

# HAVALİMANLARINDA TAŞINAN YOLCU SAYISI ÜZERİNE AĞ ANALİZİ UYGULAMALARI VE HAVALİMANLARININ MERKEZİLİĞİ: TÜRKİYE İÇ HATLARI ÖRNEĞİ

## NETWORK ANALYSIS APPLICATIONS ON PASSENGER TRANSPORTATION AT AIRPORTS AND CENTRALITY OF AIRPORTS: A CASE STUDY OF TURKİYE DOMESTIC FLIGHTS

Umut AYDIN<sup>ID</sup>

### Öz

Merkezi (hub) havalimanları, havayolu şirketlerinin küresel veya bölgesel ağlarını yönetmelerine olanak tanıyan önemli düğüm noktalarıdır. Aktarmalı uçuşlar, yoğun yolcu trafiği, havayolu şirketlerinin merkezi olma durumu ve ekonomik ile turistik etkinin fazla olduğu bölgelerde havalimanları merkezi olma eğilimindedir. Bu çalışma, 2018 yılına ait Eurostat'ın iç hatta taşınan yolcu verilerini kullanarak Türkiye'deki ana havalimanları için gerçekleştirilen çeşitli ağ analizlerinin sonuçlarına göre havalimanlarının merkeziliğinin üzerinde durmaktadır. Analizde kullanılan metrikler, her havalimanının ağ içindeki konumunu ve önemini ölçmek amacıyla giriş derece merkeziliği, çıkış derece merkeziliği, derece merkeziliği, yakınlık merkeziliği, arasındalık merkeziliği, pagerank merkeziliği, sinkrank merkeziliği, özvektör merkeziliği, entropik özvektör merkeziliği ve ağırlıksız özvektör merkeziliği gibi faktörleri içermektedir. Sonuçlar, Türkiye'nin havacılık sektöründeki önemli aktörlerin belirlenmesine ve bu havalimanlarının farklı merkezilik ölçülerine göre farklılaşan dinamiklerini ortaya koymaktadır. Genel anlamda, İstanbul/Atatürk ve İstanbul/Sabiha Gökçen havalimanlarının yüksek derecede önemli düğümler olduğu ve Ankara/Esenboğa, Antalya, İzmir/Adnan Menderes ve Adana Havalimanlarının ise genel ağ içinde öne çıkan diğer havalimanları olduğu göze çarpmaktadır. Merkezilik ölçülerinin ölçüm yaklaşımlarına göre ise bu havalimanlarına başka havalimanlarının eklendiği görülmüştür. Bunlara ek olarak, çalışmanın sonunda sonuçların geçerliliğini test etmek amacıyla güncel 2022 verileri ve COVID-19 etkisini görmek amacıyla 2020 verileri kullanılarak analizler tekrarlanmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ağ Analizi, Havalimanları, Merkezilik, Veri Analitiği.

**JEL Sınıflandırması:** L93, C60

\* Dr. Öğr. Üyesi, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Ömer Seyfettin Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Balıkesir. E-mail: uaydin@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4802-8793.

**How to cite this article/Atf için:** Aydın, U. (2024). Havalimanlarında taşınan yolcu sayısı üzerine ağ analizi uygulamaları ve havalimanlarının merkeziliği. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 46(1), 293-312. DOI: 10.14780/muiibd.1437639

**Makale Gönderim Tarihi:** 15.02.2024

**Yayına Kabul Tarihi:** 16.04.2024

**Benzerlik Oranı:** %15



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

### Abstract

Central (hub) airports are crucial nodes that enable airlines to manage their global or regional networks. This study focuses on the centrality of airports in Türkiye based on various network analyses conducted for major airports using Eurostat's 2018 data on domestic passenger transportation. The metrics employed in the analysis include degree centrality, in-degree centrality, out-degree centrality, closeness centrality, betweenness centrality, pagerank centrality, sinkrank centrality, eigenvector centrality, entropic eigenvector centrality, and unweighted eigenvector centrality, aiming to measure each airport's position and importance within the network. The results shed light on the identification of key players in Turkish aviation sector and reveal the varying dynamics of these airports based on different centrality measures. In general, Istanbul/Atatürk and Istanbul/Sabiha Gökçen airports emerge as highly significant hubs, while Ankara/Esenboğa, Antalya, Izmir/Adnan Menderes, and Adana airports stand out as prominent players in the overall network. The inclusion of other airports in these networks is observed based on the measurement approaches of centrality indices. At the end of the study, to test the validity of the results, the analyses are repeated using the 2022 data and 2020 data to see the impact of COVID-19 on centralities of airports and the results are compared with each other.

**Keywords:** Network Analysis, Airports, Centrality, Data Analytics.

**JEL Classification:** L93, C60

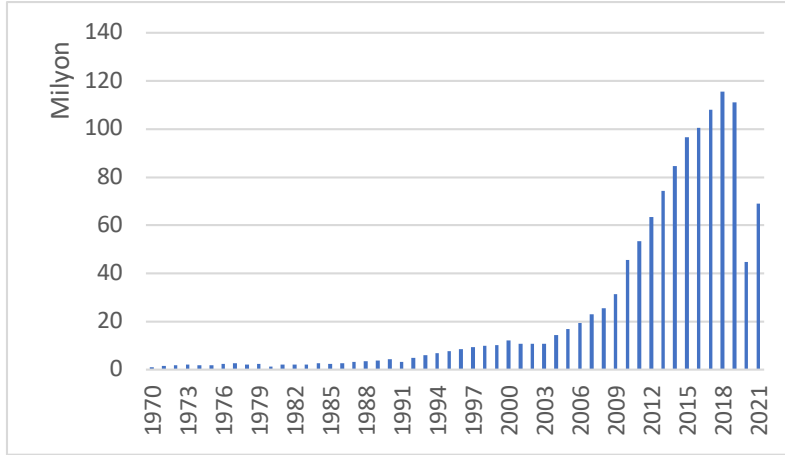
## 1. Giriş

Havacılık, küresel bağlantıları sağlama, ekonomik büyümeyi destekleme ve toplumlar arasında hızlı ulaşım imkanları sunma konusunda kritik bir rol oynamakta ve turizm, ticaret gibi birçok alanda olumlu etkiler yaratmaktadır. Havacılık, günümüzde dünya genelindeki şehirleri birbirine bağlarken, insanları ve malları hızla taşıyarak küresel bağlantıları da artırmaktadır. Bu da kültürler arası etkileşimi artırırken, ekonomik ve ticari ilişkileri güçlendirmektedir. Pilotlardan kabin görevlilerine, teknik personelden hava trafik kontrolörlerine kadar birçok farklı iş kolunda iş imkanları sunan havacılık sektörü, bu yönüyle istihdama ve ekonomik büyümeye katkıda bulunur (Ağraz, 2006).

Havalimanının merkezi (hub) olma durumu, genel anlamda bir havayolu şirketinin geniş bir uçuş ağına bağlantı sağlamak ve yolcu veya kargo transferlerini etkili bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla bu havalimanını ana aktarma merkezi olarak kullanması anlamına gelmektedir. Merkezi havalimanları, birçok iç hat ve dış hat uçuşunun birleştirildiği, yolcuların aktarma yaparak farklı destinasyonlara ulaşabildiği önemli hava ulaşım düğümleridir (Holloway, 2016). Bir havalimanının merkezi olma durumu, genellikle ekonomik ve turistik açıdan stratejik coğrafi konumu, iyi ulaşım altyapısı, yeterli kapasite, güçlü havayolu şirketi ilişkileri, operasyonel verimlilik gibi faktörlere dayanmaktadır.

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de havayolu taşımacılığı, ülke ekonomisi ve ticaretine katkıda bulunan önemli bir sektördür. Türkiye'nin siyasi ve ekonomik açıdan coğrafi konumu, kültürel ve turistik miraslara sahip olması havacılık sektörünün yıllar içinde daha da gelişmesine neden olmuştur (Gerede, 2015). Türkiye için Dünya Bankası'nın (2024) taşınan yolcu verileri bu gelişimi doğrulamaktadır. Zaman zaman küresel krizler ya da salgınlar nedeniyle Türkiye'de havayolunda taşınan yolcu sayısında ani şoklar yaşansa da genel anlamda yıllara göre 1970 yılından bu yana taşınan yolcu sayısında üstel bir artış gözlenmektedir. 2018 yılında ise Türkiye'de havayolunda taşınan yolcu sayısında en yüksek değer elde edilmiştir.

