

Genişleyen İnternet, Karmaşık Sistemler ve Ağ Bilimi

Nejat Kutup

İzmir Ekonomi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, nejat.kutup (at) ieu.edu.tr

"Gelecek yüzyılın karmaşıklık yüzyılı olacağını düşünüyorum."
Stephen Hawking

Özet: Bu çalışmada yakın bir zamanda tanımı ve uygulamaları yapılmaya başlanmış olan Ağ Biliminden bahsedilecektir. İnternet'in getirdiği ve yaygınlaşan kullanımından dolayı sürekli genişlemesi; Ağ Bilimi ile anlaşılmasına ve anlamlandırılmaya çalışılacaktır. Bu girişin ardından "Neden internet ve/veya insan hücreleri gibi çok farklı sistemler, aynı ve benzer serbest ölçekli bir mimariye sahip olabilir ve aynı kurallara uyabilir?" sorusuna yanıt aranacaktır. Ayrıca Karmaşık-ağlar bakış açısı ile ağlara örneklenecek ve Ağ Bilimi kullanarak içeriğinde ki Ağ yapılarının tavırları anlaşılmadan farklı karmaşık sistemlerin anlaşılmasının güç olduğu açıklanmaya çalışılacaktır.

Anahtar Sözcükler: İnternet, web, www, ağ, ağ bilimi, karmaşıklık, karmaşık ağlar.

Abstract: In this study, the definition and application of relatively new science referred as Network Science, will be discussed. Due to widespread use of the Internet and the continuous expansion similarity of different networks will be introduced. After this introduction, "Why the Internet and/or many different systems, such as human cells, with the same or similar free architecture can follow the same rules?" Answers to these types of question will be searched. Apart from these, complex-networks, with a view of all defined networks will be examined. Without understanding different components of sub networks we will have difficulties understanding the complex systems.

Keywords: İnternet, web, www, network, network science, complexity, complex networks

1. Giriş

Bu gün kaç kişinin Facebook sayfasını beğendiniz ve yorum yazdınız? İnsana ait gen haritasında kaç adet ve ne tür bağlantılar var? Sinir sistemimizdeki nöronlar birbirleri ile nasıl ilişki içindeler?

Karmaşık Ağları nasıl anlayabiliriz? Bu gün kaç kişiye cc ve bcc yapıp email attınız? Sosyal Ağlar nasıl oluşur ve genişler? İnternetin ve web'in nasıl bir yapıya doğru evrim geçirdiğini tahmin ve kontrol edebilir miyiz?

Bu ve olabilecek tüm benzeri sorulara karşı Necmi Gürsakal [1] kitabında şöyle yanıt aramakta: "İşte bu ve benzeri sorular bizim bilgisayar ağı, ulaşım ağı, sosyal ağ, protein ağı gibi çok sayıda yapay ve doğal ağa bağlı olarak yaşadığımızı açık bir şekilde ortaya koyuyor.

Her geçen gün biraz daha karmaşık ağlardan oluşan bir dünya da yaşadığımızın farkına varıyor ve ağları incelemeye çalışıyoruz" diye devam ediyor.

Her geçtiğimiz gün karmaşıklık artmakta ve birbirlerini etkileyen öğelerin birbirlerine nasıl bağlantıda olduklarını hayretle izlemekteyiz. Ayrıca belki de birbiri ile hiç ilişkisi olmayan sistemlerin bile hiç umulmayacak bir şekilde etkileşime girdiklerini gözlemlemekteyiz.

Ağ ve giderek yeni yeni tanımlanan Karmaşık Ağlar günümüzde yeni bir düşün ve yorumlama sistemi olarak karşımıza çıkmakta.

2. Ağ Nedir?

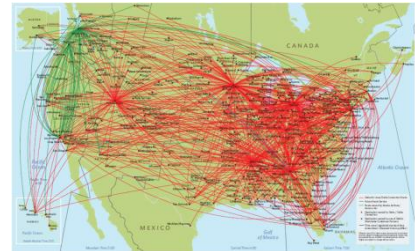
Ağ en kolay ve anlaşılabilir tanımıyla; birbirine bağlı nesne, cisim, görülür ve/ya dokunulur şeylerden meydana gelmektedir.

