

Sosyal Ağ Yapılarının Değerlendirilmesi Üzerine Odaklanan Modellerin İncelenmesi

Arş. Gör. Keziban SEÇKİN CODAL

*Sakarya Üniversitesi, Üretim Yönetimi ve Pazarlama ABD, Doktora Öğrencisi
kseckin@ybu.edu.tr*

Prof. Dr. Erman COŞKUN

*Sakarya Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü
ermanc@sakarya.edu.tr*

Sosyal Ağ
Yapılarının
Değerlendirilmesi
Üzerine
Odaklanan
Modellerin
İncelenmesi

1

Özet

Son yıllarda, sosyal ağ kapsamında gerçekleşen bireysel olaylara ait kararların anlaşılması ve modellenmesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bilgisayar temelli iletişim, dijital veri depolama, Web 2.0 teknolojilerinin sunmuş olduğu kullanıcı etkileşimli dinamik yapı ile sosyal ağ sitelerinin sunmuş olduğu yeni veri kaynakları ilginç araştırma sorularının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, sosyal ağ yapılarının modellenmesi üzerine odaklanan bilimsel çalışmalar yakın zamanda hız kazanmıştır. Çalışma, sosyal ağ yapılarının dinamik çevrede değerlendirilmesine odaklanan modellerin incelendiği, teorik bir çalışmadır. Geniş bir uygulama alanı bulunmasına rağmen literatürde konuya ilişkin olarak kısıtlı sayıda çalışmanın yer alması, modellerin ağdaki değişimi hangi açıdan ele aldıklarına dair bir kategorizasyonun yapılmamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mevcut çalışma kapsamında, sosyal ağ yapılarının dinamik bir çerçevede değerlendirilmesi ile ilgili dört model ele alınmıştır. Bahse konu modeller, tarihsel bir akış içerisinde incelenmiş olup, teorik alt yapıları ile ilgili bilgilere yer verilerek; genel kullanım alanlarına, kullanılan veri setlerinin yapılarına, bileşenlerine ve ele aldıkları değişim türlerine göre kategorize edilmişlerdir. Bu çalışma çerçevesinde sosyal ağ ve davranış dinamiklerinin modellenmesine odaklanacak çalışmalar için, seçim sürecinin modellenmesinde multinominal logit modelin, ağ değişiminin grafiksel sunumunda üstel rasgele grafik modelin, ağ ve davranış değişiminin sunulmasında stokastik aktör bazlı modelin ve aktöre değil olaya odaklanılan çalışmalarda ilişkisel olay çerçeveli modelin tercih üstünlüğünün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Ağ Analizi, Multinominal Logit Model, Üstel Rasgele Grafik Model, Stokastik Aktör Bazlı Model, İlişkisel Olay Bazlı Model

EXAMINING MODELS FOCUSING ON EVALUATION OF SOCIAL NETWORK STRUCTURE

Abstract

In recent years, many studies are performed in terms of social network to understand and model the decision of actual individual event. Computer-based communication, digital data storage, user interactive dynamic structure offered by Web 2.0 technologies and new data sources offered by social networking sites have led to the emergence of interesting research questions. Thus, the scientific researches focused on modeling of structural effects in social networks has gained importance recently. The study is a theoretical work, in which modeling of social network structures in dynamic environment is examined. Although, this subject has a wide range of application areas, limited number of studies exist in the literature. This may be due to the absence of the categorization in which perspective models analyze the change in network.

In this study, four major models are discussed for the evaluation of the social structure in dynamic environment. These models, which are discussed in historical perspective, are examined in terms of their theoretic structure. Then, the discussed models are categorized according to their general application areas, structure of the dataset, model components and the type of change in network. Based on this study, future works that will focus on the analysis of network and behavior dynamics in social network; multinomial logit model could be used for the selection process, exponential random graph model would help for the graphical representation of the network change, stochastic actor-based model could demonstrate the change of network and behavior and relational event framework model might be useful when the specific incident is important rather than the actor.

Key Words: Social Network Analysis, Multinomial Logit Model, Exponential Random Graph Models, Stochastic Actor-Based Models, Relational Event Framework

I. Giriş

Sosyal ağlar, dinamik yapıları gereği zaman içinde değişen sosyal aktörler arasındaki sınırlı ikili ilişki setlerini içeren sosyal yapılardır (Wasserman ve Faust, 1994:20). Aile içi ilişkilerin düzenlenmesinde akrabalık ağları, sınıf içi ilişkilerin düzenlenmesinde arkadaşlık ağları, alıcı-satıcı etkileşiminde, tedarik zincirinin üyeleri arasında, yapısal rekabetin yaşandığı pazarlarda, firmalar düzeyinde işletmeler arasında bir anlaşma veya ittifak söz konusu olduğunda karşılaşılan iş ağları gibi farklı türdeki sosyal ağ yapıları birçok alanda karşımıza çıkmaktadır (Snijders ve Steglich, 2013:6-7).

Sosyal ağ analizi, sosyal varlıklar arasındaki ilişkileri, modelleri ve ilişkiler arasındaki etkileşimi inceleyen yaklaşımlar bütünüdür. İlişki, sosyal varlıklar arasındaki bağ olarak tanımlanır ki bu da ağ teorisinin temel prensibidir (Wasserman ve Faust, 1994). Sosyal ağlar; bireyler, gruplar, organizasyonlar ve toplumlar olmak üzere aktör setlerinden oluşmakta ve bu birimler düğüm (node) olarak isimlendirilmektedir. Bu aktörler arasında olan ilişkiler ise bağ (tie) ya da kenarlar (edge) ile ifade edilmektedir (Katz, et al., 2004:307). Aktörler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılan kenar,

fizik ve bilgisayar biliminde, bağ ise sosyoloji alanında daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ağdaki ilişki değişimi, aktörlerin ağ içerisindeki yapısal pozisyonlarının bir sonucu olarak tanımlanabilir. Örneğin, arkadaşının arkadaşı ile arkadaş olma bir ağ değişimidir ve bu değişim yeni bir bağ oluşumu olarak ele alındığında aktörün ağ içerisindeki pozisyonunda yaşanan bir değişimi temsil eder. İki aktör arasında t zamanda herhangi bir etkileşim söz konusu değil iken t+1 zamanda aralarında bir bağ oluşması, ağın zamanla değişen dinamik yapısının bir göstergesidir. Ağ içerisindeki değişimin açıklanmasında kullanılan parametreler, makro düzeydeki değişimleri açıklayan mikro mekanizmalardır (Snijders ve Steglich, 2013:2) ve bu değişimlerin ifade edilmesi için farklı yaklaşımlar mevcuttur.