Havacılık sektöründeki yapı sisteminin bir ağ olarak gösterimini mümkün kılmaktadır. Sektörde bağlantılar kalkış ve varış ilişkileri şeklindedir. Havalimanlarının birer düğüm, aralarındaki yolcu aktarımlarının ise birer bağ olarak ele alındığı akış modeli ile ağ teorisinin sağladığı çerçeve ve metrikler kullanılarak bir analiz gerçekleştirilmesi mümkündür. Son yıllarda ağ analizi kullanılarak havalimanlarının merkeziliğini ölçen güncel çalışmalar incelendiğinde özellikle Türkiye için yapılan çalışmaların görece az olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmanın özellikle ulusal literatüre katkısının olacağı düşünülmektedir.



**Şekil 1:** Türkiye’de hava taşımacılığında yıllara göre toplam taşınan yolcu sayısı

**Kaynak:** Dünya Bankası, 2024, Taşınan Yolcu Sayısı – Türkiye.

Çalışma, Türkiye’deki havalimanlarının yolcu trafiği açısından diğer havalimanları ile olan bağlantısını on farklı merkezilik ölçüsü kullanarak Türkiye’de hava taşımacılığında rekorun elde edildiği 2018 yılı için hesaplamayı amaçlamıştır. Ek olarak çalışma, sonuçların geçerliliğini test etmek amacıyla güncel 2022 verilerini ve COVID-19 etkisini görmek amacıyla 2020 verilerini kullanarak ağ analizlerini tekrarlamış ve havalimanlarının merkezilik ölçülerindeki değişimleri incelemiştir. Çalışmada kullanılan on merkezilik ölçüsü (giriş derece merkeziliği, çıkış derece merkeziliği, derece merkeziliği, yakınlık merkeziliği, arasındalık merkeziliği, pagerank merkeziliği, sinkrank merkeziliği, özvektör merkeziliği, entropik özvektör merkeziliği ve ağırlıksız özvektör merkeziliği) birbirinden farklı yaklaşımlar içermektedir. Bu bakımdan havalimanlarının merkezi olma durumları birbirleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışmanın akışı şu şekildedir: Çalışmanın giriş bölümünde havacılık sektörünün öneminden bahsedilerek çalışmanın katkısına yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümü literatürde konu hakkındaki ulusal ve uluslararası çalışmaları özetlerken, üçüncü bölümde ağ analizinin metodolojisinden bahsedilmiş ve kullanılan on adet merkezilik ölçüsünün yaklaşımı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ağ analizi sonuçları sunulmuş ve havalimanlarının merkezi olma durumları ölçülerin yaklaşımlarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca sonuçların 2020 ve 2022 yılından farklılaşp farklılaşmadığı da incelenmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları özetlenerek çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Havalimanları ya da havayollarına yönelik literatürde ağ analizi kullanılarak yapılan güncel araştırmalar kullanılan veri, zaman, yöntem ve elde edilen sonuç bakımından Tablo 1’de özetlenmiştir. Çalışmalarda genellikle havacılık bakımından gelişmiş ve gelişmekte olan bölgeler olan Çin, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa ülkelerinin tercih edildiği görülmektedir. Havalimanlarının merkeziliğinin ölçülmesi için en sık kullanılan ağ analizi yaklaşımları olarak ise kümelenme katsayısı, arasındalık merkeziliği, yakınlık merkeziliği ve özvektör merkeziliği gibi ölçülerdir.

**Tablo 1.** Havacılık sektöründe ağ analizi kullanılarak yapılan güncel çalışmalar

Çalışma	Ülke	Zaman	Yöntem	Sonuç
Reggiani vd. (2010)	Almanya	2006	Derece merkeziliği, Yakınlık merkeziliği, Arasındalık merkeziliği, Kümelenme katsayısı	Münih, Frankfurt ve Bremen havalimanları merkezi havalimanları olarak elde edilmiştir.
Wittmer & Beritelli (2011)	Avustralya	2007-2010	Normalleştirilmiş Freeman arasındalık merkeziliği	Sydney ve Brisbane havalimanları merkezi havalimanları olarak elde edilmiştir.
Cheung & Gunes (2012)	ABD	1991, 2001, 2011	Ortalama en kısa yol, Derece dağılımı, Asortatif karışım, Kümelenme, Arasındalık merkeziliği, Esneklik	ABD hava taşımacılığının karmaşık ağ özelliklerinde son yirmi yılda kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir. ABD hava taşımacılığı ağı küçük dünya özellikleri sergilemekte ve dünya çapındaki hava taşımacılığı ağına ilişkin dereceye göre asortatif bir karışıma sahiptir.
Jia vd. (2014)	ABD	1990-2010	Giriş ve çıkış derece merkeziliği, Arasındalık merkeziliği, Kümelenme katsayısı, Ortalama en kısa yol, Ağ simetrisi, Düğüm benzerliği, Ağ benzerliği	İstikrarlı şehirler zaman içinde ABD’deki havacılık ağının omurgasını oluşturmakta ve zaman içindeki yapısal benzerlikleri düzenlilik göstermektedir. ABD’deki havacılık ağı, 1991 ve 2002’deki yoğun keşiflerle iç içe geçmiş sürekli bir yoğunlaşma sürecinden geçmektedir.
Dong & Wu (2015)	Çin	1980ler-2000ler	Derece merkeziliği, Yol uzunluğu, Kümelenme katsayısı	Pekin, Şangay ve Guangzhou gibi ulusal havalimanı merkezleri ağ evrimi sürecinde merkezi rol oynarken, bağlanabilirlik ve çoğu il havalimanı merkeziliğinin hâlâ güçlendirilmesi gerekmektedir.
Li & Dawood (2016)	Çin	2013	Derece merkeziliği, Yakınlık merkeziliği, Arasındalık merkeziliği, Özvektör merkeziliği	Pekin, Şanghay ve Guangzhou havalimanları merkezi havalimanları olarak elde edilmiştir.
Song & Yeo (2017)	173 ülkeden 1060 havalimanı	2017	Derece merkeziliği, Arasındalık merkeziliği	Hava lojistiği üzerinde en büyük etkiye ABD ve Çin sahiptir.

