinlilere karşı nefret söylemi de dahil olmak üzere rahatsız edici ve zararlı bilgileri yaymak için kullanıldığı sonucuna varılmıştır.

Xue vd. (2020), finansal performans araştırmasının teorik gelişimini, ampirik incelemelerini ve artan eğilimini incelemek için, 2005'ten 2019'a kadar Web of Science, ACM ve Scopus veritabanlarından alınan 875 dergi makalesine dayanan finansal performans literatürünü gözden geçirmiştir. Görselleştirme, sosyal ağ analizi ve istatistiksel analizler için Cite Space ve Ucinet yazılımları kullanılmıştır. Bulgular, bibliyometrik yöntemler ve sistematik incelemenin birleşimi yoluyla, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar için kurumsal finansal performansın gelişiminin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Balcıoğlu (2021), çalışmasında TR33 Bölgesinde (Afyonkarahisar, Kütahya, Manisa ve Uşak) sosyal kalkınma projeleriyle kurulan kurumlar arası işbirliği ağını incelemiştir. Çalışma 2010-2018 yılları arasında Zafer Kalkınma Ajansından elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleşmiştir. Sosyal ağ analizi için NodeXL Pro programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, iller arasında işbirliğinin olmadığı, il içinde kurulan ağda ise mahalli idarelerin ve diğer kamu sektörü kuruluşlarının baskın olduğu görülmüştür. Ağın yoğunluğu çok düşüktür ve az sayıda kurumun merkeziliği yüksektir.

Shen vd. (2021), çalışmasında sosyal ağ teorisi ve analiz yönteminin halk sağlığına uygulanmasındaki tarihi gelişimini ve en son konuların kapsamlı bir nicel incelemesini sunmaktadır. Araştırmanın örneklemini 1991'den 2020'ye kadar, Web of Science veritabanında sosyal ağ teorisi ve analizinin halk sağlığına uygulanması hakkında yayınlanan 1607 makale oluşturmaktadır. Zaman eğilimlerini, mekansal dağılımı, işbirliği ağlarını, etkili referansları ve birlikte anahtar kelime oluşumunu, kümeleri analiz etmek için yayın miktarı ve içeriğin bibliyometrik ve görsel analizi yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin başı çektiği halk sağlığı alanında sosyal ağ teorisi ve analizinin kullanımında artan bir eğilim tespit edilmiştir. Sosyal ağların COVID-19 gibi ciddi bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkışını izlemenin

yanı sıra kronik hastalıkları önleme ve kontrol etme ve sağlık davranışlarına müdahale etmedeki önemli rolüne daha fazla dikkat edilmelidir.

3. Ağ Teorisinde Temel Kavramlar

Çalışmanın bu kısmında ağları tanımlamak için gereken temel kavramlar ve gösterimler ele alınmaktadır. Ağ bilimiyle ilgili her alanın kendine ait adlandırması vardır. Bu tanımlar aşağıda kısaca incelenmektedir.

3.1. Grafikler ve Alt Grafikler

Grafikler matematiksel olarak $G=(V,E)$ ile ifade edilmektedir. Her grafik ağırlıklı olarak görülebilmektedir. $G = (V, E)$ grafiği göz önüne alındığında, tepe ağırlığı $\hat{w}: V \rightarrow R$ ve kenar ağırlığı $w: E \rightarrow R$ bir fonksiyondur. Notasyonu basitleştirmek amacıyla hem tepe hem de kenar ağırlıklandırma için w kullanılabilir. Bir köşenin ağırlığı, $w(v_i)$ veya w_i ile gösterilir, iki köşeye gelen bir kenarın ağırlığı $w(v_i, v_j)$ veya w_{ij} ile sembolendirilir. Eğer $w_i = 1, \forall v_i \in V$ ve $w_{ij} = 1, \forall e_{ij} \in E$ ise, grafiğin ağırlıksız olduğu söylenilebilir. Aksi belirtilmedikçe tüm düğüm ve kenar ağırlıkları birliğe eşittir. Yani $W_{ij} = 0$ değeri $e_{ij} \notin E$ değerine eşdeğer kabul edilmektedir. Sıfır kenar ağırlığı kenarın, kenar kümesinin bir üyesi olmadığı anlamına gelmektedir (Lézoray ve Grady, 2012: 2).

$G = (V, E)$ grafiğinde, V' deki tüm düğümler V ye ve E' deki tüm kenarlar E ye aitse yani $E' \subseteq E$ ve $V' \subseteq V$ ise $G = (V', E')$ grafiği $G = (V, E)$ grafiğinin bir alt grafiğidir (Börner vd. 2007: 542).

3.2. Ağırlıklı ve Ağırlıksız Grafikler

Gerçek dünya yapıları çoğunlukla ağırlıklı grafiklerle tanımlanmaktadır. Kenar ağırlıkları negatif olmayan gerçek sayılardır. Köşeler arasındaki bağlantının gücünü gösterir ve sıfır ağırlık hiç bağlantı olmadığı anlamına gelir (Schneider ve Huber, 2008: 131).

Ağırlıksız ağlar için ise i düğümünün bağlantısı olan k_i diğer düğümlerle olan doğrudan bağlantılarının sayısına eşittir. Komşuluk matris açısından bu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

i düğümü bağlantısını genel ağırlıklı bir ağda tanımlamak için yukarıdaki eşitlik kullanılmaktadır. Bu durumda k_i negatif olmayan bir gerçek sayıdır (Zhang ve Horvath, 2005: 11).

3.3. Yönsüz ve Yönlü Ağlar

Ağ grafikleri yönsüz veya yönlü olabilmektedir. Yönsüz grafikler, bir ilişkinin varlık/yokluk durumunu göstermektedir. Yönsüz ilişkilerde, bağ düz çizgi ile gösterilmektedir. Yönsüz ilişkilerde derece sayısı, toplam çizgi sayısının iki katıdır. Bir noktanın doğrudan bağlandığı komşu sayısı o noktanın derecesidir. Çünkü her bir çizgi iki kez sayılmaktadır (Scott, 2000: 67).

Yönlü grafiklerde ilişkinin doğrultusu gösterilmektedir. Yönlü bir ağ veya yönlü grafik ise her kenarın bir tepe noktasından diğerine işaret edecek şekilde yöne sahip olduğu ağıdır. Bu kenarlara yönlendirilmiş kenarlar denir ve üzerinde ok bulunan çizgilerle temsil edilmektedir (Newman, 2010: 114).

3.4. Ağaçlar, Yollar, Döngüler, Düğümler ve Kenarlar

Ağaç grafiği, her bir kenarın bir üst ögesinin bulunduğu hiyerarşik bir grafikdir. Tüm yapının ortaya çıktığı bir üst düğüm varsa köklü ağaç olarak bilinir (Börner vd., 2007: 542).

Bir grafikteki iki oyuncu arasındaki en genel bağlantı şekline yürüyüş denir. Yürüyüş bir dizi aktör veya aktörlerle başlayan ve biten bir ilişkidir. Kapalı bir yürüyüş, yürüyüşün başlangıç ve bitiş noktalarının aynı aktör olduğu yerdur. Yürüyüşler sınırsızdır. Bir yürüyüş aynı aktörü veya aynı ilişkiyi birden çok kez içerebilir (Hanneman ve Riddle, 2005: 103). Bir yolun uzunluğu, yolun başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki bağlantı sayısına eşittir. Yol uzunluğu, yol boyunca bağlantı sayısı şeklinde ölçülmektedir. Bir yol boyunca iki düğüm arasındaki mesafe onları ayıran sıçrama sayısına eşittir (Lewis, 2011: 28-29).