Ağ içindeki her türlü nesne veya obje: düğümleri ve bu düğümleri birbirlerine bağlayan çizgiler/hatlarda bu iki nesne arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik sunumdur.



Şekil 1. İki düğümü gösteren en basit Ağ

A ve B birer *düğüm*, aralarındaki çizgisel hat *ilişkidir*. Örneğin; Facebook düğümleri insanlar olan Sosyal bir ağıdır, Hava yolu ulaşım ağlarından **Hava Limanları** düğümler, arasındaki uçuş rotaları da ilişkileri temsil ederler.



Şekil 2. Delta Havayollarının uçuş Ağı

Başka örnekler olarak biyolojik, fiziksel ve sosyal ağlardan bahsedebiliriz. Pandemi olarak hastalıkların yayılma ağları, Yemek Tat ağları gibi.

Fiziksel olanlara örnek; su dağıtım ağları, telefon,

internet, elektrik ağı, demiryolu ağı. (“*Demir ağlarla yurdu örmek*”). Sosyal ağlarda ise ev, aile, çalışma ortamı, ilgi alanlarına ait ağlar gibi örnekler çoğaltılabilir. Ağı böyle tanımladıktan sonra Ağ biliminin çıkış noktasını ve uğraş alanını bu konuda neredeyse tek yetkili ağız olan Albert-Laszlo Barabasi den dinleyelim[2]:

“Son birkaç yıl içinde dramatik gelişmelere tanık olduk. Bu bir başka deyişle, birçok paralel doğrultularda gelişmelere yol açtı.

Birinci olarak, bilişim alanındaki olan gerek donanımsal gerekse yazılımsal gelişmeler “*Büyük veri*” lerin ortaya çıkmasına ve bunların topolojilerini çizgesel olarak görünür hale getirmemizi sağladı.

İkinci olarak, artan işlem gücü, bu *Büyük veriyi* görselleştirdikten sonra analiz etme ve yapısı hakkında soru sorabilme yeteneğini getirdi.

Üçüncü olarak, disiplinler arası bilimlerdeki sınırların ortadan yavaş yavaş kalkması ve veri tabanlarının farklı araştırmacıların erişimine açılmış olması, farklı alanlardan olan akademisyenlerin bu alanı incelemeye yöneltti. Son olarakta parçaları birimlere ayrıştırarak çözmek yerine sistemlerin bütünsel olarak algılanması gibi bir varsayımaya yönlendirdi.”

Gerek fraktal teoremleri gerekse giderek artan veri analizleri doğanın düzgün ilerleyen bir yapıda olmadığı aslında karmaşıklığın hakim olduğunu izlemekteyiz. Bu karmaşıklığı tanımlamamak, gelişmesini izlemek, yorum katabilmek, ilerisi ile ilgili tahminler yapabilecek modeller çizmek gerekmiş. Tam da bu aşamada *Ağ Bilimi* kendine bir çalışma alanı bularak ortaya çıkmıştır.

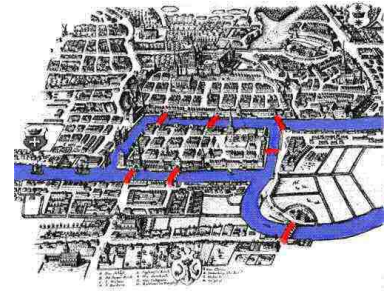
2. Tarihsel Gelişim

Aslında “Ağ bilimi” bazen değişmeli olarak “Çizge teoremleri” diye adlandırabileceğimiz tanımlar, tüm zamanların matematik dalında en fazla yayın yapan Avusturyalı matematikçi Leonhard Euler (1707-1783) tarafından ortaya atılmış ve adı ilk kez yaptığı çalışmalarında da ve kitaplarında kağıda dökülmüştür.

Euler henüz 14 yaşında Üniversiteye başladığında tartışmasız tüm zamanların en ünlü matematikçi, Johann Bernoulli, tarafından asistan olarak seçilmiş ve uzun yıllar beraber çalışmışlardır.