Kılıç Depren & Gökalp Yavuz (2018)	Türkiye	2014	Derece merkeziliği, Arasındalık merkeziliği	İstanbul, Türkiye'nin hem yerel hem de uluslararası taşımacılık açısından havalimanları arasında büyük bir etkiye sahiptir. Almanya ve Kıbrıs, Türkiye ile en büyük bağlantı ölçüm sonuçlarına sahiptir.
Seçkin Codal & Güner (2022)	Türkiye	2012-2020	Derece merkeziliği, Arasındalık merkeziliği, Özvektör merkeziliği	Sabiha Gökçen havalimanı iç hat ağındaki en merkezi havalimanı olarak tanımlanmış, gözlem dönemi boyunca havalimanı merkeziliği önemli ölçüde iyileşme göstermiştir.
Trobajo & Carriegos (2022)	İspanya	2015	Kümelenme katsayısı, Arasındalık merkeziliği, Yakınlık merkeziliği, Özvektör merkeziliği	Palma de Mallorca, Barselona-El Prat ve Madrid-Barajas havalimanları merkezi havalimanları olarak elde edilmiştir.
Güner vd. (2022)	Türkiye	2017-2021	Derece merkeziliği, Arasındalık merkeziliği, Özvektör merkeziliği	Türkiye'deki uluslararası havalimanlarının yurt içi uçuşlar için merkez olma potansiyeli fazla olduğu belirtilmiştir.
Tesoriere vd. (2023)	İtalya	2019-2021	Derece merkeziliği, Ağırlıklı merkezilik, Özvektör merkeziliği	Bazı güney havalimanlarının ağdaki merkeziliğinin arttığı ve büyüdüğü, pandemi döneminde Roma Fiumicino havalimanının merkeziliğinin küçüldüğü ve merkez-kuzeydeki bazı küçük havalimanlarının ulusal ağda marjinalleştiği görülmüştür.
Güner & Seçkin Codal (2023)	Türkiye	2012-2020	Ortalama derece, Kümelenme katsayısı, Ortalama yol uzunluğu, Modülerlik, Yoğunluk endeksi	Türkiye'deki iç hat havacılık ağı, dünya genelindeki uygulamalara kıyasla daha küçük bir çapa, daha düşük ortalama yol uzunluğuna, azalan kümelenme katsayısına ve daha düşük modülerliğe sahiptir; bu da düşük sağlamlık ve esneklik anlamına gelmektedir. Pandemi, muhtemelen zorunlu uçuşlar nedeniyle havalimanları arasında daha fazla bağlantı anlamına gelen benzersiz yolları, yoğunluk endeksini ve ortalama dereceyi artırmıştır.
Ersöz & Karaman (2023)	Avrupa	2019	Arasındalık merkeziliği, Ağırlıklı arasındalık merkeziliği, Özvektör merkeziliği	Özvektör merkeziliği ve ağırlıklı arasındalık merkeziliği açısından Amsterdam Schiphol, arasındalık merkeziliği açısından ise İstanbul Atatürk havalimanları merkez havalimanları olarak elde edilmiştir.
de Brito vd. (2023)	Brezilya	2000-2020	Özvektör merkeziliği	Çalışma dönemi boyunca havalimanlarının merkeziliği önemli ölçüde değişkenlik göstermiştir; bu da havalimanlarının önemli bir kısmının ağın merkezi alanından uzakta olduğunu göstermektedir.

Tablo 1 incelendiğinde Türkiye için iç hat verisi ve ağ analizi kullanılarak çalışmaların sayısının görece az olduğu görülmektedir. Kılıç Depren ve Gökalp Yavuz (2018) ve Seçkin Codal ve Güner'in (2022) çalışmaları İstanbul'daki havalimanlarının ağ analizi sonucunda ön plana çıktığını bulgulamıştır. Fakat bu çalışmalarda kullanılan ağ analizi yaklaşımları sınırlı düzeydedir. Bu çalışmada, bu yaklaşımlara ek olarak farklı ağ analizi yaklaşımları ile Türkiye'de iç hatta havalimanları arasında taşınan yolcu sayısına göre havalimanlarının merkezi olma durumunun sağlamlığı test edilmiş ve sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır.

### 3. Veri Seti ve Yöntem

#### 3.1. Veri Seti

Türkiye havalimanlarında iç hatta taşınan yolcu sayısı üzerine havalimanlarının merkeziliğini ölçmeyi amaçlayan bu çalışmanın verileri Eurostat veri tabanından, Türkiye'nin ana havalimanları ile diğer ana havalimanları arasındaki hava yolcu taşımacılığı (rota) verileri kategorisinden elde edilmiştir. Çalışmada 2018 yılına dair iç hattaki rotalarda taşınan yolcu verileri kullanılmıştır. 2018 yılı Türkiye'de havacılık sektöründe toplam yolcu sayısı (iç hat + dış hat) bakımından en çok taşınan yolcu sayısına sahip yıl olduğundan (DHMİ, 2024) ve bu nedenle ağdaki bağlantıların daha fazla olması beklendiğinden bu çalışmada temel veri dönemi olarak 2018 yılına ait verilerin kullanılması tercih edilmiştir. Hem havalimanlarının merkezilik durumlarının değişip değişmediğini hem de COVID-19 etkisini gözlemek amacıyla 2018 yılına ek olarak 2020 ve 2022 verileri de analize çalışma sonunda dahil edilmiştir. Tablo 2'de 2018'de havalimanlarında taşınan yolcu sayılarına yönelik tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur.

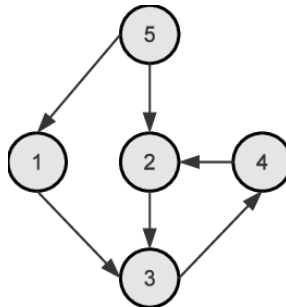
Tablo 2 incelendiğinde İstanbul/Sabiha Gökçen, İstanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa ve İzmir/Adnan Menderes havalimanlarında en çok yolcunun taşındığı görülmektedir. Ölçülere örnek olması açısından tabloda çıkış derecelerine de yer verilmiştir. En yüksek çıkış bağlantı sayılarına (ilgili havalimanından kaç havalimanına yolcu gönderimi olduğu) ise yine bu havalimanları sahiptir. Tabloda verilen Id sütünü ise grafiklerde havalimanlarını nitelendirmek için kullanılmıştır. Tabloda yer verilmeyen Id numaralarından 2018'de henüz faaliyet göstermeyen 24 numara İstanbul havalimanını, 39 numara Rize/Artvin havalimanını göstermektedir. Bu havalimanları 2020 ve/veya 2022 yılları için yapılan analizde yer almıştır. 27 ve 45 numara ise sırasıyla İzmit/Topel ve Tekirdağ/Çorlu havalimanlarını göstermekte olup bu havalimanlarının ilgili yılda diğer havalimanları ile karşılıklı trafik verisi bulunmadığından bu yıl için analiz dışında bırakılmıştır. Benzer şekilde, 2020 ve 2022 verileri incelendiğinde ise 2018 yılından farklı olarak COVID-19 etkisiyle havalimanları arasındaki ağ sayısının azaldığı görülmüştür. Hatta bazı havalimanlarında hiç trafik olmaması nedeniyle bu havalimanları analize dahil edilememiştir. 2022 yılında ise 2018 yılına kıyasla daha az, fakat 2020 yılına kıyasla daha fazla ağ sayısının olduğu gözlemlenmiştir. 2018 yılında Atatürk havalimanının İstanbul havalimanına taşınmasını takip eden süreçte planlanan inşaatların da tamamlanmasıyla 2022 yılı itibarıyla İstanbul havalimanında taşınan yolcu sayısı miktarı diğer havalimanlarından belirgin şekilde ayrılmıştır.

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler

Id	Havalimanı	Taşınan Yolcu Sayısı	Çıkış Bağlantı Sayısı	Id	Havalimanı	Taşınan Yolcu Sayısı	Çıkış Bağlantı Sayısı
1	Adana	4,906,932	8	23	İstanbul/Atatürk	19,048,989	39
2	Adıyaman	277,399	3	25	İstanbul/Sabiha Gökçen	22,057,887	30
3	Ağrı/Ahmedi Hani	325,632	4	26	İzmir/Adnan Menderes	10,089,057	13
4	Amasya/Merzifon	171,087	2	28	Kahramanmaraş	331,536	3
5	Ankara/Esenboğa	14,406,735	33	29	Kapadokya	376,746	2
6	Antalya	7,408,169	9	30	Kars/Harakani	576,256	4
7	Balıkesir/Koca Seyit	503,419	3	31	Kayseri	1,873,061	4
8	Batman	659,086	4	32	Konya	1,024,379	3
9	Bingöl	224,097	3	33	Malatya	846,903	4
10	Bursa/Yenişehir	220,094	5	34	Mardin	708,649	4
11	Çanakkale	211,198	4	35	Muğla/Dalaman	1,602,385	3
12	Denizli/Çardak	565,841	2	36	Muğla/Milas Bodrum	2,667,428	4
13	Diyarbakır	2,015,158	6	37	Muş	456,791	5
14	Elâzığ	1,003,208	5	38	Ordu/Giresun	1,074,015	4
15	Erzincan	499,260	4	40	Samsun/Çarşamba	1,629,613	5
16	Erzurum	1,322,565	6	41	Şanlıurfa/GAP	834,235	4
17	Gaziantep	2,338,208	6	42	Sinop	178,652	2
18	Gazipaşa/Alanya	572,988	3	43	Şırnak/Şerafettin Elçi	410,706	3
19	Hakkâri/Yüksekova Selahaddin Eyyubi	189,818	2	44	Sivas/Nuri Demirağ	572,736	3
20	Hatay	1,065,242	4	46	Trabzon	3,742,378	8
21	İğdır	288,298	3	47	Van/Ferit Melen	1,538,863	6
22	Isparta/S. Demirel	87,200	1				
	<i>Rota Sayısı</i>	273					
	<i>Havalimanı Sayısı (N)</i>	43					

