



## RENYİ ENTROPI İLE ÜLKELERİN HAVA TRAFİĞİNİN ANALİZİ

İhsan TUĞAL<sup>1\*</sup>, Ali KARCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Havayolu,  
Kompleks Ağlar,  
Çizgeler,  
Renyi Entropi,  
Düğüm Merkeziliği.

### Öz

Merkezlilik sosyal ağ analizi yapan kişilerin en çok çalıştığı konulardan biridir. Bir ağdaki en etkili ve sisteme etkisi olan varlıkların tespiti merkezlilik ölçüleri ile bulunabilir. Bu çalışmada Renyi entropi ile havayolu trafiği verileri kullanılarak bu alandaki en etkili ülkeler çizge yapısında analiz edildi. Hava trafiğinde en merkezi ülkeler tespit edildi. Ağırlıklı ve yönlü bir ağda Renyi entropi ile merkezlilik ölçümlerinin yapılabileceği gösterildi. Bir ağdaki hayati öneme sahip düğümlerin tespiti için bir yöntem önerildi. Shannon'dan farklı olarak Renyi'de  $\alpha$  katsayısı kullanılarak farklı durumlar için sonuç elde edilebileceği görüldü. Sadece kenar ağırlıklarının veya düğüm derecelerinin etkisinin ölçülmesi bazen doğru sonuçlar vermediği için  $\alpha$ 'nın bu etkiyi ayarlamak için kullanılması daha doğru sonuçlar almamızı sağladı.

## AIR TRAFFIC ANALYSIS OF COUNTRIES WITH RENYI ENTROPY

### Keywords

Air Traffic,  
Complex Networks,  
Graphs,  
Renyi Entropy,  
Node Centrality.

### Abstract

Centrality is one of the most frequently studied subjects of social network analysis. The identification of the most effective entities in a network or system can be found by measures of centrality. In this study, using the data of air traffic with Renyi entropy, the most influential countries in this field were analyzed in the graph structure. The most effective countries in air traffic were identified. It has been shown that centrality measurements can be made with Renyi entropy in a weighted and directional network. A method for the detection of vital nodes in a network was proposed. Difference from Shannon, it was observed that results could be obtained for different situations by using the  $\alpha$  coefficient in Renyi. Sometimes measuring only the effect of edge weight or node degree does not yield accurate results. Using  $\alpha$  to adjust this effect has enabled us to get more accurate results.

### Alıntı / Cite

Tuğal, İ., Karcı, A., (2019). Renyi Entropi ile Ülkelerin Hava Trafiklerinin Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 843-853.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Tuğal, 0000-0003-1898-9438  
A. Karcı, 0000-0002-8489-8617

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.12.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.06.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

### 1. Giriş

Hava taşımacılığının etkin yönetimi, ağdaki havayolu rollerinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Bir ülkenin hava trafiğinin kritik olup olmadığını tespit etmek için önerilmiş evrensel yöntem veya kriterler yoktur. Hub (merkez) dediğimiz köprü görevi gören havaalanları vardır. Ülkeler arasındaki hava bağlantısını oluşturan noktalardır. İki ülke arasındaki uçuş mesafesi uzun olduğunda ve yolcu sayısı az olan

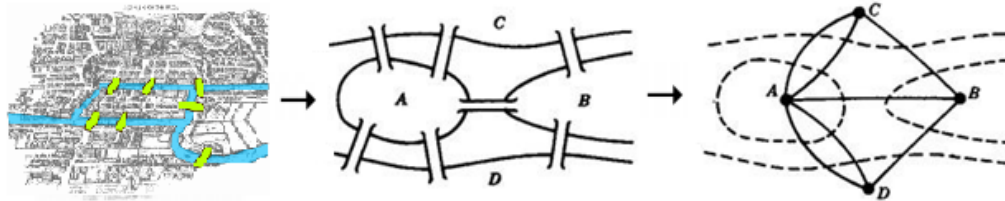
bölgelere ulaşım bu ortak noktalar üzerinden sağlanır. Yolcu yoğunluğuna göre uçuş sayısı ve yeni rotalar oluşur. Ülkelerin ekonomisi ve stratejik konumunu güçlendirmek için havayolu taşımacılığı önemli bir etkidir. Bir ülkenin prestiji açısından havaalanlarında verilecek hizmetin kalitesi ve yolcuların memnuniyeti çok önemlidir. Bu yüzden havayolu ağlarının iyi analiz edilmesi, doğru ve etkin kararların alınmasına yardımcı olur. Yerinde ve zamanında yapılacak yatırımların önünü açar.

\* İlgili yazar / Corresponding author: i.tugal@alparslan.edu.tr, +90-436-249-4949

Verilerin geleneksel yöntemlerle analizi dışında, verideki gözle görülemeyen işe yarar bilgilerin elde edilmesi için farklı yaklaşımlarda denenmeli ve kullanılmalıdır. Verinin değerlendirilmesinde, alınan sonuçlarda kullanılan metodoloji de önemli bir etkidir. Bu çalışmada mevcut veri üzerinden yani uçuş noktası bilgileri ve uçuş sayısına göre oluşan ağda bu merkezi noktalar tespit edilmeye çalışıldı. Ağdaki kritik havaalanlarının (ülkelerin) tespiti sadece istatistiki bilgilerle yapıldığında eksik durumların oluşacağı kesindir. İlişkisel yapıdaki kompleks verilerde sosyal ağ analiz yöntemleri kullanılarak analizler yapılabilir. Analizler, dünyadaki hava taşımacılığı ağlarının küçük dünya ağları olduğunu göstermektedir (Cong vd., 2016). Bilindiği üzere bir ağdaki hayati öneme sahip düğümlerin tespiti merkezilik hesaplamaları ile yapılabilir (Du vd., 2014; Everett ve Borgatti, 2005; Freeman, 1978; Wang vd., 2017). Dünyadaki merkezi havaalanlarının tespiti de merkezilik ölçümleri ile elde edilebilir. Bu çalışmada geleneksel merkezilik ölçümleri yerine entropi tabanlı merkezilik kullanılarak analizler yapıldı (Fei ve Deng, 2017; Nie vd., 2016; Tutzauer, 2007). Entropi genelde fizikte kullanılan bir kavramdır. Burada havayolu ve buna benzer sosyal ağlarda analiz için kullanılabilir entropi tabanlı bir yöntem önerildi. Shannon entropiyi içinde barındıran Renyi entropi kullanıldı. Elde edilen sonuçlar farklı bir bakış açısı sağladı. 2. Bölümde sosyal ağlar kısaca açıklandı. 3. Bölümde Entropi kavramından bahsedildi. Çizge entropi, Shannon ve Renyi entropi açıklandı. 4. Bölümde çözüm için bir yöntem önerildi ve bu yöntemle göre elde edilen uygulama sonuçları gösterildi. 5. Bölümde ise sonuçlar değerlendirildi.