Sosyal ağların özelliklerinin istatistiksel olarak ifade edilmesi için yapılan araştırmalar, farklı disiplinlerin bir araya gelerek oluşturdukları kolektif çalışmaların ürünüdür. Bugünkü mevcut sosyal ağ literatürünün tarihsel gelişimine bakıldığında, farklı alanlardan eski teknik ve yaklaşımların bir araya getirilerek yeniden düzenlendiği ve bu şekilde yeni yaklaşım ve teorilerin temelini oluşturulduğu görülecektir. Sosyal ağların incelenmesine odaklanan çalışmalarda, ilişki değişimini açıklayan olguların arasındaki etkileşim, matematiksel modeller yardımıyla ortaya konulmaktadır.

Sosyometrinin kurucusu olarak bilinen Moreno (1941) ile başlayan çalışmalar, ağ içerisindeki ilişki desenlerinin tanımlanmasına odaklanmaktadır. Ağın bir grafik gibi sunulması, aktörler tarafından yürütülen ağdaki stokastik sürecin anlaşılabilmesini sağlamıştır. 1960'larda tartışılmaya başlayan grafik teori kavramıyla, sosyal ağın istatistiksel özellikleri farklı disiplinler tarafından da incelenmeye başlanmıştır. Ağın merkezindeki bireyin saptanmasına odaklanan Freeman (1978) ve Scott (1978)'in, sosyal ağdaki değişimi tanımlamaya odaklanan Wasserman ve Faust (1994)'un, ağın özelliklerini sunan bir grafiğin üretilmesine olanak tanıyan Watts ve Strogatz (1998) ile ağdaki ilişki değişimini tercihli bağlanma mekanizması yardımıyla açıklayan Barabasi ve Albert (1999)'in çalışmaları, sosyal ağ analizi araştırmalarına temel teşkil eden önemli kaynaklardır.

Bu çalışma, sosyal ağ yapılarının dinamik bir çevrede değerlendirilmesine olanak tanıyan spesifik modellerin incelenmesine odaklanmaktadır. Dinamik bir çevre içerisinde incelenen olaylar, ağdaki bireylerin davranışlarının gözlemlenmesi olarak tanımlanabilir. Gözlemlenen davranış desenleri ise, aktörlerin rasyonel seçimlerin bir sonucu olarak anlaşılmalıdır. Ağda yaşanan değişimleri aktörlerin bir zaman aralığında yaptıkları seçimlerin bir ürünü olarak değerlendiren; multinominal logit model, üstel rasgele grafik model, ilişki olay bazlı model ve stokastik aktör bazlı model çalışma kapsamında incelenecektir.

Sosyal ağ yapılarını dinamik bir süreç içerisinde değerlendiren modellerden;

- Multinominal logit model, davranış desenlerini rasgele seçimlerin sonucu olarak değerlendirmekte olup, stokastik aktör bazlı modelin alt fonksiyonlarında seçim olasılığının belirlenmesinde de kullanılması nedeniyle,
- Üstel rasgele grafik model, sosyal ağdaki yapısal etkilerin anlaşılması için bir araç görevi görerek, zaman içerisindeki tek bir noktadaki değişimin modellenmesine

odaklanmaktadır. Model, incelenen değişim verisinin dinamik olmayan yapısına rağmen, ağdaki dinamik efektlerin incelenmesine olanak tanınması nedeniyle,

- Stokastik aktör bazlı model, üstel rasgele grafik model ile yakından ilişkilidir. Stokastik aktör bazlı model, seçim ve etki kriterlerine bağlı olarak ağdaki değişimin modellenmesinde kullanılmaktadır. Ağ ve davranış değişimini birlikte ele alan stokastik aktör bazlı model, zaman içerisinde ağda meydana gelen değişimin modellenmesine olanak tanınması nedeniyle,
- Sosyal ağ içerisindeki bireylerin zamanla durumlarında meydana gelen değişimin incelendiği ilişkiyel olay bazlı model, ikili aktör setleri arasındaki sosyal etkileşime odaklanması nedeniyle,

çalışma kapsamında ele alınmıştır. Bahse konu modellere ilişkin teorik bilgiler, aralarındaki temel farklılıklar ve benzerlikler temelinde, alt başlıklar halinde irdelenmiştir.

II. Sosyal Ağ Analizi Üzerine Odaklanan Modellerin İncelenmesi

Literatürde, dinamik sosyal ağ yapılarının istatistiksel değerlendirilmesi üzerine odaklanan dört farklı modelleme tekniği bulunmaktadır. Bunlar; multinomial logit model (multinomial logit models:McFadden, 1974), üstel rasgele grafik model (exponential random graph models:Besag, 1974; Frank ve Strauss, 1986), stokastik aktör bazlı model (stochastic actor-oriented models-Snijders, 2001) ve ilişkiyel olay çerçeveli modeldir (relational event framework: Butts, 2008).

A. Multinomial Logit Model

Daniel McFadden (1974) tarafından geliştirilen rasgele seçim teorisine dayanan multinomial seçim süreci modeli, alternatif seçim seti içerisindeki her bir birimin seçim olasılığına dayalı geliştirilmiş bir modeldir. Bu model özellikle ekonomi alanında alım-satım kararlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin bir arabanın satın alınıp/alınmayacağı olayında aktörün geliri, sosyo-ekonomik durumu gibi bağımsız değişkenlere bağlı olarak seçimde yaşanan değişimi gösteren lineer bir modeldir. Model, ayrıca, iki aktör arasındaki cinsiyet benzerliğine dayalı olarak arkadaşlık kurma gibi sosyal bir yapıyı açıklamada da kullanılabilir (Stadtfeld, 2012:8-10).

Logit modelde seçim süreci, x bağımsız değişkenine bağlı y kararı, doğrusal bir fonksiyon yardımıyla matematiksel olarak ifade edilir. Burada, y_i^* rasgele değişkeni stokastik karar sürecinin bir çıktısı yani i . gözlemin sonucu gibi tanımlandığında, y_i^* fonksiyonun değeri x_i bağımsız değişkenine ve gözlemlenemeyen değişkenlere yani hata terimine bağlıdır (Hoetker, 2007:332) ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$y_i^* = \alpha x_i + \varepsilon_i$$

Bu ifade de y_i^* için, $\{1,0\}$ olmak üzere iki durumlu seçim seti tanımlandığında, ilgisiz alternatiflerin bağımsızlık şartı ve pozitif olasılık şartından dolayı (McFadden, 1974:109) $y_i^* > 0$ olduğunda, $y_i = 1$ değerini alır. Başka bir ifadeyle, araba alma

örneğine geri dönecek olursak aktör, araba alma yönünde bir karar verir, aksi durumda $y_i = 0$ değerini alır ve aktör araba almama kararı verir. Bir seçim deneyinde N farklı deneme gözlemlendiğinde ise, bireyin maksimum faydayı sağlayacak optimal seçimi yapacağından hareketle seçimin olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilir (McFadden, 1974:113-114).