### 3.2. Yöntem

Bir ağ, düğüm adı verilen bir dizi nokta ve bu noktalar arasındaki bağlantıları temsil eden bağlantılardan oluşur. Şekil 2'de beş düğümden oluşan örnek bir ağ ve bu düğümler arasındaki bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 2: Ağ örneği

Ağ analizi, çeşitli alanlardaki araştırma sorularına cevap vermek için bilgi kaynağı olarak kullanılan bir analiz türüdür. Örneğin sosyal ağ analizi, bireyler arasındaki (düğümlerin) ilişkilerin oluşturduğu bağlantılara yönelik olarak ağ analizine dayalı sosyal ilişkileri analiz etmek için kullanılmaktadır. Ağ analizinde her düğümün kendi başına değerini temsil eden temel metrikler ve bu temel metrikler kullanılarak belirlenen ve her düğümün genel ağ üzerindeki göreceli etkisini gösteren merkezilik ölçüleri bulunur. Örneğin, temel bir ölçü olan derece, bir düğümün bağlı olduğu düğüm sayısını gösterir. Şekil 2'de 3. düğüm için derece sayısı iki iç, biri dış olmak üzere toplam üçtür. Ortalama yol uzunluğu, söz konusu düğümün diğer düğümlere olan ortalama mesafedir. Çap, ağ içindeki maksimum farkı belirtirken, kümelenme katsayısı, bir düğüme bağlı iki farklı düğümün birbirine bağlı olma olasılığını belirterek kümelenmiş bağlantıların yoğunluğunu ölçmektedir.

### *Giriş, Çıkış, Yakınlık ve Derece Merkeziliği*

Ağ analizi, bir düğümün ağdaki diğer düğümlere göre göreceli üstünlüğünü belirlemek için merkezilik ölçülerini kullanmaktadır. Derece merkeziliği (degree centrality), bir düğümün çıkan (outdegree) ve gelen (indegree) bağlantıların sayısını gösterirken, yakınlık merkeziliği (closeness centrality), bir düğümün diğer düğümlere veya diğer düğümlerden kendisine olan en kısa yol üzerindeki mesafeyi ifade etmektedir (Gürsaka, 2018). Bu merkezilik ölçüsü, sistem içinde meydana gelen bir çöküşün diğer düğümlere ne kadar hızlı yayıldığı hakkında bilgi sağlamaktadır.

$d(u, v)$ :  $u$  ve  $v$  düğümleri arası en kısa yol,  $n$ : toplam düğüm sayısı olmak üzere bu ölçülerin hesaplanmasına yönelik denklemler aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{Derece Merkeziliği:} \quad Cd(v) = \frac{v \text{ düğümünün derecesi}}{(n-1)} \quad (1)$$

$$\text{Giriş Derece Merkeziliği:} \quad Cd_{in}(v) = \frac{v \text{ düğümüne gelen dereceler toplamı}}{(n-1)} \quad (2)$$

$$\text{Çıkış Derece Merkeziliği:} \quad Cd_{out}(v) = \frac{v \text{ düğümünden çıkan dereceler toplamı}}{(n-1)} \quad (3)$$

$$\text{Yakınlık Merkeziliği:} \quad Cc(v) = \frac{n-1}{\sum_{u=1}^n d(u,v)} \quad (4)$$

### *Arasındalık, Özvektör, Ağırlıksız Özvektör ve Entropik Özvektör Merkeziliği*

Arasındalık merkeziliği (betweenness centrality), bir düğümün diğer herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolda bulunması durumunda öneminin derecesini ölçen bir ölçüdür. (Tunalı, 2016). Bu merkezilik ölçüsü, bu düğümlerde herhangi bir sorun olursa ilgili sorunların sistemin bozulmasına yol açacağını göstermektedir. Özvektör merkeziliği (eigenvector centrality) ise bir düğümün merkeziliğinin bağlı olduğu diğer düğümlerin merkeziliği ile ilişkili olduğunu varsaymaktadır.

$\sigma_{st}$ :  $s$  ve  $t$  arasındaki en kısa yol sayısını,  $\sigma_{st}(v)$ :  $s$  ve  $t$  arasındaki en kısa yolun üzerinde bulunan  $v$  düğüm sayısını,  $G$ : ağdaki diğer düğümleri,  $a_{v,t}$ :  $v$  ve  $t$  düğümlerine karşılık gelen bitişiklik matrisindeki<sup>1</sup> değeri,  $x_t$ :  $t$  düğümünün özvektör merkeziliğini ve  $\lambda$ : bitişiklik matrisinin özdeğerini temsil etmek üzere merkezilik ölçülerinin denklemleri aşağıdaki gibidir:

<sup>1</sup> Bitişiklik matrisi, bir ağdaki her düğüm arasındaki bağlantıları haritalayan bir kare matristir.



$$\text{Arasındalık Merkeziliği:} \quad Cb(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (5)$$

$$\text{Özvektör Merkeziliği:} \quad Ce(v) = (1/\lambda) \sum_{t \in G} a_{v,t} x_t \quad (6)$$

Bunların haricinde, ağırlıksız özvektör merkeziliği (unweighted eigenvector centrality) ağdaki bağlantıların ağırlıklarını göz ardı eden bir ölçümdür ( $a_{v,t} = 1$  ya da  $a_{v,t} = 0$ ) (Barabasi, 2013). Diğer bir deyişle, bu merkezilik ölçümü için bağlantıların gücü veya ağırlığı önemli değildir. Bu ölçü sadece bağlantıların varlığını dikkate almakta ve bir düğümün önemini, doğrudan bağlı olduğu diğer önemli düğümlerin sayısına bağlı olarak hesaplamaktadır. Entropik özvektör merkeziliği (entropic eigenvector centrality), özvektörlerin hesaplanmasına bağlantı derecesinin dahil edilmesiyle belirlenmektedir; öyle ki, bu merkezilik ölçüsü yüksek hacimde bağlantısı olan bir düğümün çöküşünün, az sayıda düğüm ile bağlantısı olan bir düğümün çöküşünden daha fazla yayılma etkisi yaratacağını varsaymaktadır. Hesaplaması belirli bir algoritmaya dayanmakta olup Nacaskul'un (2010) çalışmasında algoritmanın ayrıntılarına yer verilmiştir.

#### *Pagerank ve Sinkrank*

Diğer taraftan özvektör merkeziliği yalnızca yakından bağlantılı bileşenler için hesaplanabilmektedir. Pagerank merkeziliği (pagerank centrality) ise var olmayan düğümler arasında gezinmeye bir olasılık ile izin vermektedir. Bu olasılık 1'e eşitse pagerank, özvektörün merkeziliği ile aynı sonucu vermektedir (bkz: Brin ve Page, 2003). Son olarak, sinkrank merkeziliği (sinkrank centrality) genellikle ödeme sistemleri için kullanılmaktadır (bkz: Soramaki ve Cook, 2013). Sinkrank merkeziliği, bir düğümden çıkan bağlantıların ağdan silinmesi ve her düğüm için, düğüme ulaşmak için en kısa yolun tersinin hesaplanmasından elde edilmektedir. Bu merkezilik ölçüsü, bir düğümün sistemdeki diğer düğümlere gönderim yapamamasının etkisini göstermektedir. Yüksek bir değer, ilgili düğümün çökmesi durumunda sistemde olumsuz etki anlamına gelmektedir.