## 2. Sosyal Ağlar

Sosyal ağların temeli çizge teorisine dayanmaktadır. 1736 yılında Leonhard Euler, Königsberg'teki 7 köprü problemine çözüm ararken çizge teorisinin temellerini atmıştır. Probleme, "4 kara parçasını birbirine bağlayan 7 köprüden bir kere geçmek şartıyla bütün şehri dolaşabilir miyiz?" sorusuna cevap aranmıştır. Bunun mümkün olmadığını Euler matematiksel yöntemlerle göstermiştir (Alexanderson, 2006).



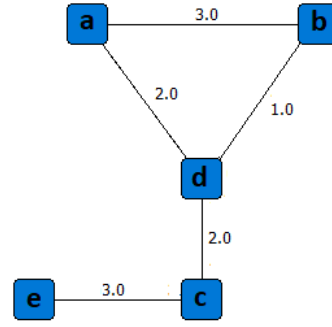
Şekil 1. Königsberg köprüleri

Moreno ve Jennings, bir kız yetiştirme yurdunda kalan kızlardan bazılarının okuldan kaçmasının sebeplerinin kişisel özelliklerden daha çok kızların ilişki ağından kaynaklandığını fark ettiler (Moreno, 1934). Bu çalışmadan bir topluluğu anlamının yolunun resmin tamamına bakmaktan geçtiği anlaşıldı. Bu çalışmalar sosyal ağ analizi dediğimiz yeni bir disiplinin ortaya çıkmasına sebep oldu. İlişkili/bağlantılı yapılar her yeni günde daha da gelişen yeni sosyal ağ analizi yöntemleri ile incelenmekte; psikoloji, fizik, biyoloji, kimya, tıp, ekonomi, işletme, sosyal medya, ulaşım ağları ve daha birçok alanda uygulamaları geliştirilmektedir.

Ağ yapısı  $G = (V, E)$  şeklinde tanımlansın.  $G$  çizge,  $V$  düğümler,  $E$  kenarlar olarak ifade edilebilir. Matematiksel olarak bu yapıyı ifade etmek için matrisler kullanılabilir. Şekil 2'de örnek bir çizge yapısı oluşturuldu.

Düğümler kümesi  $V = \{a, b, c, d, e\}$  ve kenarlar kümesi  $E = \{\{a, b, 3\}, \{a, d, 2\}, \{b, d, 2\}, \{c, d, 2\}, \{c, e, 3\}\}$  olur. Oluşturduğumuz ağda kenarların ağırlığı var. Ağırlıksız ağlarda iki düğüm arasında ilişki varsa kenar 1 değerini alır, yoksa 0 değerini alır. Bu ilişki yönlü de olabilir. Örneğin a düğümü b düğümünü telefon ile aramışsa bir yönlü yapı vardır denilebilir. İlişkinin yönü matriste belirtilebilir. İlişkiye olan düğümler komşu düğümlerdir. Bu ilişkiye farklı anlamlar yüklenebilir. Arkadaşlık, ticari bağlantı, haberleşme, ortak bilgi gibi (Leskovec vd., 2014).

		Düğümler				
		a	b	c	d	e
Düğüm	a	0	3	0	2	0
	b	3	0	0	1	0
	c	0	0	0	2	3
	d	2	1	2	0	0
	e	0	0	3	0	0



Şekil 2. Örnek ağ

### 3. Entropi

Entropi kavramı ilk defa Alman Fizikçi Rudolf Clausius tarafından kullanıldı. Yunanca kökenli olup "Bir sistemin düzensizlik derecesinin ölçüsü" anlamını ifade eder. Termodinamiğin ikinci yasasında bahsedilen enerjinin korunumu ilkesini açıklamak için kullanıldı (Wikipedia.org, n.d.). Daha sonraları Shannon (Shannon, 1951) iletişimdeki belirsizliği ölçmek için entropiyi önerdi. Shannon'un önerdiği yöntem olasılıksal belirsizliğe dayandığı için birçok farklı alanda da kullanılmaya başlandı. Bilindiği üzere bir sistemde olasılıksal belirsizlik varsa, buradan bilgi elde edilebilir. Olasılığı düşük olaylar daha fazla bilgi barındırır. Belirsizlik ile bilgi arasında ters orantı vardır. Belirsizliği ölçen fonksiyonlara entropi fonksiyonu denir. Rashevsky (Rashevsky, 1955), Trucco (Ernesto, 1956) ve Mowshowitz (Mowshowitz, 1968), çizgelerde Shannon entropisini ilk kullanan kişilerdir (Dehmer ve Mowshowitz, 2011).