$$P_{in} = P(X_{in}|S_n, B_n) = \frac{\exp(z_{in}\theta)}{\sum_{j=1}^J \exp(z_{jn}\theta')}$$

Bu ifadedeki (S_n, B_n) parametrelerinden; S_n aktörün özellik vektörünü, B_n de olası tüm alternatif seçimlerin yer aldığı seti temsil etmektedir. Ayrıca, s bireyin özelliklerini ve x seçim alternatiflerini göstermek üzere; popülasyonun zevklerini yansıtan bir $v(s, x)$ fayda fonksiyonu tanımlanabilir. z alternatif set efektleri ise, $z_{jn}^k = v^k(S_n, x_{jn})$ popülasyonun zevklerini yansıtan v_k vektörüne bağlı bir fonksiyondur. Bu ifade de, θ parametresi bilinmeyen parametredir ve gözlemlenen durumlara bağlı olarak tahmin edilir. McFadden'in modeli aktör ve seçim kovaryantlarını içerir. Bu nedenle önermiş olduğu şartlı logit model, kesin seçimlerin niçin yapıldığını açıklamaya yardım eder (Stadtfeld, 2012:12).

B. Üstel Rasgele Grafik Model

Rasgele grafikler, sosyal ağ yapılarını ve ikili ilişkileri içeren ampirik veri yapılarını tanımlamak için kullanılır. Holland ve Leinhardt (1981)'in yanı sıra Fienberg, Meyer ve Wasserman (1985) tarafından da incelenen log-lineer grafik modeller ile karşılıklı ilişki ve ağıın diğer sosyometrik özellikleri modellenmektedir. Wasserman (1980) ve diğerleri, grafik içerisindeki dinamik değişim için Markov süreçlerinin kullanılmasının gerektiğini savunmuştur. Markov bağımlılığı sürelidir ve bağımsız çiftler içinde geçerlidir. Ancak birçok uygulamada, yapının doğası gereği grafiklerin, etkileşimden kaynaklanan ikili bağımlılığı yansıttığı görülmüştür. Bağımlı yapının gerekli ve yeterli istatistiksel varsayımları sağlayarak grafik modeller ile sunulması gerekmektedir; ancak bu, mevcut istatistiksel teoriler ile sağlanamamıştır. Frank ve Strauss (1986) tarafından ağ, bireyler arasındaki binary ilişkiye ait bilgileri içeren veri yapıları olarak düşünülmüş ve bağımlı yapı Hammersley-Clifford teoremindeki (Besag,1974) uzaysal etkileşim modeliyle benzer şekilde ifade edilmiştir. Frank ve Strauss log-lineer istatistiksel modellerin, genel bağımlı yapı ve Markov bağımlılığı ile rasgele grafiklerin karakteristiği için kullanılabileceğini savunmuştur. Bu varsayımdan hareketle ağ içerisindeki üçlü yapı efektleri için yeterli istatistiksel taban sağlanmış olmaktadır. Frank ve Strauss'un bu yaklaşımı vasıtasıyla ağ içerisindeki bağımlı yapılar ifade edilebilmektedir (Frank ve Strauss,1986:832).

Üstel rasgele grafik modelin amacına geri dönecek olursak, sosyal ağların birer grafik gibi sunulabilmesi için bu model gözlemlenen grafiğin içerisindeki yapıyı, beklenen yapının rasgele grafiğine karşı değerlendirir (Stadtfeld, 2012:13). Grafikler, köşeleri (aktörleri) ve kenarları (aktörler arasındaki ilişki bağlarını) içerirler.

$$X = (N, E)$$

Bu gösterimde N ile düğümler ve E ile aktörler arasındaki bağlar/kenarlar temsil edilmektedir. Aktör ikilileri arasındaki ilişkinin yönünün belli olduğu durumları ifade eden yönlendirilmiş ağlarda, aktör i ve aktör j arasındaki bağ değişimini gösteren komşuluk matrisi, X_{ij} şeklinde gösterilen binary bir matristir. Spesifik bir grafiğin olasılığı;

$$P(X = x) = \frac{\exp(\sum_{k=1}^P \beta_k s_k(x))}{\sum_{x \in X} \exp(\sum_{k=1}^P \beta_k s_k(x))}$$

şeklinde ifade edilir. Bu formülasyonda yer alan s_k gözlemlenen grafik için ağ efekti, β_k ise s_k istatistiğini ağırlıklandıran reel bir sayıdır. Yönlendirilmiş ağlar için bir olasılık dağılımı sunan üstel rasgele grafik model, parametreler yardımı ile ağ içerisindeki yapısal eğilimi (Matthew efekti, karşılıklılık, geçişlilik efekti gibi) ya da aktör özelliklerini ve diyardik ilişki özelliklerini sunar (Lubbers ve Snijders, 2007:490).

Üstel rasgele grafik model ile ilgili bir diğer temel mesele de parametre tahminidir. Örneğin, gözlemlenen grafiğin olasılığı için β parametresinin değeri tahmini bir değer olarak anlaşılmalıdır. Tahminlemenin amacı, belli yaklaşımlar vasıtasıyla beklenen değere yaklaşık ya da tam bir uyum gösteren değeri hesaplamaktır. Markov rasgele grafik yönetiminin uyum zaafı nedeniyle farklı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu konu ile ilgili ilk olarak maksimum olabilirlik tahmin edicisinin birçok prensibini kullanan Besag'ın pseudo tahmin edicisi kullanılmış daha sonra Monte Carlo Markov Zinciri gibi yeni bir yaklaşım benimsenmiştir (Robins, et al., 2007:193).

C. Stokastik Aktör Bazlı Model

Ağ ve davranış sürecinin birlikte değerlendirmesi, ağın aktörlerinin bireysel kararlarının grup seviyesinde meydana gelen sonuçlarının bir kesitidir. Bu kararların modellenmesinde kullanılan her bir aktöre ait amaç fonksiyonu, kısa dönem içerisindeki sistematik eğilimler ile tercihleri gösteren terimleri ve de beklenmedik değişimleri gösteren hata terimini içermektedir (Snijders, et al., 2007:5). Bu değişimlerin farklı ağ tipleri üzerinde incelenmesine olanak tanıyan stokastik aktör bazlı model Snijders tarafından '1996-aşamalı ağ veri seti için', Snijders ve diğerleri tarafından '1997-binary veri seti için' önerilmiştir.

Snijders'in önermiş olduğu stokastik aktör bazlı model ile t kesit zamanda, ağdaki aktörler arası bağlarda meydana gelen değişimlerden yalnızca bir değişimin modellenebildiği varsayılır. Bu bağlamda, t zamanda değişim stokastik olarak tanımlandığında, bir düğümün, kendinden çıkan bağı ya da davranışını değiştirme fırsatı vardır. Yapılan değişimler 0 ya da 1 kaydı ile girildiğinde bağda yaşanan değişim 1 değerini, mevcut durum 0 değerini alır ya da var olan bağ siliniyorsa 0 değerini, mevcut durum 1 değerini alır. Değişim için elde edilen bu tür fırsatlara mikro adım denir (Snijders ve Baerveldt, 2003:128).