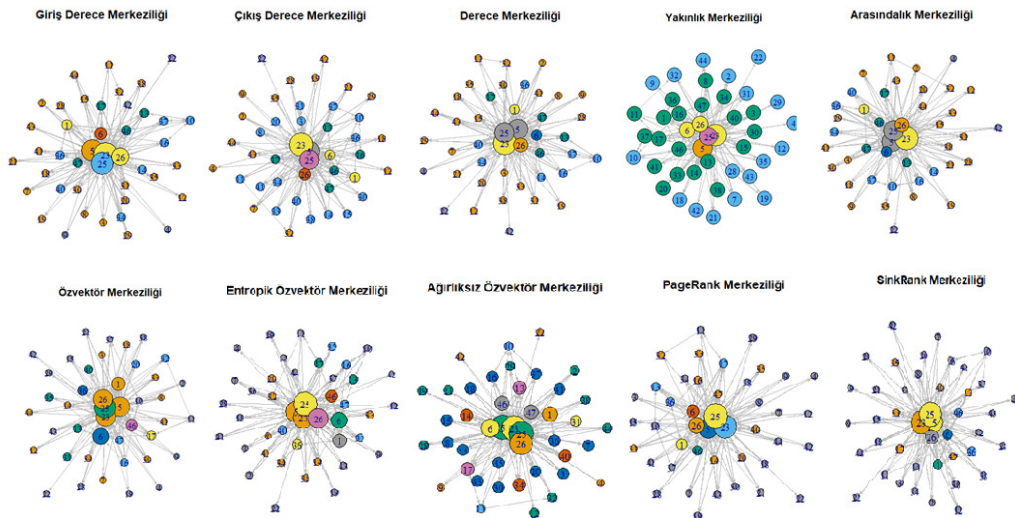
## 4. Analiz Sonuçları

2018 yılı için Havalimanlarının merkeziliklerini farklı yaklaşımlarla ölçen on farklı merkezilik ölçülerinin değerleri Tablo 3'te sunulurken, her bir ölçüye göre ilk 10'da yer alan havalimanlarının sıralaması Tablo 4'te sunulmuştur. Şekil 3'te ise ilgili ağ analizlerinin grafiklerine yer verilmiştir. Analizler R programı yardımıyla yapılmıştır.

Derece merkeziliği bir düğümün komşu sayısını ölçmektedir. Hesaplama sırasında gönderilen ve alınan yolcu sayısını dikkate almadığından merkeziliğin ölçümü için tek başına yeterli olmamaktadır. Derece merkeziliği açısından en çok havalimanı ile yolcu alımı ve aktarımı yapan havalimanlarının derece merkeziliğinin yüksek çıktığı görülmektedir. Analiz sonuçları incelendiğinde 2018 yılı için İstanbul/Atatürk, İstanbul/Sabiha Gökçen, Ankara/Esenboğa, İzmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Diyarbakır, Gaziantep ve Van/Ferit Melen havalimanlarının derece merkeziliği bakımından önde yer aldığı görülmektedir. Sadece çıkış merkezi dereceliğinde Ankara/Esenboğa ve İstanbul/Sabiha Gökçen havalimanları arasında sıralamanın değiştiği görülmektedir. Bu durum da

Tablo 2’de verilen çıkış dereceleri ile açıklanabilmektedir. 2018 yılında Ankara/Esenboğa havalimanı İstanbul/Sabiha Gökçen havalimanına kıyasla daha fazla sayıda havalimanına yolcu gönderimi yapmıştır. Bu nedenle çıkış derece merkeziliği daha yüksek elde edilmiştir. Giriş derece merkeziliği bakımından ise İstanbul/Sabiha Gökçen havalimanının Ankara/Esenboğa havalimanından daha önde yer almasının nedeni İstanbul/Sabiha Gökçen havalimanının Ankara/Esenboğa havalimanına kıyasla daha fazla sayıda havalimanından yolcu almış olmasıdır. Şekil 3’te verilen giriş, çıkış ve derece merkeziliğinde merkezde görülen havalimanları da Tablo 3’te elde edilen sonuçları yansıtmaktadır.

Yakınlık merkeziliği bir düğümün en kısa yol üzerinden diğer düğümlere veya diğer düğümlerden kendisine olan uzaklığını ölçmektedir. Borgatti (2005) bir olayın ağ üzerinde en kısa yollar üzerinden yayılacağını belirtmiş ve ağ analizinde en kısa yolların dikkate alınması gerektiğini ifade etmiştir. Ağ analizi sonuçlarında yakınlık merkeziliği bakımından sırasıyla 2018 yılında İstanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa, İstanbul/Sabiha Gökçen, İzmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Diyarbakır, Erzurum ve Gaziantep havalimanları ön plana çıkmıştır. Şekil 3’te verilen yakınlık merkeziliği sonuçlarında da bu durum görülmektedir. Şekilde aynı zamanda bu havalimanlarının yakınlık merkezilik ölçülerinin büyüklüğünde bir homojenlik elde edildiği de görülmektedir. En kısa yollar üzerinde bulunarak köprü rolü üstlenen bu havalimanları yakınlık merkeziliği açısından önemli elde edilmiştir. Derece merkeziliğinden farklı olarak Erzurum havalimanının bu merkezilik ölçüsünde ilk 10’da yer alıyor olması da en kısa yollar üzerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 3: Ağ grafikleri

Arasındalık merkeziliği, bir ağ analizinde iki nokta arasındaki en kısa yola aracılık eden düğümün merkeziliğinin bir ölçüsüdür. Arasındalık merkeziliği ile karakterize edilen düğümler, aralarında doğrudan bir ilişki olmayan diğer düğümlerle dolaylı etkileşimlerin önemli unsurlarıdır. Havalimanları açısından değerlendirildiğinde arasındalık merkeziliği gibi yüksek olan havalimanları

yolcu alım/gönderimlerine en çok aracılık eden ve bu nedenle önemli havalimanlarıdır. Ağ analizi sonuçlarına göre 2018 yılında arasındalık merkeziliği açısından İstanbul/Atatürk, İstanbul/Sabiha Gökçen, Ankara/Esenboğa, İzmir/Adnan Menderes, Trabzon, Diyarbakır, Erzurum, Muş, Antalya ve Gaziantep havalimanları öne çıkmıştır.

Derece merkeziliği, yakınlık merkeziliği ve arasındalık merkeziliğinde bağlantılar dikkate alınmakta olup taşınan yolcu sayıları dikkate alınmamaktadır. Özvektör merkeziliğinde ise düğümün merkeziliği bağlı olduğu diğer düğümlerin merkeziliği ile de ilgili olduğu varsayılmaktadır. Entropik özvektör merkeziliğinde bu özelliğe ek olarak işlem tutarları da dikkate alınmaktadır. Entropik özvektör merkeziliğinde çeşitli havalimanlarıyla yolcu alışverişi yapan havalimanının çöküşünün, az sayıda havalimanı ile yolcu alışverişi yapan bir havalimanının çöküşüne kıyasla, sistemde yayılma etkisinin fazla olacağı varsayılmaktadır. Ağ analizi sonucunda 2018 yılında özvektör merkeziliğinde sırasıyla İstanbul/Sabiha Gökçen, İstanbul/Atatürk, İzmir/Adnan Menderes, Ankara/Esenboğa, Antalya, Adana, Trabzon, Muğla/Milas Bodrum, Gaziantep ve Diyarbakır havalimanlarının öne çıktığı görülmüştür. Entropik özvektör merkeziliği sonuçları da benzer sonuçları vermiş olup sadece Ankara/Esenboğa ve İzmir/Adnan Menderes havalimanları arasındaki sıralama değişmiştir. Önceki merkezilik ölçülerinden farklı olarak bu merkezilik ölçüsünde taşınan yolcu sayısı da dikkate alındığından Muğla/Milas Bodrum havalimanının da merkezilik açısından ilk 10'da yer aldığı görülmektedir. Bir düğümün önemini, doğrudan bağlı olduğu diğer önemli düğümlerin sayısına dayanarak hesaplayan ağırlıksız özvektör merkeziliğinin sonuçları ise daha önceki merkezilik ölçüleri ile benzer sonuçları vermiştir. Sırayla İstanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa, İstanbul/Sabiha Gökçen, İzmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Van/Ferit Melen, Gaziantep ve Diyarbakır havalimanları ağırlıksız özvektör merkeziliğinde öne çıkmıştır. Pagerank merkeziliği ise olmayan bağlantılar için belirli bir olasılık değeri ile düğümler arasında gezinmeye olanak vermemektedir. Olasılık değeri 1 olduğunda pagerank merkeziliğinin sonuçları özvektör merkeziliği ile benzer sonuçlanmaktadır.