Shannon entropiye göre bir olayın olasılık dağılımı  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$  olursa, olayın entropisi Denklem 1 ile hesaplanır.

$$I(p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

Alfred Renyi, bağımsız olayların katkısını koruyacak, olasılık aksiyomlarıyla uyumlu en genel bilgi hesaplama yönteminin tanımını araştırıyordu (Rényi, 1961). Çözüm geliştirmeye Cauchy'nin işlevsel denklemiyle başladı. Eğer  $p$  ve  $q$ ,  $I$ 'den bağımsız ise  $I(pq) = I(p) + I(q)$  olur. Normalleştirici bir sabitin dışında bu, Hartley'in bilgi içeriği  $I(p) = -\log p$  ile uyumludur (Hartley, 1928).  $X = \{x_1, \dots, x_N\}$  olaylarının farklı olasılıklara sahip olduğunu varsayarsak  $(p_1, \dots, p_N)$  ve her biri bilgi bitlerini iletirse, küme için toplam bilgi miktarı:

$$I(p) = \sum_{k=1}^N p_k I_k \quad (2)$$

Bu Shannon entropisi olarak kabul edilebilir. Fakat bu denklemde bir örtülü varsayım var. Alternatifsiz olmayan doğrusal ortalama kullanılmış. Genel ortalama teorisinde, ters  $g^{-1}$  ile  $g(x)$ 'in herhangi bir fonksiyonu için, ortalama, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$g^{-1} \sum_{k=1}^N p_k g(x_k) \quad (3)$$

Bu tanım  $I(P)$ 'ye uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$I(P) = g^{-1}(\sum_{k=1}^N p_k g(I_k)) \quad (4)$$

Bağımsız olaylar için bir eklenebilirlik (additivity) varsayımı uygulandığında, sadece iki olası  $g(x)$  elde edilir.

$$g(x) = cx \quad (5)$$

$$g(x) = c^{-2(1-\alpha)x} \quad (6)$$

İlki Shannon bilgisini verir. İkincisi de negatif olmayan ve 1'den farklı değeri olan  $\alpha$  için aşağıdaki denklemi verir.

$$I_\alpha(P) = \frac{1}{1-\alpha} \log(\sum_{k=1}^N p_k^\alpha) \quad (7)$$

Bu parametrik bir bilgi ölçümü sunar ve Renyi entropisi olarak adlandırılır.  $\alpha$ 'nın aldığı değere göre özel durumlar oluşabilir.  $\alpha$  değeri 0 olduğunda maksimum, sonsuza gittiğinde minimum entropi değeri oluşur. 1 değerini aldığı anda ise Shannon entropi ile aynı değeri alır. Dikkat edilirse  $\alpha$ , 1 değerini aldığı anda  $1/0$  gibi bir belirsizlik oluşur. Bu tür durumlara çözüm üreten L'Hospital's Teoremi kullanılarak denklem çözüldüğünde Shannon denkleminin elde edildiği görülür (Bromiley vd., 2004).

$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} \frac{1}{1-\alpha} \log \sum_{k=1}^N p_k^\alpha = -\sum_{k=1}^N p_k \log p_k \quad (8)$$

### 4. Yöntem ve Uygulamalar

Çizgelerde de entropi hesaplanırken  $p_i$  olasılık değeri kullanılır. Bu çalışmada kullanılan veri seti ağırlıklı bir ağ olduğu için, olasılık değerleri Denklem 9'a göre hesaplandı.  $w_{ij}$  değeri iki düğüm arasındaki kenar ağırlıklarını ifade eder. Bu değerlere göre ağın toplam entropisi Renyi ve Shannon entropiye göre hesaplandı. Her bir düğümün ağa etkisini ölçmek için ağdaki değişime etkisi dikkate alınabilir. Değişim ölçüsü olan

entropi ile bu yapılabilir. Bu çalışmada entropiyi yani değişim ölçüsünü hesaplamak için sırasıyla düğümlerden biri ağdan çıkarılarak toplam entropi yeniden ölçüldü. Ağdan çıkarıldığında toplam entropi değerini en çok düşüren düğümler ağın kritik öneme sahip düğümleridir. Bu çalışmada Renyi entropi ölçüsü ile en merkezi düğümler bulunmaya çalışıldı.

$$p_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j \in E} w_{ij}} \quad (9)$$

Havayolu ağı analizi için kullandığımız veri seti (<http://www.visualizing.org/datasets/global-flights-network>, n.d.)'den alındı. Bu veri setinde ülkeden ülkeye uçuş sayısını belirten veriler bulunmaktadır. Yönlü çizge yapısındadır. Uçuş sayısı iki ülke arasındaki ilişkinin ağırlığı olarak tanımlandı. Veri seti incelendiğinde gidiş dönüş uçuş sayıları arasında çok fazla fark olmadığı görüldü. O yüzden  $p_{ij}$  hesaplanırken sadece gidiş yönüne göre ağırlık hesaplamaları yapıldı. Önerilen yöntemle dönüş uçuş sayıları için de hesaplamalar yapılabilir. Hesaplama maliyetine etkisi nedeniyle bu çalışmada yapılmadı.

Renyi Entropi ve Shannon Entropi ile yapılan hesaplamalarda hava trafiğinde kritik öneme sahip ülkeler Tablo 1'deki gibi çıktı. Renyi ile farklı  $\alpha$  değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalarla  $\alpha$  değerinin etkisi anlaşılmaya çalışıldı.  $\alpha$  değeri küçük seçildiğinde United States (ABD) ilk sırada çıktı.  $\alpha$  değeri yükseltildiğinde Tablo 2'deki hesaplamalara uygun olarak bu sıralamanın değiştiği görüldü.

$\alpha$  değeri 0.1 olarak seçildiğinde görülen en merkezi ülkelerin istatistiki bilgileri incelendiğinde uçuş sayısı yani kenar ağırlıkları sayısı en fazla olan ülkenin United States (ABD), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya), Spain (İspanya) olduğu görülmektedir. Uçuş noktası sayısına yani düğüm derecesine bakıldığında ise France (Fransa), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya) en yüksek değerlere sahip ülkelerdir.