Mikro adımlarda, ağ değişimi ve davranış değişimi olmak üzere iki tür değişim modellenebilir. Ağ değişimi, verilen bir aktörün bağ değişkeninde meydana gelen değişim olarak yorumlanır (Steglich, et al., 2010:346). Davranış değişimi ise, ilgili

aktörün davranış veya tutumunda meydana gelen değişim olarak yorumlanır. Ağda yaşanan tüm bu değişimler oran fonksiyonu ve amaç fonksiyonu yardımıyla modellenir.

Aktörlerin bir değişiklik yapmak için elde ettikleri fırsatların sıklığı her iki tür değişim içinde oran fonksiyonu ile modellenir (Steglich, et al., 2010:348). Ağ ve davranış değişimi için ayrı ayrı iki oran fonksiyonu tanımlanır. Bunun ana nedeni, ağ ve davranış değişiminin gerçekte farklı sıklıklarda görülüyor olmasıdır.

Oran fonksiyonu λ işareti ile gösterilmektedir ve bekleme zamanında meydana gelmesi muhtemel değişimlerin oranını gösteren parametrenin dağılımının göstergesidir. Üstel dağılım yardımıyla modellenir. Bir Markov sürecinin elde edilmesi amacıyla mikro adımlar arasındaki τ_i bekleme zamanında üstel dağılım yardımı ile her bir i aktörüne ait ağ ya da davranış değişimi λ_i parametresi ile modellenir. Ağ değişimi için λ_i^{net} , davranış değişimi için ise λ_i^{beh} parametreleri tanımlanır. Dağılımların parametreleri ise meydana gelmesi muhtemel değişimlerin oranını göstermektedir (Steglich, et al., 2010:348). Değişimin oranı;

$$\lambda_i(\rho, \alpha, x) = \rho \exp\left(\sum_k \alpha_k a_{ki}(x)\right)$$

şeklinde formüle edilir Oran fonksiyonunda verilen $a_i = (a_{1i}, \dots, a_{ki})$ vektörü; ağ içerisindeki aktörün pozisyonu ya da davranışı gibi aktörün spesifik özelliklerini vurgulayan bir istatistiktir. α ise bu istatistiklere bağlı ağırlık vektörüdür. Ayrıca, $\rho > 0$ temel oran parametresidir ve her bir aktörün $a_i = 0$ olduğunda her bir mikro adımda yakalanan fırsatların ortalama sayısıdır (Snijders ve Steglich, 2013:12).

Her bir mikro adımda gerçekleşen, ağ veya davranış değişimi gibi iki tür değişim sonucu amaç fonksiyonu ile modellenir. Her bir aktörün ağ içerisindeki kendi pozisyonu için optimal kararı vereceği düşünüldüğünde, ağda yaşanan değişim kısa dönem tercihi, kısıtlara ve bilinmeyen değişkeni gösteren hata terimine bağlıdır (Burk, et al., 2007:398). Mevcut ağ durumu X_{ij} , gelecek ağ durumu ise x_{ij}' olarak tanımlandığında mevcut ağ durumu ilgili tek bir i aktörünün kendinden giden tek bir bağı değiştirmesi ile tamamen değişir ya da $x_{ij}' = X_{ij}$ olabilir. Başka bir ifadeyle mevcut durum korunabilir. Dolayısıyla, i aktörü N muhtemel sonuçtan, maksimum x_{ij}' pozisyonunu seçer (Snijders, 2001:7).

Amaç fonksiyonu, i aktörünün, x mevcut ağ pozisyonunda meydana gelen değişimin ilişki durumunun ağ içerisindeki yapısını temsil eden bir derecedir. Ağ değişimi için amaç fonksiyonu:

$$f_i^{net} = (x, x', z) + \varepsilon_i^{net}(x, x', z)$$

şeklinde. Bu ifade de f^{net} deterministik amaç fonksiyonudur ve aktörler arasındaki bağ değişimi için gösterilen çabanın sonucudur. Bu formülde z , mevcut davranış skorunun vektörüdür, ε^{net} ise beklenmedik değişimleri temsil eden rasgele dağılım terimidir. Mevcut ağ pozisyonunda yaşanacak değişimin olasılığı multinominal logit şekilde ifade edilir (Snijders, 2011:146) ve;

$$P(X = x_{ij}) = \frac{\exp(f_i^{net}(x', z))}{\sum_{x''} \exp(f_i^{net}(x'', z))}$$

şeklinde gösterilir. Bu ifade de payda, bir sonraki x'' ağ durumu için olası tüm sonuçların toplamını ifade etmektedir.

Aktör bazlı davranış modelinde, aktörün kendi davranışını diğer aktörlerin davranışına bağlı olarak değiştirdiği varsayılır. Dolayısıyla, ağ değişim süreci sosyal seçimin bir ürünü iken, davranış değişim süreci sosyal etkinin bir ürünüdür (Mercken, et al., 2012:452-453). Davranış değişkeni, iki seçeneğe (evet/hayır) olabileceği gibi kesikli ordinal (sigara kullanmayan, az kullanan, sık kullanan örneğinde olduğu gibi) değerler de alabilir. Bu bağlamda, davranış değişimi mikro adımında, ilgili aktörün davranış değişkeni skorunda bir birimlik artırıma ya da azaltmaya gittiği varsayılır. Değişim, belirlenen değişim aralığı içinde gerçekleşmek zorundadır ya da hiç bir değişim yaşanmayarak mevcut davranış skoru korunabilir. İlgili aktörün, muhtemel tüm z' davranış vektörleri arasından maksimum olanı tercih ettiği varsayılır. Davranış değişimi için amaç fonksiyonu da, ağ değişim amaç fonksiyonuna benzerdir. Bütün aktörler için mevcut davranış skoru z vektörü ile tanımlandığında, ilgili tek bir i aktörünün mevcut davranışını bir birim değiştirme fırsatı elde etme durumu, davranış amaç fonksiyonu ile gösterilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$f_i^{beh} = (x, z, z'), + \varepsilon_i^{beh}(x, z, z')$$

Bu ifade de f_i^{beh} farklı bir deterministik amaç fonksiyonudur ve davranışsal kararın sonucundan aktörün duyduğu memnuniyetin göstergesi olarak düşünülebilir, ε_i^{beh} ise bu formülde de beklenmedik değişimleri temsil eden rasgele dağılım terimidir. Davranış değişim olasılığı yine multinominal logit şeklinde ifade edilir:

$$P(Z = z_i) = \frac{\exp(f_i^{beh}(x, z'))}{\sum_{z''} \exp(f_i^{beh}(x, z''))}$$

Seçim olasılığının paydasındaki terim, bir sonraki olası tüm z'' davranış durumlarının toplamını göstermektedir. Modelin amaç fonksiyonu ilgili aktörün gerçek tercihini yansıttığı ve bireylerin tamamen stratejik olarak rasyonel davrandığı varsayılır (Steglich, et al., 2010:350-351). Yukarıdaki formüllerde, x' ve z' şeklinde tanımlanan ağ ve davranış değişim efektleri, aktörün sahip olduğu değişimin sunulmasına olanak tanır.