Döngü oyuncuların bitişik noktalarını inceleyen, algoritmalarda sıkça kullanılan özel olarak kısıtlanmış bir yürüyüşdür. Bir döngü, yürüyüşün tümü farklı olan üç veya daha fazla oyuncunun kapalı şeklidir. Bu yürüyüşün uzunluğu basitçe içinde bulunan ilişkilerin sayısıdır (Hanneman ve Riddle, 2005: 103).

Düğümler, mevcut ağ içinde aktif olan, hareket eden ve ağın yapısını şekillendiren bileşenlerdir. Bağlar ise, düğümler arasındaki iletişimi ve ilişkiyi anlamlandıran yapılardır. Düğümler onları tanımlayan özelliklere sahiptir. Bunlar yaş, cinsiyet, sosyoekonomik durum veya örgütsel durum gibi tipik verilerdir. Bu veriler, ağ konumlarının veya sonuçlarının, ağ bağlantılarından bağımsız tuttukları aktörlerin özellikleriyle ilişkili olup olmadığını görmek için kullanılmaktadır. Böylece, ağ etkileri önceden var olan özellik etkilerinden ayrılmaktadır (Haythornthwaite, 2005: 5).

Temel olarak ağ analizinde aktörler arasında ilişkiler var (1) veya yok (0) şeklinde tanımlanmaktadır. İki düğüm arasında herhangi bir bağ mevcut olmayabilir. Bağlar, yönü belli olmayan tek yönlü (bir aktörden diğerine) veya yönlü iki aktör arasında olmaktadır (Scott, 2000: 105).

Kenarlar yönlü veya yönsüz olmaktadır. Yönlü kenarlar yay olarak da adlandırılır. Yönsüz kenarların çizimi için düz çizgi kullanılırken, yönlü kenarların çiziminde yönü gösterecek şekilde oklu çizgi kullanılmaktadır. Ayrıca yönsüz kenarlar simetrik bağ ve yönlü kenarlar ise asimetric bağ olarak da bilinmektedir. Grafikler, kenarların yönlü veya yönsüz olmasına bağlı olarak yönlü grafik ya da yönsüz grafik şeklinde ifade edilmektedir (Tunalı, 2016: 7). Yönlendirilmemiş bir sosyal ilişki (örneğin aile) bir kenarla temsil edilmektedir çünkü her iki birey de ilişkiye eşit olarak dâhil olmaktadır (De Nooy vd., 2018: 7).

3.5. Yoğunluk, Derece, Derece Dağılımı

Yoğunluk grafiğin genel bağlantı seviyesinin bir göstergesidir. Her düğüm doğrudan başka bir düğüme bağlı ise tam bir grafik vardır. Bir grafiğin yoğunluğu aynı sayıda düğüm içeren eksiksiz bir grafikteki köşe sayısına bölünen bağlantıların sayısı olarak tanımlanmaktadır (Otte ve Rousseau, 2002: 442).

Derece bir komşuluk matrisinin satır toplamları olarak da tanımlanmaktadır. Yönlendirilmemiş ağlarla komşuluk matrisi simetriktir ve sütun toplamları cinsinden dereceyi kolayca tanımlamak mümkündür. Yönlendirilmiş ağlar için ise komşuluk matrisi mutlak simetrik değildir. Satır ve sütun toplamları kolaylık sağlamak amacıyla farklı olabilmektedir (Borgatti vd., 2018: 175-176).

Derece dağılımı ağların en önemli istatistiksel özelliklerinden biridir. Derece dağılımı genellikle ağların topolojik yapısını belirgin bir şekilde tanımlar ve ağın evrim özelliklerini yansıtması nedeniyle önemlidir (Chang vd., 2007: 689). Derece dağılımı kavramını, her k değeri için k dereceli düğüm sayısı şeklinde genellemek mümkündür. Başka bir deyişle k 'nin her değeri için, k kenarlarına 'dokunan' düğüm sayısını vermektedir (Pržulj, 2007: 179).

3.6. *Ego Ağı ve Alter*

Üyeler birbirlerine sadece “ego” ile bağlantılıdır. Ego, ağda odaklanılan düğümün (bireyin) kendisidir. Ego ile bağlantılı bireylere alter denilmektedir. Ego ağı ise yakın komşuları ve bu düğümler arasındaki tüm bağlantılar ile birlikte tek bir düğümü (ego) içeren ağıdır. Bir bireyin ego ağı, yalnızca arkadaşlarını düğümler olarak içeren bir alt ağıdır. Sosyal çevre ise belirli bir şekilde benzer olanların bir alt kümesi olarak tanımlanabilir (Sabah ve Şimşek, 2018: 44).

3.7. *Otorite ve Hub*

Sosyal ağ içindeki düğümler “otorite” ve “hub” olarak ikiye ayrılmaktadır. Otorite ve hub’lar özünde sosyal ağlardaki düğümlerden başka bir şey değildir. Hub’lar en iyi otoritelerin nerede bulunacağını söyleyen düğümlerdir. Hub’lar ve otoriteler sadece yönlü ağlarda mevcuttur çünkü yönsüz ağlarda köşeye işaret etmek ile işaret edilmek arasında hiçbir fark bulunmamaktadır (Newman, 2010: 179). Giden bağlantıları çok olan düğümler hub, gelen bağlantıları çok olan düğümlere ise otoritedir. Bir ağıdaki hub’lar çok ise otoriteler de çoktur. Bazı düğümlerden giden çok sayıda yönlü doğru var ise, bu doğruların gelen doğru olduğu otoriteler de vardır (Sekharaiah vd., 2009: 1086).

3.8. *Kümelenme Katsayısı*

Watt ve Strogatz (1998) yönlendirilmemiş ağlar için, bir ağın yüksek ve düşük yoğunluktaki alanlara sahip olduğu alanları elde etmek amacıyla “kümelenme katsayısı” olarak adlandırdıkları bir ölçü önermişlerdir. Ölçülere her düğüm ego ağındaki bağların (yani belirli bir düğüme bağlı olan düğümler arasındaki bağlar) yoğunluğu ölçülerek başlanmıştır. Buna bireysel kümelenme katsayısı denilmektedir. Daha sonra toplam kümelenme katsayısını elde etmek için bu miktarı tüm düğümler arasında ortalamalandırmışlardır. Burada ağırlıklar her düğüm ego ağındaki düğüm çiftlerinin sayısıdır. Kümelenmeyi ölçmek amacıyla ağırlıkların ortalamalarını almak daha iyi sonuçlar vermiştir (Borgatti vd., 2018: 156).

3.9. *Komşuluk Matrisi*

Ağları matematiksel olarak kavramsallaştırmanın başka bir yolu da matrisleri kullanmaktır. Komşuluk matrisi satırların ve sütunların düğümleri temsil ettiği ve i ve j sütunundaki girişin i’ den j’ ye bir bağı temsil ettiği matristir. Örneğin bir grafiğin komşuluk matrisi olan A, eğer i’ den j’ ye bir bağ varsa $a_{ij} = 1$, aksi takdirde $a_{ij} = 0$ olan matris olarak tanımlanmaktadır. Yön önemlidir ve konvansiyonel olarak yönün satırdan sütunlara geçtiği unutulmamalıdır. Eğer grafiğin kenarları değerliyse, bu değerler komşuluk matrisindeki girişler olarak kullanılmaktadır. Sık sık tüm değerlerin pozitif olması durumunda sıfırın bağ olmadığı varsayılmaktadır (Borgatti vd., 2018: 18).