**Tablo 1.** Renyi entropi ile havayolu en merkezi 20 ülke

No	Ülke	Renyi $\alpha=0.1$	Ülke	Renyi $\alpha=0.5$	Ülke	Shannon=Renyi $\alpha=1$	Ülke	Renyi $\alpha=1.5$
1	United States (ABD)	774,97	France (Fransa)	724,28	France (Fransa)	659,79	France (Fransa)	606,80
2	France (Fransa)	776,51	Kenya	726,78	Kenya	660,78	Kenya	606,85
3	United Kingdom (Birleşik Krallık)	778,23	Germany (Almanya)	727,11	Turkey (Türkiye)	661,56	Turkey (Türkiye)	607,79
4	Germany (Almanya)	779,28	United Kingdom (Birleşik Krallık)	727,19	Netherlands (Hollanda)	661,67	Netherlands (Hollanda)	607,81
5	Kenya	780,92	Turkey (Türkiye)	727,61	Germany (Almanya)	662,23	Thailand (Tayland)	608,43
6	Turkey (Türkiye)	781,10	Netherlands (Hollanda)	727,84	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	662,33	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	608,58
7	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	781,12	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	728,43	Thailand (Tayland)	662,54	Switzerland (İsviçre)	608,74
8	Australia (Avustralya)	781,16	United States (ABD)	728,58	Switzerland (İsviçre)	662,60	Belgium (Belçika)	608,84
9	China (Çin)	781,23	Switzerland (İsviçre)	728,71	Belgium (Belçika)	662,99	Ethiopia (Etiyopya)	608,98
10	Netherlands (Hollanda)	781,41	Thailand (Tayland)	728,79	United Kingdom (Birleşik Krallık)	663,11	Denmark (Danimarka)	609,13
11	Canada (Kanada)	781,61	Australia (Avustralya)	728,92	Denmark (Danimarka)	663,14	Germany (Almanya)	609,13
12	Italy (İtalya)	781,85	Canada (Kanada)	728,98	Italy (İtalya)	663,19	Austria (Avusturya)	609,41
13	Spain (İspanya)	782,11	China (Çin)	729,24	Ethiopia (Etiyopya)	663,20	Spain (İspanya)	609,50
14	Thailand (Tayland)	782,22	Denmark (Danimarka)	729,32	Austria (Avusturya)	663,37	Italy (İtalya)	609,90
15	Switzerland (İsviçre)	782,22	Spain (İspanya)	729,34	Spain (İspanya)	663,56	Singapore (Singapur)	610,26
16	Russia (Rusya)	782,32	Belgium (Belçika)	729,39	Canada (Kanada)	664,12	Fiji	610,28
17	Denmark (Danimarka)	782,76	Italy (İtalya)	729,50	Qatar (Katar)	664,31	United Kingdom (Birleşik Krallık)	610,34
18	Austria (Avusturya)	782,93	Austria (Avusturya)	729,51	Singapore (Singapur)	664,33	Qatar (Katar)	610,34
19	Belgium (Belçika)	782,99	Ethiopia (Etiyopya)	729,56	Morocco (Fas)	664,34	Egypt (Mısır)	610,51
20	Ethiopia (Etiyopya)	783,10	Morocco (Fas)	729,95	Egypt (Mısır)	664,41	Morocco (Fas)	610,80

Şekil 8'de görselleştirilen havayolu ağı incelendiğinde elde edilen sonuçların doğru olduğu görülebilmektedir. Dikkat çeken noktalardan biri düğüm derecesi düşük ve uçuş sayısı az olan ülkelerde etkinliğinin yüksek çıkmasıdır. Bunun sebebi Tablo 2'de de görüldüğü üzere uçuş noktasının uçuş sayısına göre çok olmasıdır. Bundan kenar ağırlığı düşük ama çok fazla bağlantı kurduğu ülkelerin olduğu anlamı çıkar. Sosyal ağdaki anlamı kenar ağırlığı toplamda düşük ama bu sayıya göre düğüm derecesi yüksektir. Renyi entropi ile bu durumdaki düğümler  $\alpha$  değeri büyük seçildiğinde tespit edilebildi. Sıralamada kenar ağırlıklarının etkisinin daha fazla görülmesi istenildiğinde  $\alpha$  değeri küçük seçilmez. Kenar ağırlıkları ve düğüm derecelerinin etkilerinin beraber görülmesi istendiğinde  $\alpha$  değeri orta bir değer olmalıdır.  $\alpha$  değeri arttırıldıkça zaten ağırlığa göre düğüm derecelerinin etkisi daha fazla görülebilmektedir.

Uçuş sayısı hub olma ve ülke nüfusu ile ilgili bir durumdur. Uçuş noktası sayısı fazla olan ve aynı zamanda uçuş sayısı çok olan ülkeler etkinliği fazla olan ülkelerdir. France (Fransa), United Kingdom (Birleşik Krallık), Germany (Almanya) istatistikî bilgilere göre en merkezi olması gereken ülkelerdir. Tablo 3'te düğüm dereceleri en yüksek ülkeler olarak görülmektedirler. Aşağıdaki şekillerde merkezi çıkan ülkelerin rotaları görsel olarak gösterildi. Bu çalışmada gizli kalan ve istatistikî bilgilerle keşfedilemeyen merkezi ülkeler görselleştirme ve önerilen yöntem ile tespit edilebildi.