D. İlişkisel Olay Çerçevesi Model

Olay bazlı analizler zamanın bir kesitinde nesne değişikliğindeki dinamik trendlerin sunulmasında avantaj sağlar. Bu değişimler olay olarak adlandırılır. Olaylar, demografik analizler için doğum ya da ölüm, siyaset bilimi için hükümet ya da rejim değişikliği, pazarlama araştırmaları için tüketici davranış değişimi gibi zıt kutuplu

olaylar olabilir (Stadtfeld, 2012:22-23). Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle siyaset biliminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Brandes ve arkadaşları tarafından yürütülen politik ağ içerisindeki düşman ve dost ikilileri arasındaki etkileşimin ağırlıklandırılmasına odaklanan çalışma buna bir örnek olarak verilebilir (Brandes, et al., 2009).

Zaman içerisinde yaşanan etkinliklerin oluşumu, olay bazlı model için değişim oranı/risk fonksiyonu ve hayatta kalma fonksiyonu şeklinde iki farklı fonksiyon tanımlanarak ifade edilir. Burada, değişim fonksiyonu olayın meydana gelme eğiliminin tanımlanmasında, hayatta kalma fonksiyonu ise, değişim yaşanmaksızın zaman kesitinin uzunluğunun modellenmesinde kullanılır (Stadtfeld, 2012:23).

Butts (2008) tarafından, ilişkisel olayların oranının modellenmesi için genel bir çerçeve sunulmuştur. Olay bazlı modellemenin değişim oranı λ_i üstel dağılımdan üretilmektedir. Olay, bir zaman kesitinde veya noktasında meydana gelir ve gözlemlenen t zamanda olayın gerçekleşme olasılığı;

$$\lambda(t) = P(T = t | T \geq t; a_t, \beta Z_t)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade de, a_t terimi kovaryant 0 olduğunda olayın meydana gelmesi olasılığını yani başlangıç olasılığını yansıtmaktadır. βZ_t terimi ise kovaryant matrisini ve ilişkili olduğu parametreleri ifade etmektedir. Cox (1972)'un da ifade ettiği gibi bu olasılık, kovaryantın lojistik bağımlılığına bağlı olarak parametrelendirilebilir (Box-Steffensmeier ve Jones, 1997:1425). Olasılık;

$$\lambda(t) = \frac{1}{1 + \exp^{-[a_t + \beta Z_t]}}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlikteki β , katsayısı vektörünün ve Z_t , açıklayıcı değişken efektinin ölçüsüdür, a_t ise daha önce de ifade edildiği gibi zamana bağlı sabit bir katsayıdır (Desjardins, et al., 1999:378-379). Hayatta kalma fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P(t \leq T) = P(T = t | T > t - 1, z_1, \dots, z_t) = 1 - \exp(-(\exp(a_t + \beta Z_t)))$$

Gözlemlenen t zamanda hiçbir olayın gerçekleşmeme olasılığı ise;

$$1 - P(t \leq T) = P(t > T) = \exp(-(\exp(a_t + \beta Z_t)))$$

ifadesiyle gösterilir. Bu olasılık, üstel değişim oran modelinin hayatta kalma fonksiyonu olarak tanımlanır. Belirli bir w_i olayının gözlemlenmesinin olasılığı $\frac{\lambda_i}{\lambda}$ olduğunda ve $\exp(-(\exp(a_t + \beta Z_t))) = \exp(-\lambda \delta)$ kabul edildiğinde; belirli bir olayın olasılığı ise;

$$L(w_i; T) = \lambda \exp(-\lambda \delta) \cdot \frac{\lambda_i}{\lambda} = (\lambda_i) \cdot \exp(-\lambda \delta)$$

şeklinde. Başka bir deyişle, değişim oranı ile hayatta kalma fonksiyonunun çarpımından elde edilir. Üstel değişim oran modeline bağlı, Butts (2008)'in önermiş olduğu ilişkiyel olay çerçevesi modelde ise alıcı-gönderici rolleri arasındaki ilişkiyel olaylar dizisi modellenir. Gözlemlenen olayın olasılığı ise, her bir gözlemlenen w_v olayı, i_v göndericisine, j_v alıcısına ve t_v zamanına bağlı olarak tanımlandığında;

$$L(\varphi_\tau) = \prod_{w_v \in \varphi_\tau} \lambda_{i_v j_v} \prod_{\delta \in \Delta_\tau} \prod_{(k \rightarrow l) \in A} \exp(-\delta \lambda_{kl})$$

değişim oranı *hayatta kalma fonksiyonu*

şeklinde. Bu ifadenin solunda i_v göndericisi ile j_v alıcısının değişim oranı, sağında ise olası alıcı ve gönderici kombinasyonları için iki olay arasındaki zaman aralığında değişimin gözlemlenmemesi ifade edilmektedir.

Snijders (2001)'in alıcı seçim alt modellerinde önermiş olduğu gibi, somut olaylar, multinominal olasılık kullanılarak modellenebilir; fakat, aktör bazlı modelde olduğu gibi McFadden (1974) tarafından önerilen multinominal logit model ile formüle edilemez. Burada multinominal olasılık yerine ilişkiyel olayların meydana gelme eğilimleri ifade edilmektedir. Bireysel karar setleri yerine, mevcut durum içerisindeki tüm gönderici-alıcı kombinasyonlarını içeren mümkün olaylar seti kullanılmaktadır. Bu nedenle, Butts (2008) modelini, aktör bazlı modellerin aksine davranış bazlı olarak isimlendirmiştir (Stadtfeld, 2012:24-25).

III. Modellerin Kategorize Edilmesi

Sosyal ağ analizi, sosyal ağ kapsamında ele alınan sosyal fenomenler arasındaki karmaşık yapının anlaşılması ile sosyal yapının ilişkiyel ve yapısal özelliklerinin incelenmesi için bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Modern sosyolojinin bir tekniği olarak ortaya çıkan sosyal ağ analizi; aynı zamanda, sosyal bilimlerdeki iktisat, ekonomi, antropoloji, biyoloji, coğrafya, iletişim çalışmaları, toplum dilbilimi, sosyal psikoloji gibi daha birçok alanda popülerlik kazanmış bir tekniktir (Lay, 2011:2).