3.10. *Homofililik ve Heterofililik*

İnsan iletişiminin temel ilkesi, fikir alışverişinin sıklıkla benzer veya homofil bireyler arasında gerçekleştiğidir. Homofililik iletişim kuran bireylerin benzer olma derecesidir. Benzerlikler inanç, eğitim, sosyal statü ve benzeri özelliklerde olabilir. Gabriel De Tarde (1903) homofil davranışları “*Sosyal ilişkilerde, meslek ve eğitimde birbirine benzeyen bireyler, aralarında çok daha yakınlardır*” şeklinde özetlemiştir. Heterofilik ise etkileşimde bulunan birey çiftlerinin belirli özelliklerde farklı olma derecesidir. Heterofil homofilinin tam tersidir. Üst düzey yöneticiler arasında bilgisayar kullanımının yayılması üzerine yapılan bir araştırmada, yeniliklerin çoğunlukla kişilerarası ağlar aracılığıyla yayıldığı görülmüştür. Ancak heterofil iletişim, nadiren de olsa özel bir bilgi potansiyeline sahiptir. Heterofil ağ bağlantıları genellikle iki grubu birbirine bağlayarak sosyal olarak farklı insanları kapsar. Granovetter’in (1973) zayıf bağların gücü teorisinde belirttiği üzere bu heterofil kişiler arası bağlantılar, yenilikler hakkında bilgi taşımada oldukça önemlidir. Dolayısıyla, homofil iletişim sık ve kolay olabilir ancak yeniliklerin yaygınlaşmasında daha az sıklıkta görülen heterofil ağlar daha önemli

olabilmektedir. Homofilik yayılma sürecini hızlandırır ancak bir yeniliğin aynı ağa bağlı bireylere yayılmasını sınırlandırmaktadır (Rogers vd., 2003: 135-136).

Homofil ve heterofil difüzyon ağlarının bir başka örneği ise, iki Hint köyünü inceleyen Rao ve Singh' in (1980) yaptığı çalışmadır. Köylerden biri çok yenilikçi, diğer köy ise daha geleneksel normlara sahiptir. Yeni bir pirinç çeşidi için difüzyon ağlarına bakıldığında, geleneksel köyde daha homofili olduğu görülmüştür. Buradaki kanaat önderleri yaşlıydı ve çok az resmi eğitim almışlardı. Buna karşılık, yenilikçi köydeki kanaat önderleri daha genç, yüksek eğitilmiş ve yüksek bir sosyal kasta sahiptir. Dolayısıyla geleneksel köyde, difüzyon ağ bağlantıları oldukça homofiliydi. Ancak yenilikçi köyde, heterofil ağ bağlantıları sayesinde yayılma hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir (Appa ve Singh, 1980).

4. Başlıca Ağ Kuramları

Ağ bilimi ile ilgilenen araştırmacılar, ağların belirli kurallar dizini içerisinde işleyişlerini sürdürdüklerini savunmaktadırlar. Bu işleyiş kurallarını belirlemek ve neler olduğunu açıklamaya yönelik olarak teorik modeller 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 (Lewis, 2011).

Ağ araştırmalarının kendisinden doğan çeşitli kuramları bulunmaktadır. Tarihsel sürece bakıldığında bu kuramların uygulamalardan doğduğu ve çeşitli disiplinlerde kullanıldığı görülmektedir. Granovetter'in zayıf ve güçlü bağların gücü, Burt'ın yapısal boşlukları ağ kuramları arasında yer almaktadır. Bu kuramların en önemli ortak özelliği ise hepsinin saha uygulamalarından doğmasıdır. Karmaşık ağlar ise genellikle etkileşim veya ilişki örüntüleri sergileyen bireylerin grup yapılarını temsil etmek için kullanılmaktadır. Ağ bilimi teorik çerçevesinde ise üç model ileri sürülmüştür. Bunlar Erdős Rényi Modeli (ER Modeli), Küçük Dünya Ağları: Watts-Strogatz Modeli (WSN Modeli) ve Ölçekten Bağımsız Ağlar: Barabási-Albert Modeli (BA Modeli) şeklindedir. Aşağıda sırasıyla bu kuramlar incelenecektir.

4.1. Granovetter ve Zayıf Bağların Gücü

Muhtemelen günümüze kadar en çok atıfta bulunulan sosyal ağ analizi makalesi, Granovetter'in (1973) yılında Amerikan Sosyoloji Dergisi'nde yayınlanan "*Zayıf Bağların Gücü*" makalesidir. Granovetter'in doktora tezine dayanan bu çalışma, Massachusetts'teki insanların yeni iş fırsatları hakkında bilgi bulmak için kişisel ağlarını nasıl kullandıklarına dair toplanan verilere dayanmaktadır. Granovetter soruları yanıtlayan kişilerin ve bu kişilerin irtibat halinde oldukları kişilerin arasındaki ilişkinin doğası ve gücü ile ilgilenmiştir. Bağlantı gücü, katılımcıların irtibat halinde oldukları kişileri sık sık, ara sıra veya nadiren karşılaştıkları şeklinde derecelendirdiği bir temas sıklığı sorusu ile ölçülmüştür. Granovetter'in bulguları kişisel temaslar, zayıf bağların gücü ve katılımcıların yeni bir işe başlamadaki başarısı ile ilgili basit ama derin bir model ortaya koymuştur. Kişisel temaslar yoluyla yeni iş bulan katılımcıların yaklaşık yüzde 15'i düzenli olarak aynı kişileri gördüklerini, yüzde 55'i ise temaslarının nadiren gördükleri kişiler olduklarını söylemiştir. Granovetter bu bulgulardan yola çıkarak temas sıklığı ile ölçülen zayıf bağların, bireyler için yeni işler hakkında bilgi bulmada, güçlü bağlardan daha önemli bir kaynak olduğu sonucuna varmıştır. Bu sonuç doğrultusunda Granovetter, bu kadar sıkı bağlanmış arkadaş ve akraba gruplarına gömülmemiş bağlar aracılığıyla yeni bilgilerin bulunmasının daha olası olduğunu ortaya koymuştur (Prell, 2012: 76).

Tanışmaların diğer sosyal çevrelere taşınmasında uzak ilişkiler, yakın ilişkilerden daha etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle birinin başka türlü alamayacağı bilgilere uzak ilişki aracılığı ile erişme olasılığı daha yüksektir. Granovetter'in zayıf olan bağlarla iletilen bilgilerin eşit olduğu

ve güçlü bağlarla gönderilenden daha fazla sayıda insana ulaşacağı sonucuna ulaşmıştır (Liu ve Duff, 1972: 362).

Granovetter (1982), zayıf bağların gücü hipotezi üzerine on yıllık bir araştırmayı gözden geçirirken güçlü bağların önemli bir rol oynayabileceğini ve bu rolün de göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmiştir. Bir sonraki bölümde güçlü bağların önemine değinilmektedir.