2.1 Königsberg Köprüleri

Rusya’da yer alan ve günümüzde Batı Rusya’nın büyük endüstri merkezi olan bir şehirdir. Şehir başka bir nehir ile birleşen Pregel Nehri etrafına kurulmuştur. Kniephof adındaki ada iki nehrin birleştiği yerin ortasında yer almaktadır. Adayı ve nehirleri birleştiren toplam 7 adet köprü vardır.



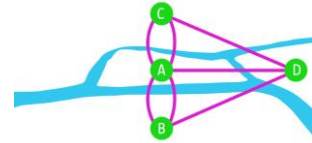
Şekil 3. Königsberg Şehri ve 7 köprüsü

18. yy’da Königsberg’in Belediye Başkanı her gün şehri gezmektedir. Ancak her seferinde bir köprüden iki defa geçmektedir. Her köprüden yalnız bir kere geçmek suretiyle bütün şehri dolaşması mümkün olmamaktadır. Bu durum matematikçimiz Euler’in dikkatini çeker.



Foto 1. Leonhard Euler (1707-1783)

1736 yılında yaptığı bir ispat ile Euler Königsberg Köprüleri problemi olarak bilinen bu problemi çözer. Matematiksel olarak yedi köprüden her birinin yalnız bir kere geçmek kaydıyla yürümenin mümkün olmadığını ispat eder. Böylelikle ilk defa bir matematiksel problem grafik modeller halinde yeniden kurularak çözülebilir bir hale gelmiştir.



Şekil 4. Yedi köprüsün grafiksel görünümü

Bu kanıtın ve çözümün bilim dünyası için iki önemli sonucu ortaya çıkmıştır. İlk olarak bazı problemleri grafik olarak çizebilirsek bu tip problemlerin daha basit ve çözülebilir hale gelebilmesidir. İkinci olarak bizim zekamız yada aklımız ile bulmaya çalıştığımız sonuç yada netice değil de, daha ziyade, bu “Ağ” ların kendilerine ait içsel özelliğidir.

Nitekim biz ne kadar akıllı ve zeki olursak olalım, Königsberg grafiğini ve yapısını göz önüne aldığımızda, tek bir gidiş yolu bulmak mümkün değildir. Diğer bir deyişle, Ağlar kendi yapıları içerisinde davranışlarını geliştirmek ve genişlemek gibi özelliklere sahiptir.

2.2 Ağları modelleme çalışmaları

Bu tanımlamasını ve uğraş alanını çizmeye çalıştığımız Ağ biliminin tarihsel gelişiminde ikinci durağımızın sağlam temellerini Macar matematikçiler atmışlardır.

Paul Erdős[8] ve Alfred Rényi adındaki iki Macar matematikçi, düğümler ve bunlar arasındaki bağlantılardan oluşan ağlar için rassal, bir model ortaya atmıştır. Bu bilim adamlarına göre, her bir düğümün başka bir düğümlerle bağ kurması sabit bir olasılığı eşitti ve bu bağlar rassal bir süreçle oluşuyordu. Birer matematikçi olarak ağları basit düğümler ve bağlantılar ve bunlardan oluşan bu sistemin belirli bir olasılık ile birbirlerine bağlandığını kabul ettiler. Ayrıca bu gelişmenin bir çan eğrisi karakteristiği ile olduğunu düşündüler.

Oysa doğa ve toplum bu kurallara pek de uymuyordu.

Özetle Erdős ve Rényi nin yaptığı varsayımda bağlantılar rassal olarak oluşuyor ve iki düğüm belirli bir olasılık kuralı ile ağ genişliyordu.

Çok uzun bir süre, bu konudaki bilimsel araştırmalarda Erdős-Rényi modeli ağlar konusundaki düşünce ve çözüm sistemini belirledi.

2.3 Küçük Dünya hipotezi

1967 yılında Harvard Üniversitesinde Sosyoloji bölümünde çalışan Stanley Milgram [2] yaptığı araştırma sonuçlarını açıkladığında, bilim çevreleri bu çalışmayı dikkatle izlemeye başladılar.