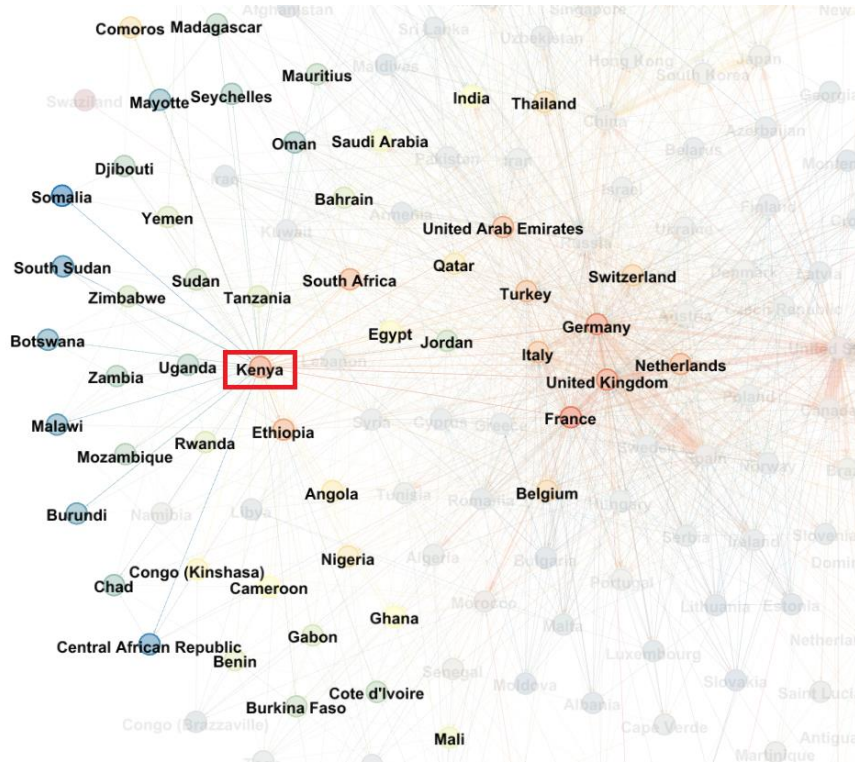
Aşağıdaki şekillerde elde edilen sonuçlara göre hava trafiği merkezi olan ülkelere bazılarının ağ görselleştirmesi gösterildi. Şekil 3'te görüldüğü gibi Kenya'nın daha çok Afrika ülkelerine uçuş rotası var. Şekil 4'teki France (Fransa)'ın dünya ülkelerine uçuş yayılımı daha fazladır. Özellikle Afrika ülkelerine daha çok rotası var. Şekil 5'teki United States (ABD)'de diğerlerinden farklı olarak Amerika Kıtasındaki ülkelere uçuşlar daha yoğun olmaktadır. Şekil 6'taki Turkey (Türkiye)'den ise Avrupa ve Ortadoğu ülkelerine daha yoğun uçuş yapıldığı, Şekil 7'de gösterilen China (Çin)'den ise yakın komşularına ve Avrupa'ya daha çok seyahat olduğu görülmektedir. Şekil 8'de ağın tamamı yani Dünya Havayolu trafiği gösterildi. Analiz sonuçları bir anlamda ülkelerin ilişki ağını göstermektedir. Düğüm derecesine göre merkezilikte 20. sırada olan Kenya önerilen yöntemde ilk sıralarda çıktı.

**Tablo 2.** Havayolu en merkezi 20 ülke ( $\alpha=0.1$ )

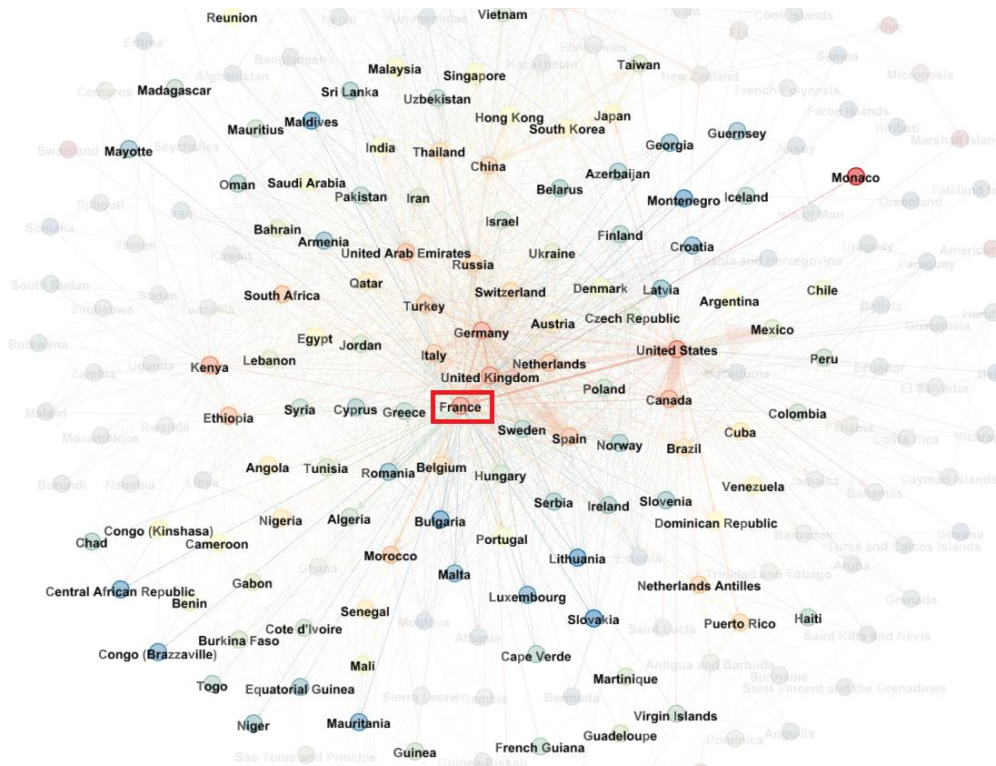
Ülke Adı	Uçuş Noktası Sayısı	Uçuş Sayısı	Nokta Sayısı/Uçuş Sayısı
United States (ABD)	92	2362	0,0390
France (Fransa)	111	999	0,1111
United Kingdom (Birleşik Krallık)	103	1716	0,0600
Germany (Almanya)	100	1651	0,0606
Kenya	49	147	0,3333
Turkey (Türkiye)	81	383	0,2115
United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	81	589	0,1375
Australia (Avustralya)	32	334	0,0958
China (Çin)	62	1010	0,0614
Netherlands (Hollanda)	80	451	0,1774
Canada (Kanada)	60	770	0,0779
Italy (İtalya)	80	949	0,0843
Spain (İspanya)	71	1280	0,0555
Thailand (Tayland)	57	362	0,1575
Switzerland (İsviçre)	65	416	0,1563
Russia (Rusya)	73	766	0,0953
Denmark (Danimarka)	47	241	0,1950
Austria (Avusturya)	61	357	0,1709
Belgium (Belçika)	60	327	0,1835
Ethiopia (Etiyopya)	41	99	0,4141