4.2. Granovetter ve Güçlü Bağların Gücü

Granovetter zayıf bağlar sayesinde insanların kendi sosyal çevrelerinde, mevcut olanların ötesinde bilgi ve kaynaklara erişim sağladığını ancak güçlü bağların genellikle daha kolay ulaşılabilir olduğunu belirtmiştir (Granovetter, 1982: 113). Sonraki araştırmalar genellikle Granovetter'in (1982) teorisini desteklemiştir ancak araştırma akışında iki konu ihmal edilmiştir. Birincisi neyin güçlü bir bağ ve neyin zayıf bir bağ oluşturduğu konusunda önemli bir belirsizlik olduğudur. Granovetter (1973: 1361) güçlü bir bağın dört tanımlayıcı özelliğini şu şekilde sıralamıştır: Bağın gücü, bağı karakterize eden zaman miktarı, duygusal yoğunluk, yakınlık.

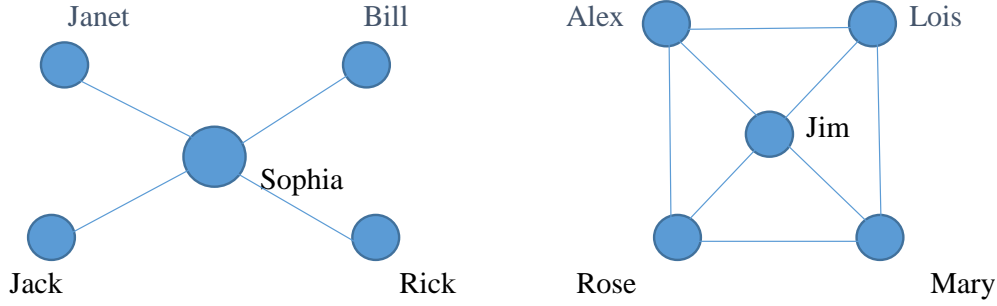
Güçlü bağlar duygusal, genellikle dostça ve karşılıklı iyilikler içerebilen sık temaslardır. Zayıf bağlar ise süresiz oldukları için duygusal içeriğe sahip olmayan nadir temaslardır. Güçlü ve zayıf bağlar üzerine yapılan araştırmalar her birine farklı işlevler yüklemiştir. İnsanlar siyasi mobilizasyon ve dayanışma için güçlü bağlar, yeni bilgilerin iletilmesi ve yeniliğin yayılması için ise zayıf bağlar kullanmaktadır (Nelson, 1989: 380).

Güçlü bağlar, belirsizlik karşısında direnci azaltabilecek ve rahatlık sağlayabilecek bir güven temeli oluşturur. Dolayısıyla değişimin zayıf bağlarla değil, belirli bir tür güçlü bağla kolaylaştırıldığı tartışılmaktadır (Cross vd., 2003: 83). Weinmann'ın (1980) çalışmasında, aktörlerin güçlü bağlara sahip olduğu durumlarda, inovasyon açısından güçlü bağların tercih edilebileceğini göstermiştir (Rost, 2011: 591). Granovetter'in çalışmaları yayınlandığı zamandan beri sosyal ağ alanında, özellikle Ron Burt'un yapısal boşluklar fikri olmak üzere bir dizi kavram ve teoriye ilham vermeye devam etmiştir (Burt, 1982). Bir sonraki bölümde Ron Burt'un yapısal boşluklar teorisi incelenmektedir.

4.3. Burt'ın Yapısal Boşlukları

Burt, zayıf bağların gücü (Granovetter, 1973), ağ merkeziliği kavramı (Freeman, 1978) ve özel değişim ortaklarına sahip olmanın gücü üzerine inşa ederek, belirli ağ yapılarının kişilere, diğerlerine kıyasla nasıl stratejik avantaj sağlayabileceğini ortaya koymak amacıyla yapısal boşluk kavramını geliştirmiştir. Burt, yapısal boşluklara “*Sosyal Yapıdaki Boş Alanlar*” adını vermiştir (Burt, 2005: 16).

Bu boş alanlar, aktörlerin aralarında bağ bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 1'deki grafikler sırasıyla Sophia ve Jim için iş konuları ağına ilişkin tavsiyeleri göstermektedir. Her iki ağ da aynı boyuttadır (dört), ancak yoğunlukları bakımından farklılık gösterirler. Sophia'nın ağındaki alterlerin hiçbiri bir ağı paylaşmaz, oysa Jim'in ağındakiler birbirlerine bağlantılıdır. Sophia, ego ağında dört yapısal delik açarken Jim herhangi bir yapısal delik oluşturmaz (Prell, 2012: 123).



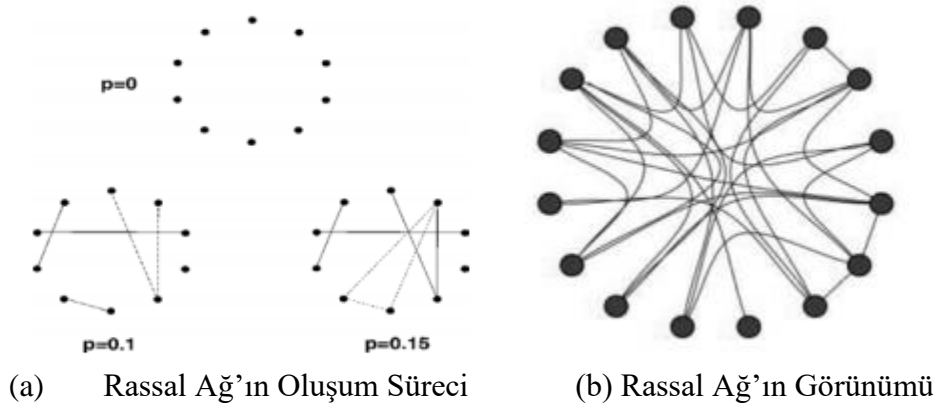
Şekil 1. İş Grafiği

Burt, Sophia'nın ağının Jim ağından daha fazla bilgi çeşitliliğine sahip olduğunu savunmaktadır. Bu sonuç aynı aktörlerin birçoğu birbiriyle bağlandığında bilginin gereksiz hale geldiği fikrine dayanmaktadır. Örneğin Mary, Lois, Alex ve Rose'un tavsiyelerde bulunmak için birbirlerine yönelmesi, aynı bilgi ve tavsiyelerin çoğunun bu dört kişi arasında dolaştığını göstermektedir. Alex'in her birine gitmesi, Alex'in muhtemelen aynı türden tavsiyeleri tekrar tekrar aldığını göstermektedir. Bunun aksine Sophia'nın temaslarının hiçbiri tavsiye için birbirlerine yönelmez. Çünkü birbiriyle temas halinde değillerdir. Her birinin Sophia'ya farklı bir görüş ya da tavsiyede bulunma olasılığı daha yüksektir.

Böylece Sophia, bağlantısız bireylerle bağlantı kurarken gereksiz bilgi parçalarına da bağlanır. Sophia'nın alterlerinin hiçbiri birbiriyle temas etmemektedir. Bu yüzden aynı bilgileri bilme olasılıkları çok daha azdır. Jim için bu durum tam tersidir çünkü tüm alterleri birbirine bağlıdır. Bu alterlerin aynı bilgileri tekrar tekrar geri dönüştürme olasılığı yüksektir. Dolayısıyla Jim, iş meselesi hakkında Sophia kadar fazla veya çeşitli tavsiyeler almamaktadır. Tavsiye kaynaklarının çeşitliliğindeki bu farklılık, Sophia'nın çalışmaları hakkında Jim'den daha iyi kararlar vermesini sağlayacaktır (Prell, 2012: 123).