Scott'ın değindiği üzere, akrabalık yapısının çözümlenmesinde, sosyal hareketliliğin anlaşılmasında, üyeler arasındaki olağan dışı gruplaşmanın tespitinde, uluslararası ticaret istismasının belirlenmesinde, kurumsal güç unsurlarının tanımlanmasında veya sınıf yapısının anlaşılmasında sosyal ağ analizi kullanılmaktadır (Scott, 1988:109).

Konuya ilişkin olarak literatürde son zamanlarda yoğunluk kazanan çalışmalar ise, ağın muhtemel yapısının ve davranış şeklinin tahmin edilmesi üzerine odaklanmaktadır. Dinamik bir çevrede sosyal ağda meydana gelen değişimin matematiksel olarak ifade edilmesine odaklanan araştırmalar, mevcut alternatif değişim efektleri içinden gerçekleşen değişimin hangi model ile açıklanabileceği üzerinde durmaktadır. Değişim efektlerindeki bu çeşitlilik, ağdaki aktörler arasında meydana gelen etkileşimin farklı açılardan değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Aktörler arasındaki ilişkilerin farklı açılardan incelendiği çalışmalardan, Koskinen ve Edling (2012)'in yürütmüş oldukları, Stockholm Borsası birincil listesinde işlem gören tüm şirketlerin kurumsal yönetim kurulu verilerinin analiz edildiği çalışmada, iç içe

geçmiş müdürlükler teorisi temelinde kuruldaki yönetim akışı ve atama süreci incelenmiştir. Bu çalışmada, olaylarda ya da üyeliklerin paylaşılmasında, örneğin işe alımlar ya da atamalardaki referanslar gibi opsiyonların sosyal aktörler arasındaki bağların oluşumunu nasıl tetiklediği gözlemlenmiştir. Salathe ve arkadaşlarının (2013) yapmış olduğu çalışmada, sağlık duyarlılığının yayılımına yönelik olarak H1N1 aşısı ile ilgili online bir topluluk incelenmiş ve farklı tipteki duyarlılığın değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre, negatif duyarlılığın bulaşıcı olduğu ve pozitif duyarlılığın ise genellenemeyeceği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, kitlesel etki ve sosyal yayılımın sosyal ağlardaki davranış dinamikleri üzerindeki etkisinin içeriğe bağlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Görüldüğü üzere, ağdaki değişimi açıklamak için; aktörün bireysel özelliklerine, aktör ikililerin özelliklerine ve ağın odağına (bireyleri bir araya getiren motivasyona) ait bilgilere ihtiyaç vardır ve tüm bu parametreleri tek tek değerlendirmek ise mümkün değildir. Bu nedenle parametreleri ve çeşitli değişim efektlerini içeren sosyal ağ yapılarını değerlendirebilen modellere ihtiyaç duyulduğu aşikardır.

Literatürde, ağ ve davranış dinamiklerini değerlendiren pek çok çalışma mevcut olup bu çalışmaların altında farklı kavramsal mekanizmalar yatmaktadır. Verilen örnek çalışmaların çeşitliliğinden de görüleceği üzere, ağın dinamiklerinin belirlenmesi, araştırmanın amacına ve kapsamına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ağın yapısal özelliklerinin, davranışının ve performansının tanımlanması ya da ağın yetenek ve kapasitesinin tanımlanması için farklı modeller benimsenebilir. Dolayısıyla, incelenecek değişim türüne bağlı olarak, ağda meydana gelecek değişimin modellenmesinde izlenecek yol değişebilir. Bu çalışmada, ağdaki muhtemel değişimleri farklı açılardan ele alan dört model incelenmiştir.

Çalışmada detayları verilen modeller, tek ya da kısıtlı sayıda eğilimler üzerine odaklanmak yerine, ağda yaşanan değişimleri dinamik bir çerçevede ele almaları nedeniyle tercih edilmiştir. Ele alınan modeller dışında literatürde yer alan başka modeller de mevcuttur. Ancak, bu modellerin bazılarında düğümler sırayla eklenmekte ve var olan bağlar silinememektedir ya da bu modeller ağ üzerindeki diğer etkilerin kontrolüne izin vermemektedir. Bu modeller üzerinden nasıl tahminleme yapılacağı ve test parametrelerinin açık olarak belirtilmemesi nedeniyle çalışma dört model ile kısıtlanmıştır.

Sosyal ağ yapılarının matematiksel olarak modellenmesi üzerine odaklanan dört modele ilişkin; modellerin tanımlarına, bileşenlerine, kullanılan veri tiplerine ve odaklandıkları değişim türlerine ait bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

En temel yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilebilecek olan multinominal logit model, t kesit zamandan bağımsız, aktörün seçim sürecinin aktörün özelliklerine bağlı olarak modellendiği, seçimin niçin yapıldığını açıklamaya yardım eden olasılık temelli bir yaklaşımdır. Üstel rasgele grafik model, t kesit zamana bağlı olarak sosyal ağ yapılarının ve ikili ilişkilerin birer grafik gibi sunulmasında kullanılan yaklaşımdır ve ağ efektlerinin sunulmasında oldukça zengin bir literatüre sahiptir. İlişkisel olay çerçevesi model ile bireysel karar setleri yerine, mevcut durum içerisindeki tüm gönderici-alıcı kombinasyonlarını içeren mümkün olaylar seti kullanılmaktadır. Ayrıca, olayların meydana gelme eğilimleri değişim oranı ve hayatta kalma fonksiyonu olmak üzere iki

alt fonksiyon kullanılarak tanımlanmaktadır. Stokastik aktör bazlı model de ise, yapısal ağ kararları, stokastik bir süreç içerisinde panel veri yardımıyla değerlendirilmektedir. Stokastik aktör bazlı modelde, ilgili aktöre ait ağ değişim süreci ile davranış değişim sürecine ilişkin iki tür değişim, oran fonksiyonu ve amaç fonksiyonu olarak isimlendirilen iki alt fonksiyon yardımıyla modellenmektedir. Oran fonksiyonu, ilgili tek bir aktörün değişiklik yapmak için elde ettiği fırsatların sıklığı olarak değerlendirilmekte olup, ilişkisel olay çerçeveli modelde olayların meydana gelmesinin tanımlanmasında kullanılan değişim oran fonksiyonu ile benzerlik göstermektedir. Bu fonksiyonların her ikisi de üstel dağılımdan elde edilmektedir.

Amaç fonksiyonu, mevcut ağ pozisyonunda yaşanacak değişimin olasılığıdır ve multinominal logit şeklinde ifade edilir. İlişkisel olay çerçeveli modeldeki hayatta kalma fonksiyonunda ise tam tersi bir yaklaşım söz konusudur. Hayatta kalma fonksiyonu, mevcut ağ pozisyonunun korunmasının modellenmesi olarak düşünüldüğünden ağda ilgili zaman diliminde herhangi bir değişimin yaşanmadığı kabul edilir, amaç fonksiyonu ise yaşanacak değişimin bir sonucu olarak değerlendirilir. Ayrıca, stokastik aktör bazlı modelde t kesit zamanda yaşanacak değişim, üstel grafik modeldeki yaklaşıma benzer şekilde ağ ve davranış efektleri yardımıyla sunulur.