Son olarak sinkrank merkeziliği bir havalimanının yolcu gönderimi yapamaması durumunda bu durumun sistemdeki diğer havalimanlarına etkisini ölçmektedir. Yüksek sinkrank değeri havalimanında yolcu operasyonunun aksaması durumunda negatif etkinin yüksek olacağı anlamına gelmektedir. 2018 yılı için ağ analizi sonuçlarına göre sıralama bakımından pagerank ve sinkrank merkezilikleri, entropik özvektör merkeziliğinin sonuçları ile benzer şekilde elde edilmiştir. Şekil 3'te de görüldüğü üzere pagerank ve sinkrank ölçüleri için havalimanlarının merkezilik durumlarının diğer ölçülere göre birbirinden daha fazla ayrıştığı görülmektedir. Tüm ölçüler için değişkenlik katsayıları hesaplandığında bu iki ölçü için değişkenlik katsayılarının yüksek elde edildiği bulgulanmıştır. Bu sonuçlara göre Türkiye'de 2018 yılında İstanbul/Sabiha Gökçen, İstanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa, İzmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Muğla/Milas Bodrum, Gaziantep ve Diyarbakır havalimanlarının önem derecesinin ve sistematik olarak kritikliğinin yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 3. 2018 yılı için merkezilik ölçüleri

Id	Havalimanları	Giriş Derece	Çıkış Derece	Derece	Yakınlık	Arasındalık	Özvektör	Entropik Özvektör	Ağırlıksız Özvektör	Pagerank	Sinkrank
1	Adana	0.1905	0.1905	0.1905	0.0132	2.6898	0.4636	0.1983	0.4853	0.0388	0.0459
2	Adıyaman	0.0476	0.0714	0.0595	0.0122	0.0541	0.0214	0.0107	0.1728	0.0051	0.002
3	Ağrı/Ahmedi Hani	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0817	0.013	0.2568	0.009	0.0071
4	Amasya/Merzifon	0.0238	0.0476	0.0357	0.0119	0.0541	0.0095	0.0063	0.0868	0.0042	0.0009
5	Ankara/Esenboğa	0.8095	0.7619	0.7857	0.0192	364.6245	0.8591	0.439	0.991	0.121	0.1515
6	Antalya	0.3095	0.2143	0.2619	0.0133	8.63	0.6731	0.2947	0.6182	0.0569	0.069
7	Balıkesir/Koca Seyit	0.0714	0.0714	0.0714	0.0122	0.2207	0.0511	0.0201	0.2568	0.0071	0.0046
8	Batman	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0596	0.0267	0.2568	0.0078	0.0055
9	Bingöl	0.0238	0.0714	0.0476	0.0122	0.0541	0.0095	0.0087	0.0868	0.0042	0.0009
10	Bursa/Yenişehir	0.0952	0.119	0.1071	0.0114	2.5667	0.0035	0.0034	0.1186	0.005	0.0014
11	Çanakkale	0.0476	0.0952	0.0714	0.0123	0.7576	0.0121	0.0067	0.1203	0.0046	0.0013
12	Denizli/Çardak	0.0476	0.0476	0.0476	0.0119	0.2207	0.0578	0.021	0.1708	0.0075	0.0051
13	Diyarbakır	0.1429	0.1429	0.1429	0.0128	13.3197	0.1903	0.0817	0.3947	0.0181	0.0184
14	Elâzığ	0.0952	0.119	0.1071	0.0125	0.2207	0.0981	0.0414	0.3307	0.0104	0.0089
15	Erzincan	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0489	0.0202	0.2568	0.0069	0.0044
16	Erzurum	0.0952	0.1429	0.119	0.0128	10.8175	0.119	0.0529	0.2671	0.0129	0.011
17	Gaziantep	0.1429	0.1429	0.1429	0.0127	7.1374	0.2283	0.0957	0.3948	0.0204	0.0213
18	Gazipaşa/Alanya	0.0714	0.0714	0.0714	0.0122	0.2207	0.0574	0.0225	0.2568	0.0076	0.0052
19	Hakkâri/Yüksekova	0.0476	0.0476	0.0476	0.012	0	0.018	0.0066	0.1728	0.0049	0.0017
20	Hatay	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.1014	0.0432	0.2568	0.0106	0.009
21	İğdır	0.0476	0.0714	0.0595	0.0122	0.0541	0.021	0.0112	0.1728	0.0051	0.002
22	İsparta/S. Demirel	0.0238	0.0238	0.0238	0.0116	0	0.0084	0.0026	0.0868	0.0041	0.0008
23	İstanbul/Atatürk	0.9524	0.9286	0.9405	0.0222	718.8523	0.8797	0.4452	1	0.1635	0.2138
25	İstanbul/Sabiha Gökçen	0.881	0.7143	0.7976	0.0172	373.769	1	0.4954	0.967	0.1811	0.2386
26	İzmir/Adnan Menderes	0.5952	0.3095	0.4524	0.0141	54.7157	0.8645	0.3896	0.8515	0.0822	0.1017
28	Kahramanmaraş	0.0476	0.0714	0.0595	0.0122	0.0541	0.0245	0.0128	0.1728	0.0054	0.0023
29	Kapadokya	0.0476	0.0476	0.0476	0.0119	0.2207	0.0373	0.0132	0.1708	0.0062	0.0034
30	Kars/Harakani	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0523	0.0236	0.2568	0.0071	0.0047
31	Kayseri	0.0714	0.0952	0.0833	0.0122	0.2207	0.184	0.0733	0.2447	0.0163	0.0163
32	Konya	0.0714	0.0714	0.0714	0.012	0.8041	0.1017	0.0389	0.1812	0.0109	0.0091
33	Malatya	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0805	0.0342	0.2568	0.0092	0.0073
34	Mardin	0.0952	0.0952	0.0952	0.0123	0.2207	0.0705	0.0289	0.3307	0.0085	0.0065
35	Muğla/Dalaman	0.0714	0.0714	0.0714	0.0122	0.2207	0.1641	0.063	0.2568	0.0149	0.0144

36	Muğla/Milas Bodrum	0.0952	0.0952	0.0952	0.0123	0.2207	0.2685	0.1063	0.2989	0.0224	0.0241
37	Muş	0.0952	0.119	0.1071	0.0127	10.5675	0.039	0.0178	0.2671	0.0069	0.0037
38	Ordu/Giresun	0.0476	0.0952	0.0714	0.0123	0.0541	0.0462	0.0433	0.1728	0.007	0.0044
40	Samsun/Çarşamba	0.0952	0.119	0.1071	0.0125	0.2207	0.1603	0.0667	0.3307	0.0147	0.0144
41	Şanlıurfa/GAP	0.0714	0.0952	0.0833	0.0123	0.2207	0.0765	0.0339	0.2568	0.009	0.007
42	Sinop	0.0238	0.0476	0.0357	0.0119	0.0541	0.01	0.0065	0.0868	0.0043	0.0009
43	Şırnak/Şerafettin Elçi	0.0714	0.0714	0.0714	0.0122	0.2207	0.0401	0.0158	0.2568	0.0064	0.0037
44	Sivas/Nuri Demirağ	0.0476	0.0714	0.0595	0.012	0.2207	0.0535	0.0222	0.1708	0.0072	0.0047
46	Trabzon	0.1667	0.1667	0.1667	0.013	14.9554	0.3601	0.1514	0.4368	0.0303	0.0337
47	Van/Ferit Melen	0.1429	0.1429	0.1429	0.0127	0.2207	0.1443	0.0621	0.4265	0.0143	0.0141