4.4. Rassal Ağlar: Erdős Rényi Modeli (ER Modeli)

Karmaşık ağlar doğada ve toplumda var olan çeşitli sistemleri betimlemektedir. Bu sistemlerin rassal çizgeler ile modellenebileceği düşüncesi ile Erdős ve Rényi 1959 yılında klasik rassal çizge olarak adlandırılan rassal bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde rassal çizgeyi $\Gamma_{n, N}$ sembolü ile gösterilmiştir (Erdős ve Rényi, 1959: 290). Bu rassal çizgenin alt indisleri, çizgenin n adet düğüm ve N adet bağlantıdan meydana geldiğini göstermektedir. Erdős ve Rényi rassal çizgeyi $\frac{n(n-1)}{2}$ adet mümkün bağlantıdan rassal olarak seçilen N adet bağlantının, n adet düğümü birbirine bağlaması olarak tanımlamıştır (Tüzüntürk, 2012: 105). Aşağıdaki şekilde rassal ağların oluşum süreci ve görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2. Rassal Ağların Oluşum Süreci ve Görünümü

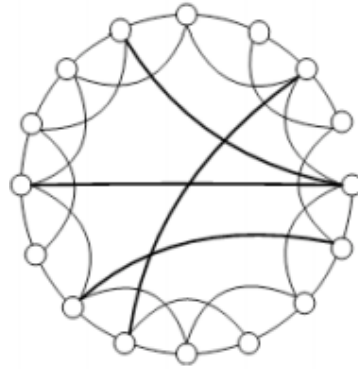
Bir rassal çizgenin elde edilmesi stokastik bir süreç olarak düşünülebilir (Erdős ve Rényi, 1961: 343). Erdős ve Rényi'ye göre her bir düğümün başka bir düğümle bağlantı kurması olasılığı eşittir ve bu bağlantılar rassal bir süreç içinde meydana gelir (Gürsakal, 2009: 132). Bu süreç n adet izole düğüm ile başlar ve rassal çizgeye rassal kenarların eklenmesi ile gelişir. Bu sürecin farklı evrelerinde daha büyük bağlanma olasılıklarına (p 'lere) denk gelene kadar birçok çizge elde edilebilir. Bu stokastik süreç aynı zamanda çizgenin gelişimi veya çizgenin tasarlanması olarak da adlandırılır. Sürecin sonunda ($p \rightarrow 1$) maksimum bağlantı sayısına $\frac{n(n-1)}{2}$ ulaşılır ve tam bağlantıya sahip bir tam çizge elde edilir (Albert ve Barabási, 2002: 55).

4.5. Küçük Dünya Ağları: Watts-Strogatz Modeli (SWN Modeli)

Küçük dünya ağları rastgele seçilen herhangi bir bireyin kısa ara tanıdık zincirleri aracılığıyla bağlandığı durumları ifade etmektedir. Watts ve Strogatz'ın (1998) küçük dünya ağı (SWN) modeli, Milgram'ın (1967) sosyal ağ yapısının çığır açan nicel çalışmalarından etkilenmiştir (Newman, 2003: 208). Milgram'ın deneyleri iki çarpıcı keşfe neden olmuştur. Bunlardan ilki kısa yolların varlığıdır. İkincisi ise, toplumdaki insanların yalnızca kendi kişisel tanıdıkları aracılığı ile deneydeki mektubu topluca çok hızlı bir şekilde hedefe iletebilmeleridir (Kleinberg, 2000: 1).

Watts ve Strogatz, çok az sayıda uzak bağlantının bile ağın çapının küçülmesini sağladığını görmüşlerdir. Böylelikle küçük dünya adını verdikleri bir dünya elde etmişlerdir. Üstelik ağın öbek özelliği de devam etmekteydi. İkisinin 1998'de Nature dergisinde yayınladıkları kısa makaleleri sosyal ağların matematiksel analizinde bir çığır açıp bu alandaki çalışmalara yeni bir soluk getirmiştir (Watts ve Strogatz, 1998). Küçük dünya kavramına özgü araştırmaların öncüleri olan Manfred Kochen ve Itzhak de Solo Pool bu kavramın ilk matematiksel incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Bu yazarlar, hem insanların sahip oldukları ortalama tanıdık sayısını hem de bir veya iki araçtan oluşan tanıdıklar zinciri ile bağlanmış bir toplumun rastgele seçilen iki üyesinin olasılığını tahmin ederek, problem üzerinde önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir. Bu yaklaşımlarını, popülasyonda var olan sosyal yapı ve tabakalaşma düzeyine ilişkin çeşitli varsayımlar altında geliştirmişlerdir (Watts, 2000: 12). Daha sonrasında Watts ve Strogatz'ın çalışmaları Barabási vd. (1999), Newman ve Watts (1999a), Albert ve Barabási (1999, 2002), Newman (2000) ve Huang vd. (2004) gibi pek çok kişinin küçük dünya ağları hakkında öneriler geliştirmesine yol açmıştır (Newman, 2000). Bu ağ modellerinin tümü ortak bir özelliği paylaşmaktadır. Modellerin tamamı, iki düğüm arasındaki mesafenin genişleyen sistem boyutuyla logaritmik olarak arttığını kabul etmektedir (Huang vd., 2004: 2).

Küçük dünya sorununu formüle etmenin en basit yolu birbirlerini tanıma olasılıklarını bulmaktır. Örneğin X ve Z bireyleri birbirlerini doğrudan tanımasa bile, ikisini birden tanıyan ortak bir tanıdıkları olabilir. O zaman X' in, Y' yi ve Y' nin ise Z' yi tanıyan bir tanıma zinciri gerçekleşir. Ayrıca X' in Z ile bir dizi bağlantıyla bağlandığı durumlar da gerçekleşebilir. Örneğin, X-a-b-c ...y-Z gibi (Milgram, 1967: 62). SWN, her bir düğümün z miktarda komşulara bağlandığı n boyutlu düzenli bir grafikte başlamaktadır. Genellikle $z \geq 2n$ ' dir (Wang ve Chen, 2003, Watts ve Strogatz, 1998). Her kenar rastgele p olasılıkla yeni bir düğüme yeniden bağlanır. Orijinal modelin bir varyasyonunda, Newman ve Watts (1999a) rastgele seçilen düğüm çiftleri arasında “kısayollar” olarak adlandırdıkları uzun menzilli bağlantıları eklemiştir. Bu varyasyon küçük dünya ve kümelenme özellikleri sergilediğinden insan sosyal ağlarına benzer olarak kabul edilmektedir (Huang vd., 2005: 2). Aşağıdaki şekilde küçük dünya ağları gösterilmiştir.