Bu kısımda, ağ yapılarının modellenmesinde tercih edilebilecek yaklaşımlar farklı alt başlıklar altında incelenmiş olup, ele alınan kategorilerde modellere ait bilgiler sunulmuştur. Modellerin kullanımına ait bilgilerin verildiği tablodan da anlaşılacağı üzere, araştırmanın amacına ve kapsamına bağlı olarak ağda yaşanan değişime ilişkin model, kullanılan yaklaşım çerçevesinde değişkenlik gösterebilir. Sosyal ağlarda, yaşanan değişimlerin dinamik bir çevrede ele alınarak modellenmesinde araştırmacının hangi değişim türüyle ilgilendiği bilgisi, tercih edilecek yaklaşımın belirlenmesinde yol gösterici olabilir.

Tablo 1. Modellerin Kategorize Edilmesi

Modelin Adı	Modelin Tanımı	Modelin Bileşenleri	Veri Tipleri	Ağ Değişimi	Davranış Değişimi
Multinomial Logit Model	Aktörün özelliklerine bağlı olarak seçim sürecinin modellendiği olasılık temelli bir yaklaşımdır	Aktör ve seçim kovaryantlarını içeren seçim olasılığı	Alternatif seçim seti içerisinde tek kişilik seçimlerin açıklanmasında kullanılan model, birden fazla seçeneğin aynı anda gerçekleşme durumunun modellenmesine uygun değildir	Mevcut ağ pozisyonunda yaşanacak değişimin olasılığı multinomial logit şeklinde ifade edilebilir	Benzer şekilde, yaşanacak davranış değişiminin olasılığı multinomial logit şeklinde ifade edilebilir
Üstel Grafik Model	Ağ yapılarının birer grafik gibi sunulmasında kullanılan bir yaklaşımdır	Ağ içerisindeki yapısal eğilimi sunan grafik olasılığı	İlişki veri setleri, etkileşim veri setleri, akış veri setleri gibi kesit verileri incelenmektedir	Çeşitli ağ değişim efektleri yardımıyla ağ içerisindeki değişimin görsel olarak sunulmasını sağlar	Model, sosyal ilişkilerin davranış değişimini etkileyip etkilemediğinin tespit edilmesinde de kullanılabilir
Stokastik Aktör Bazlı Model	Ağ ve davranış değişimi gibi yapısal ağ kararlarının, stokastik bir süreç içerisinde modellendiği aktör bazlı bir yaklaşımdır	1. Oran Fonksiyonu 2. Amaç Fonksiyonu	Boylamsal ağ çalışmalarına olanak tanıyan panel veri seti kullanılmaktadır	Ağ değişim efektleri yardımıyla ağ içerisinde düğümler arasında yaşanan değişim matematiksel olarak modellenir	Aktörün davranış değişimini yansıtan, davranış değişim efektleri yardımıyla ağ içerisinde yaşanan davranış değişimi matematiksel olarak modellenir
İlişkisel Olay Çerçevesi Model	Olayların meydana gelme eğilimlerinin ve yaşam sürelerinin modellendiği davranış temelli bir yaklaşımdır	1. Değişim oran fonksiyonu 2. Hayatta kalma fonksiyonu	Bir grup aktör ya da bileşen arasında zaman içerisinde meydana gelen olaylardan ortaya çıkan, olay akışı verileri incelenmektedir		Mevcut durum içerisindeki tüm gönderici-alıcı kombinasyonlarını içeren mümkün olaylar seti kullanılarak davranış değişimi modellenir

IV. Sonuç

Dinamik sosyal ağ yapılarının modellenmesi; ağda yaşanan değişimlerin tahminine olanak tanınması, ağdaki değişimleri etkileyen değişkenlerin belirlenmesi ve bireylerin optimal kararı vereceğinden hareketle ağın gelecekteki durumuna ilişkin çıkarsamalarda bulunulabilmesi açısından sosyal ağ analizi çalışmaları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Çalışmada ele alınan modeller, ağdaki değişimin fotoğrafını çekmek yerine, dinamik bir süreç içerisinde meydana gelen değişimlerin ele alınmasına olanak tanımaktadır.

Çalışmada, sosyal ağ yapılarının değerlendirilmesi üzerine odaklanan dört model; multinominal logit model, üstel rasgele grafik model, stokastik aktör bazlı model ve ilişkisel olay çerçeveli model irdelenmiştir. Sosyal ağ analizinin farklı alanlardan ve teorilerden beslenen bir literatüre sahip olduğu gerçeğinden hareketle, çalışmada ele alınan modellerin teorik yaklaşımlarının birbirinden beslenen ve desteklenen bir çerçevede sunulduğu göze çarpmaktadır. Çalışmada, genel olarak, modellerin teorik alt yapılarına ilişkin bir inceleme yapılmış olup, sosyal ağlarda ağ ve davranış dinamiklerinin incelenmesine odaklanacak gelecekteki çalışmalara yol gösterici olması açısından modellere ilişkin bir kategorizasyon yapılmıştır.

Araştırmanın amacına ve kapsamına bağlı olarak benimsenecek yaklaşımın da değişiklik göstermesi beklenmekle birlikte, modellerin birbirlerine kıyasla bazı üstünlüklerinin olduğu göze çarpmaktadır. Multinominal logit model, kesikli alternatif seçim setinin var olduğu durumda seçim sürecinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, bu model birçok modelin alt fonksiyonlarında, stokastik aktör bazlı modelin amaç fonksiyonunda gerçekleşen değişimin multinominal logit şekilde ifade edilmesi gibi, seçim olasılıklarının sunumunda tercih edilmektedir. Ağ değişiminin kesit veriler yardımıyla matematiksel olarak ifade edilmesine olanak tanıyan üstel rasgele grafik model, dinamik değişim efektleri ile ağın grafiksel sunumunda öne çıkan etkin bir modellemedir. İlişkisel olay çerçeveli model ise, olay akış verilerinin incelenmesinde, aktöre değil olaya odaklanılması gereken örnek olay çalışmalarında tercih edilebilir. Ağ ve davranış değişiminin sunulmasında, üstel rasgele grafik model ile aynı değişim efekti havuzundan beslenen stokastik aktör bazlı model ise, bağ formları üzerindeki aktör bazlı mikro mekanizmaların çeşitliliğine izin vermekte ve verilen mekanizmaların eş zamanlı etkilerinin değerlendirmesine olanak tanımaktadır.