**Tablo 3.** Düzüm derecesine göre havayolu en merkezi 25 ülke

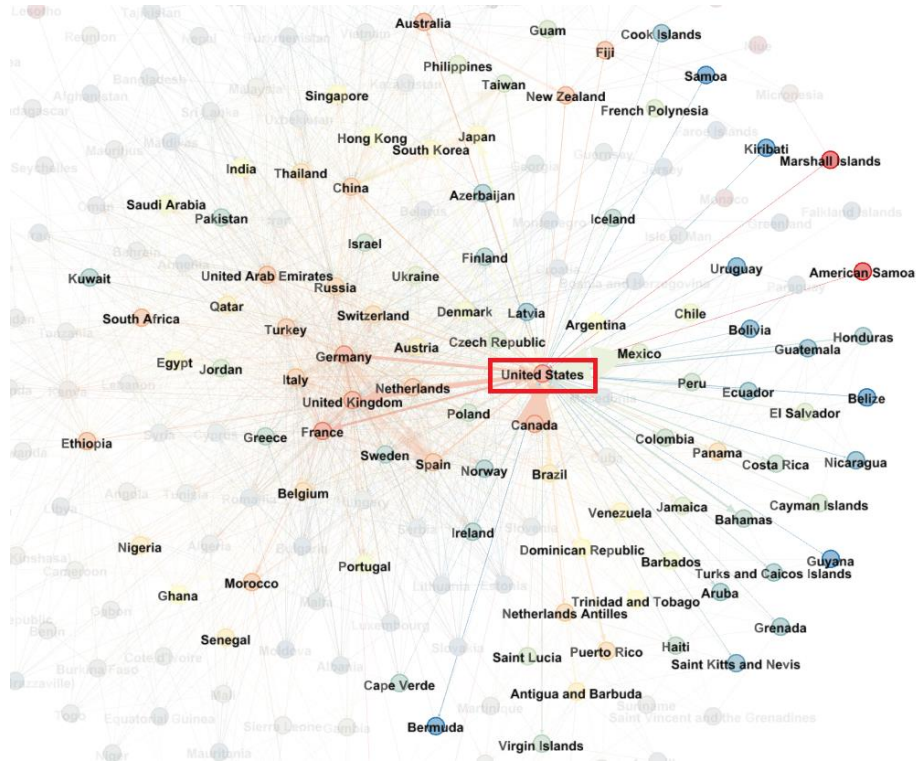
No	Ülke	Gidiş	Dönüş	Derece	Ağırlıklı Gidiş	Ağırlıklı Dönüş	Ağırlıklı Derece
1	France (Fransa)	111	112	223	999	1003	2002
2	United Kingdom (Birleşik Krallık)	103	103	206	1716	1718	3434
3	Germany (Almanya)	101	104	205	1655	1664	3319
4	United States (ABD)	92	94	186	2362	2365	4727
5	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)	81	83	164	589	595	1184
6	Turkey (Türkiye)	81	81	162	383	381	764
7	Italy (İtalya)	80	79	159	949	946	1895
8	Netherlands (Hollanda)	80	78	158	451	453	904
9	Russia (Rusya)	73	73	146	766	768	1534
10	Spain (İspanya)	71	70	141	1280	1285	2565
11	Switzerland (İsviçre)	65	68	133	416	418	834
12	China (Çin)	62	62	124	1010	1010	2020
13	Austria (Avusturya)	61	60	121	357	358	715
14	Canada (Kanada)	60	61	121	770	771	1541
15	Belgium (Belçika)	60	58	118	327	335	662
16	Thailand (Tayland)	57	57	114	362	359	721
17	Qatar (Katar)	56	56	112	148	149	297
18	Egypt (Mısır)	50	50	100	298	285	583
19	India (Hindistan)	49	49	98	419	416	835
20	Kenya	49	48	97	147	139	286
21	Denmark (Danimarka)	47	47	94	241	242	483
22	Morocco (Fas)	46	46	92	207	209	416
23	South Africa (Güney Afrika)	44	44	88	141	141	282
24	Ukraine (Ukrayna)	44	44	88	201	203	404
25	Malaysia (Malezya)	42	42	84	274	272	546