Şekil 3. Kompleks Ağlar: Küçük Dünya Ağları

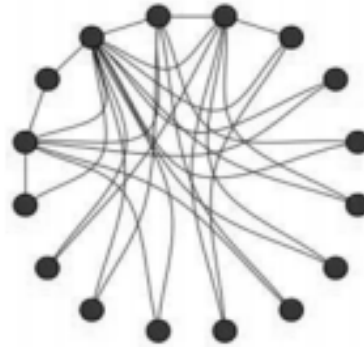
4.6. Ölçekten Bağımsız Ağlar: Barabási-Albert Modeli (BA Modeli)

Merton (1986), yaptığı çalışmalarda zaten ünlü ve çok alıntı yapılan kişilerin kolayca yeni alıntılar alabileceğini gözlemlemiştir. Bu nedenle bilimsel bir sosyal ağdaki link olan alıntılanma olasılığı, geçmişte alınan alıntılarla orantılıdır. Bu gözlem, Price'ın bilimsel alıntılarının çok eşitsiz bir dağılım izlediği gözlemi ile oldukça paraleldir. Birkaç yazar ve çalışma pek çok alıntı alırken çoğunluk hiç alıntı almamaktadır (Price, 1976). Seçimlerin sosyal ağlarda eşit olmayan dağılımı ağ analizinin kurucu babası olan Jacob L. Moreno tarafından önceden belirtilmişti. Moreno, okul sınıflarındaki arkadaşlık seçimlerinin eşit olmayan bir dağılım izlediğini tespit etmiştir. Bazı kişiler çok fazla seçilirken bazıları ise sadece çok seçici olmuşlardır (Moreno, 1934). Barabási ve Albert (1999) bu fikri, kuvvet yasası dereceli dağılımlara sahip rastgele ağlar oluşturmak için kullanmışlardır. Ağdaki yeni düğümlerin iyi bağlanmış düğümlerle "tercihli bağlanma" ile bağlantı kurma olasılığı daha yüksektir (Hennig vd., 2012: 40). Ölçekten bağımsız ağların ortaya çıkma nedenini kendi kendini organize etme kavramı ile açıklanmaktadır. Bu ağlarda bağlantılar, birbirinden bağımsız olarak p olasılığı ile değil de, daha çok bağlantıya sahip merkez düğümlere tercihli olarak bağlantı yapılması ile oluşur (Gürsahal, 2009: 148).

Ölçeksiz ağlar, kuvvet yasası derece dağılımıyla tanımlanmaktadır. Bir düğümün k bağlantısına sahip olma olasılığı $P(k) \sim k^{-\gamma}$ şeklindedir. Burada γ derece üssüdür. Bir düğümün yüksek bağlanma olasılığı rastgele bir grafikte olduğundan istatistiksel olarak daha önemlidir. Ağın özellikleri genellikle göbek olarak bilinen görece az sayıda yüksek bağlanmış düğüm tarafından belirlenmektedir. Ölçeksiz bir ağın Barabási-Albert modelinde, her zaman noktada ağa M bağlantıları olan bir düğüm eklenir. Burada mevcut olan bir düğüm $\pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j}$ olasılığıyla bağlanmaktadır. k_i , I ve J düğümlerinin derecesidir ve ağ düğümleri üzerindeki toplamı gösteren bir dizidir. Bu büyüme süreci tarafından oluşturulan ağ, $\gamma = 3$ derece üssü ile karakterize edilen bir güç yasası derece dağılımına sahiptir. Bu tür dağılımlar bir log-log plot üzerinde düz bir çizgi olarak görülmektedir. Barabási-Albert modelinin yarattığı ağ, içsel bir modülerliğe sahip değildir. Bu nedenle $C(k)$ k' dan bağımsızdır. Böylece tercihli bağlanma, zengin daha zenginleşir olgusunu harekete geçirir, bu da ilk düğümlerin daha sonra gelenler aleyhine yüksek sayıda bağa sahip olmasına neden olur. Büyüme ve tercihli bağlantı mekanizması sayesinde yüksek düzeyde bağa sahip az sayıda merkez belirir. Böylece kuvvet yasası ortaya çıkar (Barabási, 2003: 87). Aşağıdaki şekilde ölçekten bağımsız ağın oluşum süreci ve görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4. Ölçekten Bağımsız Ağ'ın Oluşum Süreci



Şekil 5. Ölçekten Bağımsız Ağ'ın Görünümü

Kaynak: Gürsakal, N., Tüzüntürk, S. ve Sert, F. (2014).

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu makalede öncelikle ağ teorisinin teorik ve kavramsal çerçevesine yer verilmiştir. Bu bağlamda günümüzde büyük ölçekli ağları anlayabilmek için ağ bilimine disiplinler arası bir yaklaşım gerekmektedir. 20. yüzyıldan önce sosyal ağların yalnızca ya kısa bir mesafeden seyahat ederken ya da değiş tokuş yaparken gerçekleştiği kabul edilmekteydi. 1950'lerden bu yana telefonlar veya görüntülü konferanslar uzun mesafelerde dahi gerçek zamanlı iletişime olanak sağlamaktadır. Bu iki yönlü iletişim kanalları, insanları veya küçük grupları birbirine bağlamaktadır. Günümüzde sosyal ağ aracılığı ile alınan merkezî önlemler sayesinde ulusal bir ekonomideki sektörlerin göreceli pozisyonları, birbirlerine doğrudan ve dolaylı yakınlıklarının belirlenmesi ve böylece girdi-çıkış matrislerinden gelen bilgiler kullanılarak en etkili ve kritik olanları belirlemek mümkündür.

Geçmişten günümüze ağ teorisi ile ilgili önemli olaylara bakıldığında ağ öncesi dönem (1736–1966) olarak adlandırılan dönemde ağ biliminin temelini, tüm zamanların matematik dalında en fazla yayın yapan Avusturyalı matematikçisi Leonhard Euler (1707-1783) tarafından ortaya atıldığı görülmektedir. Ardından mezo ağ dönemi (1967-1998) olarak adlandırılan dönemde Stanley Milgram tarafından yapılan çarpıcı bir deney, ağ bilimini saf grafik teorisinden bilimsel sorgulamaya sevk etmiştir. Geçmişe bakıldığında Stanley Milgram'ın ünlü “altı adımlık ayrılma” deneyi bir dönüm noktasıdır. Modern Dönem (1998 – Günümüz) olarak adlandırılan dönem ise ağ biliminin kendi bilimsel disiplini olma yolundaki keşifleriyle doludur. Bu dönemde WWW' nin ağ modellerini tanımlamak için Web graph terimi geliştirilmiştir ve WWW' yi bir web grafik olarak haritalanmaya başlanmıştır.

Ağ analizinin kalbinde sosyal ağlar için temel olan birkaç anahtar kavram vardır. Bu kavramlar şunlardır: Grafikler ve alt grafikler, ağırlıklı ve ağırlıksız grafikler, yönsüz ve yönlü ağlar,

ağaçlar, yollar, döngüler, düğümler ve kenarlar, yoğunluk, derece, derece dağılımı, ego ağı ve alter, otorite ve hub, kümelenme katsayısı, komşuluk matrisi ve homofililik ve heterofililik. Çalışmada bu anahtar kavramlar tanımlanmış olup, sosyal ağlardaki farklı analiz düzeyleri ele alınmıştır. Ağ teorisinin temel kavramları ele alınırken ilişkisel kavramların kullanımına ek olarak aşağıdaki maddelerin önemine dikkat çekilmiştir:

- Aktörler ve eylemleri bağımsız, özerk birimlerden ziyade birbirine bağımlı olarak görülür.
- Aktörler arasındaki ilişkisel bağlar, kaynakların (maddi veya maddi olmayan) transferi veya "akışı" için kanallardır.
- Bireylere odaklanan ağ modelleri, ağ yapısal ortamını bireysel eylemler için fırsatlar veya kısıtlamalar sağlayan bir unsur olarak görür.
- Ağ modelleri, sosyal, ekonomik, politik vb. yapıları aktörler arasındaki kalıcı ilişki kalıpları olarak kavramsallaştırır.