**Tablo 4.** 2018 yılı için merkezilik ölçüleri sıralaması

Sıra	Giriş Derece	Çıkış Derece	Derece	Yakınlık	Arasındalık	Özvektör	Entropik Özvektör	Ağırlıksız Özvektör	Pagerank	Sinkrank
1	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)
2	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Atatürk (23)	İstanbul/Atatürk (23)
3	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	Ankara/Esenboğa (5)	İzmir/Adnan Menderes (26)	Ankara/Esenboğa (5)	İstanbul/Sabiha Gökçen (25)	Ankara/Esenboğa (5)	Ankara/Esenboğa (5)
4	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	Ankara/Esenboğa (5)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)	İzmir/Adnan Menderes (26)
5	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Trabzon (46)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)
6	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Diyarbakır (13)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)
7	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Erzurum (16)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)
8	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Muş (37)	Muğla/Milas Bodrum (36)	Muğla/Milas Bodrum (36)	Van/Ferit Melen (47)	Muğla/Milas Bodrum (36)	Muğla/Milas Bodrum (36)
9	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Erzurum (16)	Antalya (6)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)
10	Van/Ferit Melen (47)	Van/Ferit Melen (47)	Van/Ferit Melen (47)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)

2018 yılı için elde edilen sonuçların geçerliliğini kontrol etmek ve COVID-19 pandemisinin havalimanlarının merkezilik ölçülerini nasıl etkilediğini incelemek için 2020 ve 2022 verileri kullanılarak çalıştırılan ağ analizi sonuçlarına göre her bir ölçü için havalimanlarının merkezilik sıralaması Tablo A1 ve Tablo A2'de sunulmuştur. Öncelikle sonuçların birbirine benzeyip benzemediği aynı ölçü için yıllara göre korelasyon katsayısı üzerinden kontrol edilmiştir. Derece merkeziliği bakımından 2018 sonuçlarıyla 2020 sonuçları arasında, 2018 sonuçlarıyla 2022 sonuçları arasında ve 2020 sonuçlarıyla 2022 sonuçları arasında korelasyon katsayısı benzer şekilde 0.99 olarak elde edilmiştir. Taşınan yolcu sayısını dikkate alan özvektör merkeziliği için üç korelasyon katsayısı da 0.98 olarak elde edilmiştir. Son olarak pagerank ölçüsü için 2018 sonuçlarıyla 2020 sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0.97, 2018 sonuçlarıyla 2022 sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0.98 ve 2020 sonuçlarıyla 2022 sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0.99 olarak elde edilmiştir. Bu katsayılar incelenen ölçüler için yıllar arasında yüksek benzerlik/ilişki olduğunu göstermektedir. Tablo A1 ve Tablo A2'de verilen sonuçlar da Tablo 4 ile karşılaştırıldığında bu sonucu desteklemektedir. 2020 ve 2022 itibarıyla İstanbul Atatürk havalimanının yerini İstanbul havalimanı almış, genellikle merkezilik ölçülerinde özellikle ilk 5 sırada yer alan havalimanlarında pek fazla değişiklik görülmemiştir. İlk 10 bakımından incelendiğinde ise yakınlık merkeziliği bakımından 2018 yılında sıralamada yer alan Erzurum havalimanının 2020 ve 2022 yılında sıralamada yer almadığı, yerini Van/Ferit Melen havalimanına bıraktığı görülmektedir. Taşınan yolcu sayısını dikkate alan merkezilik ölçüleri için 2022 yılında diğer yıllardan farklı olarak özellikle sıralamaya Kayseri havalimanının girdiği Diyarbakır havalimanının ise bu ölçüler için sıralamadan çıktığı görülmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada 2018 yılına ait Türkiye'de iç hatta havalimanları arasında taşınan yolcu sayıları dikkate alınarak ağ analizi ile havalimanlarının merkezilik ölçüleri incelenmiş ve merkezilik ölçülerinin yaklaşımlarına göre sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ek olarak, 2018 yılı için elde edilen sonuçların geçerliliğini kontrol etmek ve COVID-19 pandemisinin havalimanlarının merkezilik ölçülerini nasıl etkilediğini incelemek için 2020 ve 2022 verileri için de analiz tekrarlanmıştır. Çalışmada ağ ve vektör analizleri için R programından yararlanılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre taşınan yolcu sayısını dikkate almayan derece merkeziliği, yakınlık merkeziliği ve arasındalık merkeziliği ölçülerinin sadece bağlantı açısından kullanıma uygun olduğu gözlemlenmiş olup havalimanları arasında sistematik risk açısından kritik öneme sahip havalimanlarının belirlenmesinde taşınan yolcu sayısının da dikkate alındığı entropik özvektör, pagerank, sinkrank gibi merkezilik ölçülerinin kullanılmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre entropik özvektör, pagerank ve sinkrank merkezilik ölçülerinin sonuçlarının benzer elde edildiği görülmüştür. Buna göre, Türkiye'de 2018 yılında İstanbul/Sabiha Gökçen, İstanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa, İzmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Muğla/Milas Bodrum, Gaziantep ve Diyarbakır havalimanlarının önem derecesinin ve sistematik olarak kritikliğinin yüksek olduğu söylenebilir. Bu havalimanları genellikle büyük şehirlerin veya turistik bölgelerin hava trafiğini yoğun şekilde yöneten, geniş hat ağlarına sahip ve genel olarak ülkenin

havayolu trafiğinde önemli bir rol oynayan havalimanlarıdır. İstanbul'daki havalimanlarının merkezi olma durumu için elde edilen sonuçlar Kılıç Depren ve Gökalp Yavuz (2018), Seçkin Codal ve Güner (2022) çalışmalarının sonuçlarıyla da benzerlik göstermektedir.

2020 ve 2022 için elde edilen sonuçlar merkezilik ölçüleri bakımından yıllara göre yüksek benzerlik olduğunu göstermektedir. 2018'de faaliyette olan İstanbul Atatürk Havalimanı'nın yerini 2020 ve 2022 yıllarında İstanbul Havalimanı almış, genel olarak merkezilik ölçülerinde elde edilen sıralamalarda, özellikle ilk beşte pek fazla değişiklik olmamıştır. Ancak, ilk 10 havalimanı incelendiğinde az da olsa değişiklikler görülmüştür. Özellikle, yakınlık merkeziliği bakımından Erzurum Havalimanı'nın yerini Van/Ferit Melen Havalimanı'nın aldığı ve taşınan yolcu sayısını dikkate alan merkezilik ölçülerinde Kayseri Havalimanı'nın sıralamaya girdiği, Diyarbakır Havalimanı'nın ise bu ölçüler için sıralamadan çıktığı görülmüştür.

Çalışma, Türkiye'deki havalimanları arasında sistematik risk açısından kritik öneme sahip olan havalimanlarını farklı merkezilik ölçüsü kullanarak belirlemeye yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda yine benzer merkezilik ölçüleri kullanılarak havalimanlarının merkezilik durumunun zamana göre değişimi incelenebilir, bu değerler kullanılarak havalimanlarının merkezilik durumunu etkileyen değişkenler değerlendirilebilir. Benzer çalışma dış hatta taşınan yolcu sayısı kullanarak da tekrarlanabilir.

## Kaynakça

- Ağraz, S. (2006). Havayolu işletmelerinin istihdama etkisi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Barabási, A. L. (2013). Network Science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1987), 20120375.
- Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social networks*, 27(1), 55-71.
- Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7), 107-117.
- Cheung, D. P., & Gunes, M. H. (2012). A complex network analysis of the united states air transportation. In 2012 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (pp. 699-701). IEEE.
- de Brito, E. G., dos Reis Silva, J. M., Baltazar, M. E., & Martins, B. C. A. (2023). The importance and centrality of Brazilian airports in the regular passenger traffic. *Revista portuguesa de estudos regionais*, (64), 115-127.
- Dong, Z., & Wu, W. (2015). Exploring the geography of China's airport networks: A hybrid complex-network approach. *Serc Discussion Paper*.
- DHMI (2024). Devlet Hava Meydanları İşletmesi: Türkiye geneli havalimanları uçak, yolcu ve yük trafiği istatistikleri. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>. Alındığı tarih 8.02.2024.
- Dünya Bankası (2024). Air transport, passengers carried – Türkiye. <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR?locations=TR>. Alındığı tarih 4.02.2024.
- Ersöz, C., & Karaman, F. (2023). Centrality and connectivity analysis of the European airports: a weighted complex network approach. *Transportation Planning and Technology*, 46(2), 200-223.