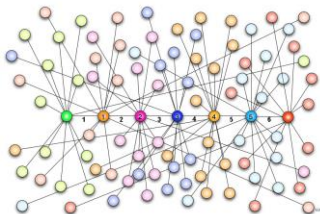
Milgramın önermesi şuydu: “Dünya üzerindeki herhangi bir kişi tanımadığı başka bir kişiye 6 adımda ulaşabilir”

Özetle, 6 milyar kişinin yaşadığı yeryüzünde bizler aslında “Küçük bir dünya” da yaşamaktayız. Bu özellik sosyal ağlarda “6 Derecelik Ayırım” olarak yerini aldı. Sosyologlar düğümlerin (yani insanların) sosyal ağlarda gruplaştıklarını ve aralarındaki bağlantıların ne kadar karmaşık ve aslında ne kadar sade olduğunun göstemesi açısından önem kazanmaktaydı

Küçük Dünya Hipotezi, dünyada tesadüf eseri seçilmiş herhangi bir kişiyle başka bir kişi arasındaki sosyal bağın kurulması için gerekli yolun ortalama 6 adımda yapılabileceğini göstermiştir.

Deney 1967 yılında Amerikanın çeşitli eyaletlerinde yerleşik olan 160 kişiye verilen bir mektubun Boston’daki bir borsacıya ulaştırılmasını istemekle başladı. Dönüşlere bakarak ortalama 6 kişinin elinden geçen mektubun Boston’a ulaştığı gözlemlendi.

Sosyal dokuyu tanımlayan karmaşık ağın “küçük dünya hipotezi” özelliği göstermesi, araştırılması gereken bir olay olarak ortaya çıkmıştır



Şekil 5. Küçük Dünya Deneyi

2.4 Günümüz

Ağ Biliminin gelişmesine çok büyük katkılar sağlayan başka ve en itici gelişme 1967 yılında Macaristanda doğan ve günümüzde Notre Dame Üniversitesi’nde çalışan bir fizikçi olan Albert-László Barabási tarafından gerçekleştirildi.

Bu konu üzerine bir çok kitap yazmış, araştırma ekipleri yönetmiş ve kendi adına bir model geliştirmiş olan Barabási hem eğitim alanında hemde araştırma merkezlerinde sürekli yayın yapmaya devam etmektedir. [4], [5], [6], [7]

3. Ağ Biliminin Özellikleri

3.1 Disiplinler Arası Çalışma

Ağ Bilimi farklı disiplinlerin kendi aralarında kesintisiz ve sorunsuz iletişim içinde olabilmeleri için ortak bir lisan önermektedir. Nitekim, hücre biyologları ve bilgi işlemciler çalıştıkları sistemlerin geri planında işlev yapan bağlantı diyagramlarını karakterize etme, yorum yapma ve çözme ihtiyacı hissetmektedirler. Kendi karmaşık sistemlerinden bilgileri analiz etme, onların kararlılık ve dengesini anlayabilme ve kasıtlı saldırılara karşı alınabilecek önlemleri deneme için bu bilimi kullanmaları gerekmektedir.

Bir yandan da biliyoruz ki, her bilim disiplini kendi bünyesinde ve salt ona özgü farklı teknik detay ve meydan okumalar taşımaktadır. Ancak tüm disiplinler deki var olan ortak konu, sorun yada zorluk giderek kullanılan araç ve fikirlerde asgaride birleşme olarak oluşmaktadır.

Örneğin, Sosyal ağ başlığı altında 1970 lerde ortaya çıkan *arasındalık* kavramı, günümüzde internet teki yüksek trafik verilerini incelemede kullanılmaktadır.

Bu alanda bilgisayar bilimcileri tarafından geliştirilen ve sosyal ağları anlamak için uygulanan algoritmalar, bugün hücre biyologları tarafından kullanılmaktadır

3.2 Deneysel ve Veri Ağırlıklı Yapı

Ağ Biliminin kullandığı araçlar köklerini, grafik teorisi ve matematiksel araçlara dayandırmaktadır.

Fakat burada Ağ Bilimini diğerlerinden ayıran deneysel yapısı ve doğasıdır. Yani bilgi, veri ve yarara odaklanmış bakış açısı önem taşımaktadır.

Bu bilim uğraşılan ağ ile ilgili üretilen her soyut, kuramsal araçlar mutlak gerçek veri ile test edilmekte ve sisteme ait yapı ve gelişmesinin yönü konusunda fikir edinilmeye çalışılmaktadır.