Artan ağ analizinin kullanımı ve ilgi ile birlikte, ağ perspektifinin altında yatan temel ilkeler hakkında bir fikir birliğine varılmıştır. Bu ilkeler, sosyal ağ analizini diğer araştırma yaklaşımlarından ayırır (Örneğin Wellman, 1988). Ağ perspektifi, ilişkisel kavramlar veya süreçler olarak ifade edilen teorileri, modelleri ve uygulamaları kapsar. Yani birimler arasındaki bağlantılarla tanımlanan ilişkiler ağ teorilerinin temel bir bileşenidir. Bu ağların yapısı hakkında yeterince bilgi elde edilmediği takdirde, ilgili sistemlerin tam olarak nasıl çalıştığını anlamak mümkün değildir. Bu bağlamda ağlar önemlidir çünkü ağlar anlaşılmaz ise piyasaların nasıl işlediği, kuruluşların sorunlarını nasıl çözdüğü veya toplumların nasıl değiştiğini anlamak mümkün değildir.

KAYNAKÇA

- Albert, R. ve Barabási, A. L., 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74(1), 47.
- Albert, R., Jeong, H. ve Barabási, A. L., 1999. Diameter of the world-wide web. *Nature*, 401(6749), 130-131.
- Albert, R., Jeong, H. ve Barabási, A. L., 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406(6794), 378.
- Anderson, R. M., 1991. Discussion: the Kermack-McKendrick epidemic threshold theorem. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53(1), 1-32.
- Appa, G. ve Singh, S. N., 1980. *Structural and Functional Analysis of Interpersonal Communication Networks in Diffusion of High Yielding Rice Varieties in Two Villages*. Oryza.
- Atay, F. M., Biyikoglu, T. ve Jost, J., 2006. Synchronization of networks with prescribed degree distributions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 53(1), 92-98.
- Balcıoğlu, M., 2021. Bölgesel kalkınmada kurumlar arası işbirliğinin sosyal ağ analizi ile incelenmesi: TR33 bölgesi örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 45, 289-306.
- Barabási, A. L. ve Elhüseyni, N. (2010). *İş hayatında, bilimde ve günlük yaşamda bağlantılar*. Optimist Yayın Dağıtım.
- Barabási, A. L., 2016. *Network Science*. Cambridge University Press.
- Barabási, A.L. ve Albert, R., 1999. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509-512.
- 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.

- Bass, F. M., 1969. A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15(5), 215-227.
- Bollobás, B., Riordan, O., Spencer, J. ve Tusnády, G., 2011. The degree sequence of a scale-free random graph process. In *The Structure and Dynamics of Networks*, 384-395.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. ve Johnson, J. C., 2018. *Analyzing Social Networks*. Sage.
- Börner, K., Sanyal, S., ve Vespignani, A. (2007). Network science. *Annual Review of Information Science and Technology*, 41(1), 537-607.
- Brauer, F., 2005. The Kermack–McKendrick epidemic model revisited. *Mathematical Biosciences*, 198(2), 119-131.
- Burt, R. S., 1982. *Toward a Structural Theory of Action: Network Models of Social Structure, Perception, and Action*. New York: Academic Press.
- Burt, R., 2005. *Broker Age and Closure: An Introduction to Social Capital*. Oxford: Oxford University Press.
- Calvert, K. L., Doar, M. B. ve Zegura, E. W., 1997. Modeling internet topology. *IEEE Communications Magazine*, 35(6), 160-163.
- Chang, H., Su, B. B., Zhou, Y. P. ve He, D. R., 2007. Assortativity and act degree distribution of some collaboration networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 383(2), 687-702.
- Cinelli, M., Quattrociocchi, W., Galeazzi, A., Valensise, C. M., Brugnoli, E., Schmidt, A. L., ... ve Scala, A., 2020. The COVID-19 social media infodemic. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- Clauset, A., Moore, C. ve Newman, M. E., 2006. *Structural Inference of Hierarchies in Networks*. In ICML Workshop on Statistical Network Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cross, R., Parker, A. ve Sasson, L. (Eds.), 2003. *Networks in the Knowledge Economy*. Oxford University Press.
- Çelik, S., 2019. Dünyadaki Çatışmaların sosyal ağ analizi yöntemiyle incelenmesi. *Öneri Dergisi*, 14(52), 236-254.
- De Blasio, B. F., Svensson, Å. ve Liljeros, F., 2007. Preferential attachment in sexual networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(26), 10762-10767.
- De Nooy, W., Mrvar, A. ve Batagelj, V., 2018. *Exploratory Social Network Analysis With Pajek: Revised and Expanded Edition for Updated Software (Vol. 46)*. Cambridge University Press.
- De Tarde, G., 1903. *The Laws of Imitation*. H. Holt.
- Demirgil, H. ve Çelikkaya, S., 2019. Bölgesel kalkınma çalışmalarında ortak yazarlık ve atıf ağlarının sosyal ağ analizi ile incelenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 17(4), 296-315.
- Erdős, P. ve Rényi, A., 1959. Some further statistical properties of the digits in Cantor's series. *Acta Mathematica Academiae Scientiarum Hungarica*, 10(1-2), 21-29.
- Erdős, P. ve Rényi, A., 1961. On the strength of connectedness of a random graph. *Acta Mathematica Hungarica*, 12(1), 261-267.
- Estrada, E., Fox, M., Higham, D. J. ve Oppo, G. L. (Eds.), 2010. *Network Science: Complexity in Nature and Technology*. Springer Science and Business Media.
- Faloutsos, M., Faloutsos, P. ve Faloutsos, C., 1999. On power-law relationships of the internet topology. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 29(4), 251-262.
- Fienberg, S. E., 2012. A brief history of statistical models for network analysis and open challenges. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 21(4), 825-839.
- Fisher, J.C. ve Pry, R.H., 1971. A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 88(3), 75-88.

- Freeman, L. C., 1978. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215-239.
- Friesz, T. L. (Ed.), 2007. *Network Science, Nonlinear Science and Infrastructure Systems (Vol. 102)*. Springer Science and Business Media.
- Gabbay, M., 2007. The effects of nonlinear interactions and network structure in small group opinion dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 378(1), 118-126.
- Gilbert, E. N., 1959. Random graphs. *The Annals of Mathematical Statistics*, 30(4), 1141-1144.
- Granovetter, M. S., 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78, 1360-1380.
- Granovetter, M., 1982. *The Strength of Weak Ties: A Network Theory Revisited*. In P. V. Marsden and Nan Lin, eds. *Social Structure and Network Analysis*. Beverly Hills: Sage.
- Granovetter, M., 1985. Economic action and social structure: The problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91(3), 481-510.
- Gürsikal, N., Tüzüntürk, S. ve Sert, F., 2014. Sosyal ağ verilerinin kuvvet yasası olasılık dağılımına uygunluk analizi: twitter örneği. 15. *Uluslararası Ekonometri, Yöneylem ve İstatistik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 464-482.
- Hanneman, R. A. ve Riddle, M., 2005. *Introduction to Social Network Methods*.
- Hashimoto, Y., 2016. Growth fluctuation in preferential attachment dynamics. *Physical Review E*, 93(4), 042130.
- Haythornthwaite, C., 2005. Social network methods and measures for examining e-learning. *Social Networks*, 1-22.
- Hennig, M., Brandes, U., Pfeffer, J. ve Mergel, I., 2012. *Studying Social Networks: A Guide to Empirical Research*. Campus Verlag.
- Hoelscher, C., 2019. *Degrees of Separation in Annie Baker's the Flick*.
- Huang, C. Y., Sun, C. T. ve Lin, H. C., 2005. Influence of local information on social simulations in small-world network models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4).
- Huang, C. Y., Sun, C. T., Hsieh, J. L. ve Lin, H., 2004. Simulating SARS: Small-World epidemiological modeling and public health policy assessments. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 7(4).
- Karsai, M., Kivela, M., Pan, R. K., Kaski, K., Kertész, J., Barabási, A. L. ve Saramäki, J., 2011. Small but slow world: How network topology and burstiness slow down spreading. *Physical Review E*, 83(2), 025102.
- Kim, H., Toroczkai, Z., Erdős, P. L., Miklós, I. ve Székely, L. A., 2009. Degree-based graph construction. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 42(39), 392001.
- Kleinberg, J., 2000. The small-world phenomenon: An algorithmic perspective. *In Proceedings of The Thirty-Second Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 163-170.
- Kleinfeld, J. S., 2002. The small world problem. *Society*, 39(2), 61.
- Kolaczyk, E. D., 2013. *Statistical Analysis of Network Data, SAMSI Program on Complex Networks*. Boston University.
- Kong, X., Shi, Y., Yu, S., Liu, J. ve Xia, F. 2019. Academic social networks: Modeling, analysis, mining and applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 132, 86-103.
- Kretzschmar, M. ve Morris, M., 1996. Measures of concurrency in networks and the spread of infectious disease. *Mathematical Biosciences*, 133(2), 165-195.
- Leskovec, J. ve Horvitz, E., 2008. Planetary-scale views on a large instant-messaging network. *In Proceedings of The 17th International Conference on World Wide Web*, 915-924.
- Lewis, T. G., 2011. *Network Science: Theory and Applications*. John Wiley and Sons.