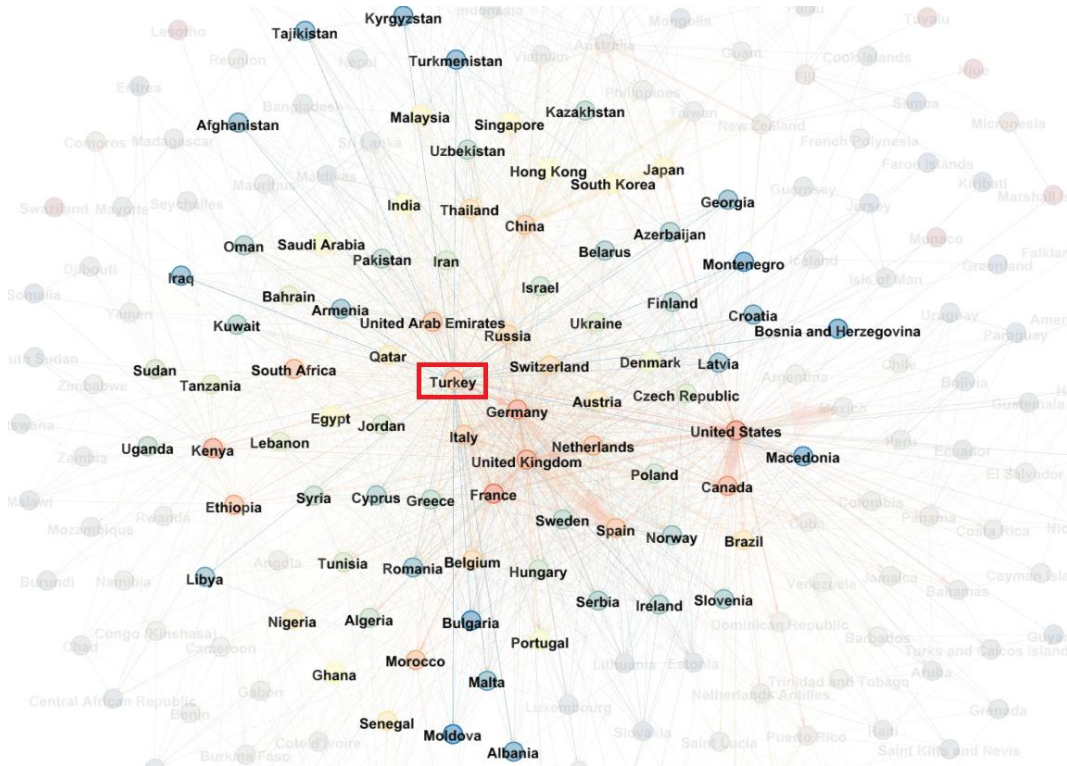
Şekil 3. Kenya havayolu trafiği



Şekil 4. France (Fransa) havayolu trafiği

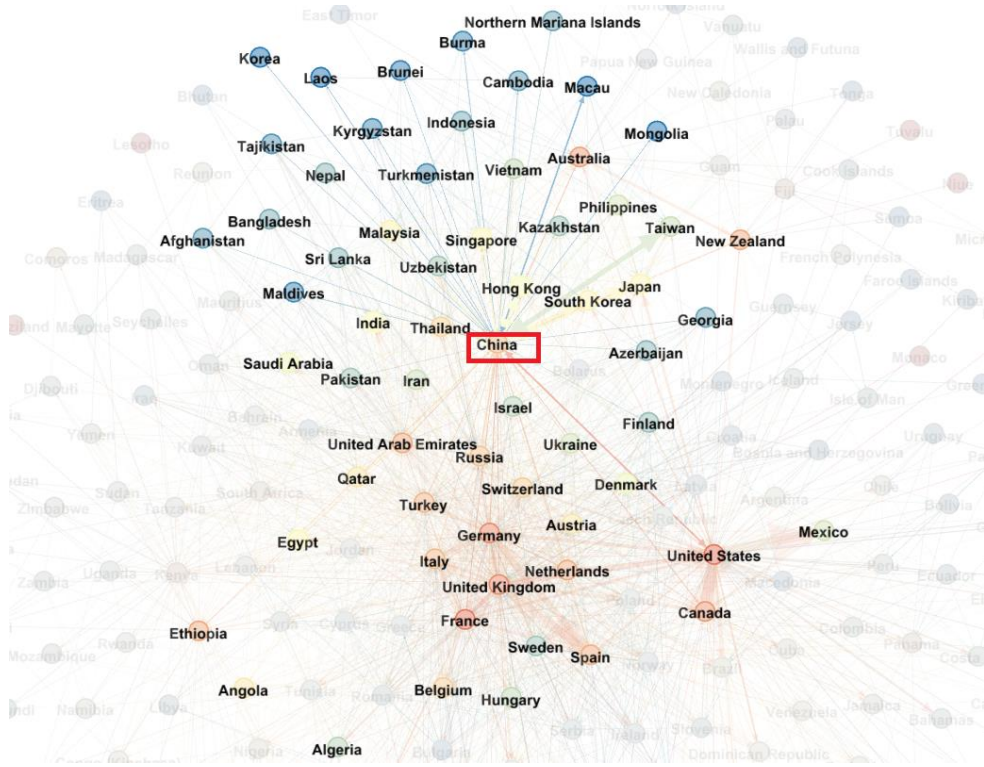


Şekil 5. United States (Amerika Birleşik Devletleri) havayolu trafiği

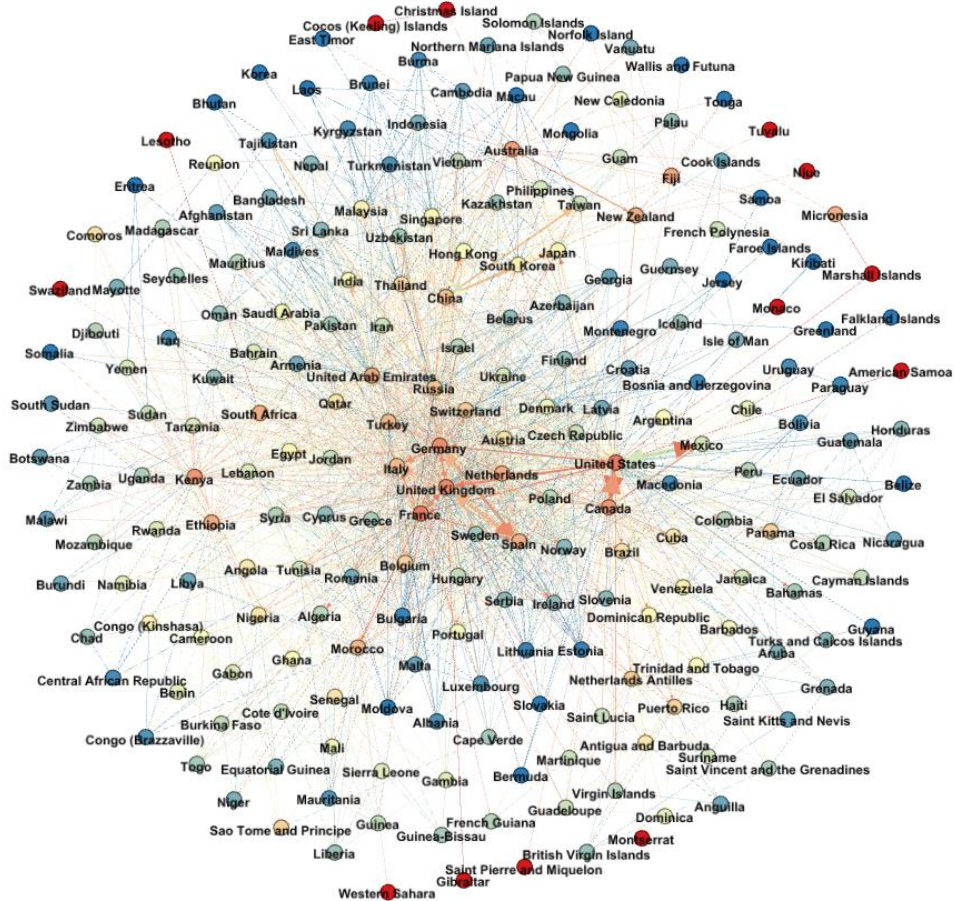


Şekil 6. Turkey (Türkiye) havayolu trafiği





Şekil 7. China (Çin) havayolu trafiği



Şekil 8. Dünya Havayolu ağıının görsel gösterimi

## 5. Tartışma ve Sonuçlar

Gelecek stratejilerimizi belirlerken iyi analizler yapmamız gerekir. Bu şekilde yapılan işlerden azami verim ve yarar sağlanmış, tasarruf edilmiş olur. Yapılan bu analizler matematiksel temele dayanıyorsa doğruluğu kesindir. Bu çalışmada istatistik verilerden oluşan ilişkisel yapı sosyal ağ analizi yöntemleri ile analiz edildi. Bir sistemdeki bilgi miktarı ve belirsizlik ölçüsü olan entropi temel alınarak yeni bir yöntem önerildi. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu göstermek için ülkelerin hava trafiği veri seti kullanıldı.  $\alpha$  değeri 1 olduğunda Shannon entropi davranışı gösteren Renyi entropi kullanılarak merkezi noktalar tespit edildi. Elde edilen sonuçlara bakıldığında  $\alpha$  değeri küçük seçildiğinde kenar ağırlıkları baskın bir merkezilik elde edildi. Bu ölçümde düğüm dereceleri de etkisini sürdürdü.  $\alpha$  değeri arttırıldığında ise ağırlığa göre düğüm derecelerinin etkisi daha çok hesaplamaya dâhil oldu. Kullanılan veri setinde düğüm derecesi en yüksek olan France (Fransa)'dır. Bu durum France (Fransa)'nın  $\alpha$  büyük seçildiğinde en üste çıkmasına sebep oldu. Yaptığımız analizde literatürde çok da göz önünde olmayan Kenya, South Africa (Güney Afrika) ve Qatar (Katar) gibi ülkelerde üst sıralarda çıktı. Bunun sebebi çok yoğun uçuşları olmasa da bu ülkelerin uçuş noktalarının uçuş sayısına oranla çok olmasıdır. Birçok ülkenin ağa dahil olmasına köprü olmalarıdır. Bunlar hub olma potansiyeli yüksek ülkelerdir. Türkiye ise yapılan hesaplamalarda hep üst sıralarda çıktı. Uçuş rotasının çok olması bunda etkili olmuştur.

Yapılan çalışma Renyi entropi ile merkezilik ölçümlerinin yapılabileceğini ve doğru sonuçların alınabileceğini gösterdi.  $\alpha$  değerinin doğru seçilmesi halinde merkezilik hesaplamalarında alternatif yöntem olarak kullanılabilir. Kenar ağırlıklarının ve düğüm derecelerinin etkisinin ihtiyaç ve probleme göre ayarlanabilmesi ağa birçok farklı açıdan bakılmasına olanak tanır. Renyi entropi  $\alpha$  değeri ile bunu sağladı. Farklı problem barındıran veri setlerinde bu yöntem kullanılabilir. Bir sonraki çalışmamızda Renyi entropinin farklı kullanım alanlarını ve farklı veri setlerine uygulamasını gerçekleştirmek istiyoruz.

### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar

Alexanderson, G. L. (2006). About the cover: Euler and Königsberg's bridges: A historical view. *Bulletin of the American Mathematical Society*. <https://doi.org/10.1090/S0273-0979-06-01130-X>

Bromiley, P. A., Thacker, N. A., & Bouhova-Thacker, E.

(2004). Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Erişim Tarihi: 14 Aralık 2018, website: <http://www.tina-vision.net/docs/memos/2004-004.pdf>

Cong, W., Hu, M., Dong, B., Wang, Y., & Feng, C. (2016). Empirical analysis of airport network and critical airports. *Chinese Journal of Aeronautics*, 29(2), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2016.01.010>