3.3 Matematiksel Yapı

Ağ biliminin gelişmesine katkıda bulunmak isteyen araştırmacının, bunun arkasında olan ve altında yata matematiksel araçları tam anlamıyla tanıması ve bilmesi gerekmektedir.

Ağ Biliminin araçları, grafik teorisinin matematiksel

modellemesini ve kavramsal çözüm önerilerini ödünç alıp bunlara istatistiksel yöntemleri katıştırıp yeni gelişmeleri incelemeyi kendine amaç edinmiştir.

Son zamanlarda, bu alan mühendislikten, kontrol ve Bilgi teknolojilerinden, istatistikten ve veri madenciliğinden, kavramları ödünç alarak büyük verileri inceleme ve aralarındaki ağ etkileşimini çözmede kullanmaktadır.

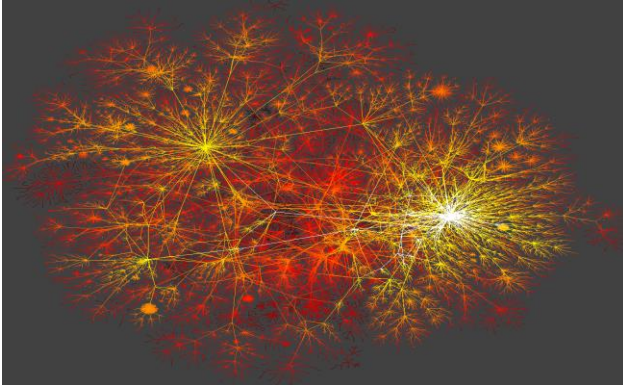
3.4 Hesaplanabilir Yapı

Son olarak, Ağ Bilimi, günümüzde var olan ve incelenmesi gereken birçok dev ağların ve bu ağların aralarında ve/veya birbirleriyle oluşan çok büyük verilerin yapısını tahmin etme ve gelişmesini takip etme de hesaplanabilir müthiş formüller ve fırsatlar sunmaktadır.

Dolayısıyla, bu alanın sağlam, kararlı ve hesaplanabilir bir karakteri vardır. Bu gücünü algoritmalarından ve veri tabanı yönetimine ilave olarak veri madenciliğinden almaktadır. Var olan bir dizi yazılım aracı, ağları inceleyen araştırmacılara farklı ve çeşitli becerilerini kullanma olanağı sağlamaktadır.

4. Genişleyen İnternet

World Wide Web günümüzdeki en büyük ağ olarak karşımızda durmaktadır. Düğümler web sayfalarını, bağlantılarda bir dökümandan diğer dökümana giden linkleri göstermektedir. 2015 yılında bu ağın 10 milyar düğüme sahip olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 6. Yirmi birinci yüzyılın başında internet topolojisi (Kaynak: MIT media Lab)

Bu görsel, Kalifornia Üniversitesi bünyesinde çalışan, temel amacı internete ait bilgi toplama, analiz etme ve görselleştirme olan CAIDA tarafından geliştirilmiştir. Parlak alanlar bağlantı yoğunluğunu göstermektedir.

Az sayıda ana bağlantının çok sayıda küçük bağlantılar ile ilgili göstermesi açısından önemlidir. Burada Pareto dağılımının bir örneğini görmekteyiz.

4. Sonuç ve tartışma

Biz bugün cep telefonlarından, bilgisayarlara, toplumlardan, 6 milyar farklı bireylere, genel olarak fiziksel, biyolojik ve sosyal ağlar dan oluşan ve giderek genişleyen karmaşık sistemler tarafında çevrilmiş

durumdayız.

Vücut olarak varlığımız onbinlerce genin ortaklaşa uyum içersinde çalışmasına bağlı. Düşüncelerimiz, karar verme yöntemlerimiz, çevreyi algılama yetimiz beynimizde var olan milyonlarca nöron un birbiri ile bir ağ içersinde var oluşunda saklı. Bu sistemler ilk bakışta teadüfi oluşumlar gibi görünce biraz daha derine inince kendine ait bir düzen ve kontrol mekanizmasına sahip izler göstermektedir.