- Lézoray, O. ve Grady, L., 2012. *Image Processing and Analysis with Graphs: Theory And Practice*. CRC Press.
- Liu, W. T. ve Duff, R. W., 1972. The strength in weak ties. *Public Opinion Quarterly*, 36(3), 361-366.
- Milgram, S., 1967. The small world problem. *Psychology Today*, 2(1), 60-67.
- Montgomery, J. D., 1992. Job search and network composition: Implications of the strength-of-weak-ties hypothesis. *American Sociological Review*, 586-596.
- Moreno, J. L., 1934. *Who Shall Survive?: A New Approach to The Problem of Human Interrelations*.
- Nelson, R. E., 1986. Social networks and organizational interventions: Insights from an area-wide labor-management committee. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 22(1), 65-76.
- Nelson, R. E., 1989. The strength of strong ties: Social networks and intergroup conflict in organizations. *Academy of Management Journal*, 32(2), 377-401.
- Newman, D., 2003. On borders and power: A theoretical framework. *Journal of Borderlands Studies*, 18(1), 13-25.
- Newman, M. E. ve Watts, D. J., 1999a. Renormalization group analysis of the small-world network model. *Physics Letters A*, 263, 341-346.
- Newman, M. E., Watts, D. J. ve Strogatz, S. H., 2002. Random graph models of social networks. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 99(1), 2566-2572.
- Newman, M.E.J., 2010. *Networks: An Introduction*. New York: Oxford University Press.
- Otte, E. ve Rousseau, R., 2002. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, 28(6), 441-453.
- Öztemiz, F. ve Karıcı, A., 2020. Akademik yazarların yayınları arasındaki ilişkinin sosyal ağ benzerlik yöntemleri ile tespit edilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(1), 591-608.
- Pastor-Satorras, R. ve Vespignani, A., 2001. Epidemic spreading in scale-free networks. *Physical Review Letters*, 86(14), 3200.
- Poole, M. S. ve Hollingshead, A. B. (Eds.), 2014. *Theories of Small Groups: Interdisciplinary Perspectives*. Sage Publications.
- Prell, C., 2012. *Social Network Analysis: History Theory and Methodology*. Los Angeles etc.
- Price, D. D. S., 1976. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *Journal of The American Society for Information Science*, 27(5), 292-306.
- Pržulj, N., 2007. Biological network comparison using graphlet degree distribution. *Bioinformatics*, 23(2), 177-183.
- Rapoport, A., 1951. Nets with distance bias. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 13(2), 85-91.
- Rogers, E. M., 2003. Diffusion networks. *Networks in The Knowledge Economy*, 130-179.
- Rost, K., 2011. The strength of strong ties in the creation of innovation. *Research Policy*, 40(4), 588-604.
- Sabah, L., Dalı, B. M. A. ve Şimşek, D., 2018. *Sosyal Ağ Analizi ve Salgın Modelleme*.
- Schneider, H. L. ve Huber, L. M., 2008. *Social Networks: Development, Evaluation and Influence*. Nova Science.
- Scott, A. J., 2000. *The Cultural Economy of Cities: Essays on the Geography of Image-producing Industries*. Sage.
- Seker, S. E., 2015. Çizge teorisi. *YBS Ansiklopedi*, 17-29.
- Sekharaiah, K. C. ve Khan, M. M., 2009. Towards metrics for social computing. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering, and Tec*, 37(2070-3740), 1086-1090.

- Shen, B., Guan, T., Ma, J., Yang, L. ve Liu, Y., 2021. Social network research hotspots and trends in public health: A bibliometric and visual analysis. *Public Health in Practice*, 2, 100155.
- Tonelli, R., Concas, G. ve Locci, M. (2010). Three efficient algorithms for implementing the preferential attachment mechanism in Yule-Simon Stochastic Process. *WSEAS Trans. Inf. Sci. App*, 7(2), 176-185.
- Tunalı, V., 2016. *Sosyal Ağ Analizine Giriş*. Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Tüzüntürk, S., 2012. *Ağ bilimi*. Dora Yayınları.
- Velásquez, N., Leahy, R., Restrepo, N. J., Lupu, Y., Sear, R., Gabriel, N., ... ve Johnson, N. F., 2020. Hate multiverse spreads malicious COVID-19 content online beyond individual platform control. *Arxiv Preprint Arxiv:2004.00673*.
- Wang, X. F. ve Chen, G., 2003. Complex Networks: Small-World, Scale-Free and Beyond. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, First Quarter, 6-20.
- Wasserman, S. ve Faust, K., 1994. *Social Network Analysis: Methods and Applications (Vol. 8)*. Cambridge University Press.
- Watts, D. J. ve Strogatz, S. H., 1998. Collective dynamics of 'Small-World' networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.
- Watts, R. A., Lane, S. E., Bentham, G. ve Scott, D. G., 2000. Epidemiology of systemic vasculitis: a ten-year study in the United Kingdom. *Arthritis and Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 43(2), 414-419.
- Weinmann, G., 1980. *Conversation Networks as Communication Networks*. University of Haifa, Israel.
- Wellman, B., ve Berkowitz, S. D. (Eds.), 1988. *Social Structures: A Network Approach (Vol. 2)*. CUP Archive.
- Wu, W., Yaofei, X. I. E., Xiangxiang, L. I. U., Yaohua, G. U., Yuting ZHANG, X. T. ve Xiaodong, T. A. N., 2019. Analysis of scientific collaboration networks among authors, institutions, and countries studying adolescent myopia prevention and control: a review article. *Iranian Journal of Public Health*, 48(4), 621.
- Xia, Y., Fan, J. ve Hill, D., 2010. Cascading failure in Watts–Strogatz small-world networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(6), 1281-1285.
- Xue, W., Li, H., Ali, R. ve Rehman, R. U., 2020. Knowledge mapping of corporate financial performance research: A visual analysis using cite space and ucinet. *Sustainability*, 12(9), 3554.
- Zhang, B. ve Horvath, S., 2005. A general framework for weighted gene co-expression network analysis. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, 4(1).
- Zhang, L. ve Tu, W., 2009. *Six Degrees of Separation in Online Society*.