Bu araştırma çerçevesinde, özetle; konuya ilişkin olarak gelecekte yapılacak çalışmalara yardımcı olması açısından, dinamik bir çevrede sosyal ağdaki değişimlerin incelenmesinde, seçim süreci modellenirken multinominal logit modelin, ağ değişiminin grafiksel gösteriminde üstel rasgele grafik modelin, ağ ve davranış değişiminin birlikte değerlendirilmesinde stokastik aktör bazlı modelin ve aktöre değil olaya odaklanılan çalışmalarda da ilişkisel olay çerçeveli modelin tercih üstünlüğünün olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda, örneğin; şirket evliliklerine ilişkin süreçte, muhtemel adayların yer aldığı bir setin söz konusu olduğu durumlarda, ilgili şirketin hangi şirket ile birleşeceğine ilişkin yapılacak olan çalışmalarda multinominal

logit modelin, sosyal bir ağda zamana bağlı arkadaş değişiminin grafiksel sunumunda üstel rasgele grafik modelin, madde kullanımına ilişkin olarak bir ağ içerisindeki madde kullanımı-arkadaşlık yapısının incelenmesinde stokastik aktör bazlı model, twitter üzerinde bir konu başlığının (hashtag) ömrünün belirlenmesinde ilişkisel olay bazlı modelin kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışma, bu haliyle, sosyal ağdaki değişimlerin dinamik bir çerçevede incelenmesine odaklanacak gelecekteki çalışmalarda benimsenecek modelin saptanmasında araştırmacılara yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Kaynakça

Barabasi A. L. ve Albert, R. (1999). "Emergence of Scaling in Random Networks", *Science* 286, pp. 509–512.

Besag J. E., (1974), "Spatial Interaction and the Statistical Analysis of Lattice Systems", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)* 36 (2), pp. 192–236.

Box-Steffensmeier J. M., Jones B. S. (1997), "Time is of the Essence: Event History Models in Political Science", *American Journal of Political Science* 41, pp. 1414-1461.

Brandes U., Lerner J., Snijders T.A.B. (2009), "Networks Evolving Step by Step: Statistical Analysis of Dyadic Event Data", In: *Proceedings of the 2009 International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining*, IEEE Computer Society, pp. 200–205.

Burk W. J., Steglich C.E.G., ve Snijders T.A.B., (2007), "Beyond Dyadic Interdependence: Actor-Oriented Models for Co-Evolving Social Networks and Individual Behaviors", *International Journal of Behavioral Development* 31 (4), pp. 397-404.

Butts C. T. (2008), "A Relational Event Framework for Social Action", *Sociological Methodology* 38 (1), pp.155–200.

Desjardins S.L., Ahlburg D. A., McCall B. P. (1999), " An Event History Model of Student Departure", *Economics of Education Review* 18, pp. 375-390.

Fienberg S.E., Meyer M. M., Wasserman S., (1985), "Statistical Analysis of Multiple Socio-metric Relations", *Journal of the American Statistical Association* 80, pp:51-67.

Frank O., Strauss D., (1986), "Markov Graphs", *Journal of the American Statistical Association*, 81 (395), pp. 832–842.

Freeman, L. C. (1978/1979), "Centrality in Social Networks Conceptual

Clarification", *Social Networks*, vol 1, pp. 215-239.

Hoetker G.(2007), " The Use of Logit Probit Models in Strategic Management Research: Critical Issues", *Strategic Management Journal*, J: 28, pp. 331-343.

Holland P. W., Leinhardt S., (1981), "Exponential Family of Probability Distributions for Directed Graphs", *Journal of the American Statistical Association* 76 (373), pp. 33-50.

Katz N, Lazer D., Arrow H., ve Contractor N., (2004), " Network Theory and Small Groups", *Small Group Research*, vol: 35, no:3, page: 307-332.

Koskinen J., Edling C., (2012), "Modelling the Evolution of a Bipartite Network-Peer Referral in Interlocking Directorates", *Social Networks*, vol: 34, page: 309-322.

Lubbers M. J., ve Snijders T.A.B. (2007), "A comparison of Various Approaches to the Exponential Random Graph Model: A Reanalysis of 102 Student Network in School Classes", *Social Networks* 29, pp. 489-507.

McFadden D.(1974), "Conditional Logit Analysis Of Qualitative Choice Behavior", In: Zarembka, P. (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press Inc., New York, Ch. 4, pp.105-142.

Mercken L., Steglich C., Sinclair P., Holliday J., Moore L., (2012), "A Longitudinal Social Network Analysis of Peer Influence, Peer Selection, and Smoking Behavior Among Adolescents in British Schools", *Health Psychology* 31:4,pp. 450-459.

Moreno, J.L. (1941), "Foundations of Sociometry: An Introduction", *American Sociological Association: Sociometry*, Vol. 4, No. 1, pp. 15-35.

Robins G., Snijders T., Wang P., Handcock M., Pattison P. (2007), "Recent Developments in Exponential Random Graph (p*) Models for Social Networks", *Social Networks* 29, pp. 192-215.

Salathe M., Q Vu D., Khandelwal S., ve Hunter D. R, (2013), "The Dynamics of Health Behavior Sentiments on Large Online Social Network", *EPJ Data Science*, vol: 2, Springer.

Scott, J. (1998), " Trend Report Social Network Analysis", *Journal of Sociology*, vol 22, pp.109-127.

Snijders T.A.B.(2001), "The Statistical Evaluation of Social Network Dynamics", *Sociological Methodology* 31, pp. 361-395.

Snijders T.A. B. ve Baerveldt C. (2003), "A Multilevel Network Study of the Effects of Delinquent Behavior on Friendship Evolution", *Journal of Mathematical Sociology*, vol: 27, page:123-151.

Snijders T.A.B., Steglich C.E.G., Schweinberger M. (2007), "Modeling the Co-Evolution of Networks and Behavior", In: *Longitudinal models in the behavioral and related sciences*, edited by Kees van Montfort, Han Oud and Albert Satorra; Lawrence Erlbaum, pp.41-71.

Snijders T.A.B., (2011), "Statistical Models for Social Networks", *Annual Review of Sociology*, vol: 37, page: 131–153.

Snijders T.A.B. ve Steglich C.E.G. (2013), "Representing Micro-Macro Linkages by Actor-based Dynamic Network Models", *Sociological Methodology and Research*.

Stadtfeld C. (2012), "Events in Social Networks", KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, Deutschland.

Steglich C., Snijders T.A.B, Pearson M. (2010), "Dynamic Networks and Behavior: Separating Selection From Influence", *Sociological Methodology*, vol:40, issue:1, page: 329-393.

Wasserman S. ve Faust K. (1994), "Social Network Analysis", Cambridge University Press, UK.

Wasserman S., (1980), "Analyzing Social Networks as Stochastic Processes", *Journal of the American Statistical Association* 75 (370), pp. 280–294.

Watts D. C. ve Strogatz S. H. (1998), "Collective Dynamics of 'small-world' Networks", *Nature* 393, pp.440-442.