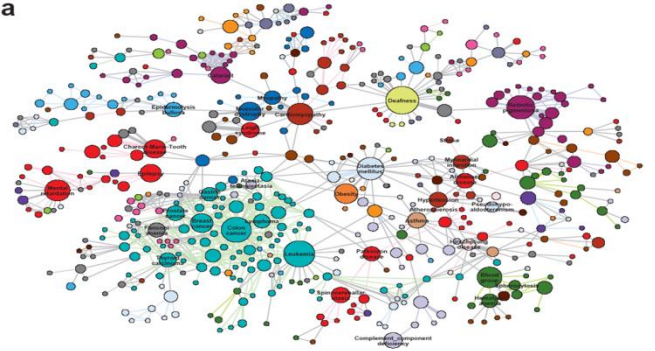
Her kompleks sistemin altında yatan, bir birine bağlı bir çok ağlar bulunmaktadır ve bu ağ tüm elemanlar arasındaki etkileşimi tanımlar.

Bu her bir ağı haritalandırmadan ve Ağ Bilimi kullanarak karakterleri hakkında fikir yürütmeden, üst yapı olan karmaşık sistemi anlamamız mümkün olmayacaktır.

Genler, proteinler, telefon şebekelerinin etkileşimleri tanımlayan bu ağ canlı birer varlık gibi davranırlar. Bağlantıları çizgiler halinde çıkartabilirsek sinir sistemlerinin, beyin hücrelerinin nasıl çalıştıkları konusunda daha yalın bilgiler elde edebiliriz.

Biyolojik ağlar ile bir hastalığın yayılışı, fiziksel ağlar ile malların arzı ve sosyal ağlar ile insanlar arasındaki etkileşimler analiz edilebilir ve insanlığın yararına çeşitli çıkarımlar yapabiliriz.

a



Şekil 7. İnsan Hastalıklarının Ağ gösterimi (Kaynak:www.barabasilab.com)

Böylece, ağları yönetebilir ve ağlar üzerinde etkiye sahip olabiliriz. Bunların yanında ağ bilimcilerin esas ilgi alanı ağların nasıl oluştuğu veya nasıl meydana geldikleri, ağların görünüşlerini ve yapılarını düzenleyen yasaların neler olduklarıdır. Bu bilim dalında, ağların belirli kurullarla ve kanunlarla işleyişlerini sürdürmekte oldukları düşünülmektedir.

Bu çalışmada günümüzde nispeten genç sayılabilecek ancak çok fazla ilgi çektiğini düşündüğümüz bu konunun iki nedenden dolayı popüler olduğunun varsaymaktayız.

Birinci neden, henüz tam olarak ayaklarının üzerinde durmaya başlamamış olması ve istatistiksel ve matematiksel modelleme ile çözüm metotlarının zorluğundan kaynaklanmaktadır.

Diğeri ve ikinci neden ise, bu bilim dalından ortaya

çıkabilecek çözüm yöntem ve araçlarının birçok diğer bilim alanlarında kullanılabilir olmasıdır.

Bu bilim dalında ileriki günlerde yeni gelişmelerin ve araştırmaların hızlı bir şekilde devam edeceğini tahmin etmek zor olmasa gerek.

5. Kaynaklar:

[1] Gürsakal, N., 'Sosyal Ağ Analizi', Dora Yayıncılık, Bursa 2009.

[2] Milgram, S. (1967). *The small-world problem*. *Psychology today* 1(1), 61–67.

[3] D. J. Watts and S .H. Strogatz. *Collective dynamics of 'small-world' networks*. *Nature*, 393 (440), 1998.

[4] A.-L. Barabási and R. Albert. *Emergence of scaling in random networks*, *Science*, 286 (509), 1999.

[5] Barabási, A.-L., Albert, R. & Jeong, H. <<http://www.nd.edu/~networks>>.

[6] R. Albert; A.-L. Barabási (2002). "Statistical mechanics of complex networks". *Reviews of Modern Physics* 74: 47–97. [arXiv:cond-mat/0106096](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0106096)

[7] Barabasi Albert Laszlo, *Linked*, Plume Book, New York, 2003.

[8] P. Erdős and A. Rényi. *On random graphs*. *Publicationes Mathematicae*, 6 (290), 1959.

[9] MIT media lab / sociable media group
dietmar offenhuber, judith donath - digital map.jpg

[10] http://tr.wikipedia.org/wiki/Karmaşık_ağ