Dehmer, M., & Mowshowitz, A. (2011). A history of graph entropy measures. *Information Sciences*, 181(1), 57–78. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.041>

Du, Y., Gao, C., Hu, Y., Mahadevan, S., & Deng, Y. (2014). A new method of identifying influential nodes in complex networks based on TOPSIS. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 399, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.031>

Ernesto, T. (1956). A note on the information content of graphs. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 18(2), 129–135.

Everett, M. G., & Borgatti, S. P. (2005). Extending Centrality. In P. J. Carrington, J. Scott, & S. Wasserman (Eds.), *Models and Methods in Social Network Analysis* (pp. 57–76). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811395.004>

Fei, L., & Deng, Y. (2017). A new method to identify influential nodes based on relative entropy. *Chaos, Solitons and Fractals*, 104, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.08.010>

Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215–239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)

Hartley, R. V. L. (1928). Transmission of Information. *Bell System Technical Journal*, 535. <https://doi.org/10.1109/83.748891>

<http://www.visualizing.org/datasets/global-flights-network>. (n.d.). Global Flight Network Data. Erişim Tarihi: 11 Ekim 2018, from <https://github.com/gsmnu007/Complex-network-analysis-of-Airport-network-data>

Leskovec, J., Rajaraman, A., & Ullman, J. D. (2014). *Mining of massive datasets: Second edition. Mining of Massive Datasets: Second Edition*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139924801>

Moreno, J. L. (1934). *Who Shall Survive? A New Approach to the Problem of Human Interrelations. Nervous and Mental Disease Publishing* (Vol. 58). <https://doi.org/10.2307/2084777>

Mowshowitz, A. (1968). Entropy and the complexity of graphs: I. An index of the relative complexity of a graph. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 30(1), 175–204.

<https://doi.org/10.1007/BF02476948>

- Nie, T., Guo, Z., Zhao, K., & Lu, Z. M. (2016). Using mapping entropy to identify node centrality in complex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 453, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.02.009>
- Rashevsky, N. (1955). Life, information theory, and topology. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 17(3), 229–235. <https://doi.org/10.1007/BF02477860>
- Rényi, A. (1961). On measures of entropy and information. In *Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (p. 547). <https://doi.org/10.1021/jp106846b>
- Shannon, C. E. (1951). Prediction and Entropy of Printed English. *Bell System Technical Journal*, 30(1), 50–64. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1951.tb01366.x>
- Tutzauer, F. (2007). Entropy as a measure of centrality in networks characterized by path-transfer flow. *Social Networks*, 29(2), 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2006.10.001>
- Wang, S., Du, Y., & Deng, Y. (2017). A new measure of identifying influential nodes: Efficiency centrality. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 47, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.11.008>
- Wikipedia.org. (n.d.). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termodinamik>  
Erişim Tarihi 19 Temmuz 2018.