- Gerede, E. (2015). Havayolu taşımacılığı ve ekonomik düzenlemeler teori ve Türkiye uygulaması, SHGM Yayınları, Ankara.
- Güner, S., & Codal Seçkin, K. (2023). Complex network analysis of the Turkish domestic airport system and comparison with worldwide practices. *Journal of Airline and Airport Management*, 13(2), 51-63.
- Güner, S., Antunes, J., Seçkin Codal, K., & Wanke, P. (2022). Network centrality and efficiency in Turkish airports: A hybrid network DEA. SSRN 4252267.
- Gürsakar, N (2018). Sosyal ağ analizi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Holloway, S. (2016). *Straight and level: Practical airline economics*. Routledge, London.
- Jia, T., Qin, K., & Shan, J. (2014). An exploratory analysis on the evolution of the US airport network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 413, 266-279.
- Kılıç Depren, S., & Gökalp Yavuz, F. (2018). The network analysis of the domestic and international air transportation structure of Turkey. *Mugla Journal of Science and Technology*, 4(2), 148-155.
- Li, Z., & Dawood, S. R. S. (2016). World city network in China: a network analysis of air transportation network. *Modern Applied Science*, 10(10), 213.
- Nacaskul, P. D. (2010). Systemic import analysis (SIA)–Application of entropic eigenvector centrality (EEC) criterion for a priori ranking of financial institutions in terms of regulatory-s-Supervisory concern, with demonstrations on stylised small network topologies and connectivity weights. Available at SSRN 1618693.
- Reggiani, A., Nijkamp, P., & Cento, A. (2010). Connectivity and concentration in airline networks: a complexity analysis of Lufthansa's network. *European Journal of Information Systems*, 19(4), 449-461.
- Seçkin Codal, K., & Güner, S. (2022). Exploring the sources of centrality in the Turkish domestic airport network. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(2), 199-212.
- Soramäki, K., & Cook, S. (2013). SinkRank: An algorithm for identifying systemically important banks in payment systems. *Economics*, 7(1), 20130028.
- Song, M. G., & Yeo, G. T. (2017). Analysis of the air transport network characteristics of major airports. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(3), 117-125.
- Tesoriere, G., Russo, A., De Cet, G., Vianello, C., & Campisi, T. (2023). The centrality of Italian airports before and after the COVID-19 period: what happened? *European transport/trasporti Europei*, (93), 1-16.
- Trobajo, M. T., & Carriegos, M. V. (2022). Spanish airport network structure: Topological characterization. *Computational and Mathematical Methods*, 2022.
- Tunali, V (2016). Sosyal Ağ Analizine Giriş. Nobel Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara.
- Wittmer, A., & Beritelli, P. (2011). Comparing airline network structures: The case of Australia. In *Cauthe 2011: National Conference: Tourism: Creating a Brilliant Blend* (pp. 1384-1400).



## NETWORK ANALYSIS APPLICATIONS ON PASSENGER TRANSPORTATION AT AIRPORTS AND CENTRALITY OF AIRPORTS: A CASE STUDY OF TURKIYE DOMESTIC FLIGHTS

Umut AYDIN\* 

Aviation plays a critical role in establishing global connections, supporting economic growth, and providing fast transportation between societies, creating positive impacts in various sectors such as tourism and trade. By connecting cities worldwide and swiftly transporting people and goods, aviation enhances global connectivity, fostering cultural interactions, and strengthening economic and commercial relationships. The aviation sector, offering employment opportunities in diverse fields, from pilots to cabin crew, technical personnel to air traffic controllers, contributes to employment and, consequently, economic growth.

The status of being a central (hub) airport generally implies that the airport serves as the main transfer hub for an airline, facilitating effective passenger or cargo transfers to connect various destinations within its extensive flight network. Central airports are significant air transportation hubs where numerous domestic and international flights converge, allowing passengers to transfer to reach different destinations. The status of being a central airport is often based on factors such as a strategic geographical location with economic and touristic significance, robust transportation infrastructure, sufficient capacity, strong airline relationships, and operational efficiency.

Airline transport is an important sector that contributes to the national economy and trade in Turkiye as well as in the world. Turkiye's geographical position in political and economic terms and its cultural and touristic heritage have led to the further development of the aviation sector over the years. The World Bank's (2024) passenger data for Turkiye confirms this development. Although there have been sudden shocks in the number of passengers carried by air transport in Turkiye from time to time due to global crises or pandemics, in general terms, there has been an exponential increase in the number of passengers carried since 1970. In 2018, the highest value was achieved in the number of passengers carried by air in Turkiye.

---

\* Ass. Prof., Bandırma Onyedi Eylül University, Ömer Seyfettin Faculty of Applied Sciences, Department of International Trade and Logistics, Balıkesir. E-mail: uaydin@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4802-8793.

The aviation sector's organizational structure can be represented as a network, where connections are formed through departure and arrival relationships. Airports act as nodes, and passenger transfers between them are considered links in a flow model. Utilizing the framework and metrics provided by network theory, an analysis can be conducted to examine the centrality measures of airports based on flow patterns. In the current researchs on airports or airlines using network analysis in the literature, it is seen that China, the United States of America (USA) and European countries, which are developed and developing regions in terms of aviation, are generally preferred. The most frequently used network analysis approaches to measure the centrality of airports are clustering coefficient, betweenness centrality, closeness centrality and eigenvector centrality. However, in this study, an analysis of the centrality measures of airports in Türkiye was performed using data on domestic passenger numbers in 2018. Furthermore, the analysis was repeated for 2020 and 2022 data to check the validity of the results obtained for 2018 and to examine how the COVID-19 pandemic has affected the centralities of airports. Various centrality measures were applied, and the results were compared based on different approaches. R programming language was employed for network and vector analyses.

The analysis results indicate that centrality measures such as degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality, which do not consider the number of passengers transported, are suitable only for connection perspectives. For systematic risk assessment and identifying airports with critical importance among them, centrality measures like entropic eigenvector, pagerank, and sinkrank, which take into account the number of passengers transported, are more appropriate. The results show similarities in the outcomes of entropic eigenvector, pagerank, and sinkrank centrality measures.

According to the findings, in 2018, Istanbul/Sabiha Gökçen, Istanbul/Atatürk, Ankara/Esenboğa, Izmir/Adnan Menderes, Antalya, Adana, Trabzon, Muğla/Milas Bodrum, Gaziantep, and Diyarbakır airports demonstrated high importance and systematic criticality in Türkiye. These airports typically manage air traffic for large cities or tourist destinations, possess extensive flight networks, and play a significant role in the country's air traffic. The results for Istanbul align with the findings of previous studies by Kılıç Depren and Gökalp Yavuz (2018) and Seçkin Codal and Güner (2022).

The results for 2020 and 2022 show high similarity in terms of centrality measures across years. Istanbul Atatürk Airport, which was in operation in 2018, was replaced by Istanbul Airport in 2020 and 2022, and in general, the rankings obtained in centrality measures, especially in the top five, did not change much. However, when the top 10 airports are analysed, slight changes are observed. In particular, it was observed that Van/Ferit Melen Airport replaced Erzurum Airport in terms of proximity centrality and Kayseri Airport entered the ranking in centrality measures taking into account the number of passengers carried, while Diyarbakır Airport dropped out of the ranking for these measures.

The study makes an important contribution to identify the airports that have critical importance in terms of systematic risk among the airports in Türkiye by using different centrality measures. In future studies, the change in the centrality of airports over time can be examined by using similar centrality measures, and the variables affecting the centrality of airports can be evaluated using these values. A similar study can be repeated using the number of passengers carried on international routes.

## Ekler

Tablo A1. 2020 yılı için merkezilik ölçüleri sıralaması

Sıra	Giriş Derece	Çıkış Derece	Derece	Yakınlık	Arasındalık	Özvektör	Entropik Özvektör	Ağırlıksız Özvektör	Pagerank	Sinkrank
1	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	Ankara/ Esenboğa (5)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)
2	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul (24)
3	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)
4	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	Antalya (6)	Ankara/ Esenboğa (5)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)
5	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Ankara/ Esenboğa (5)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)
6	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)
7	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Van/ Ferit Melen (47)	Trabzon (46)	Trabzon (46)
8	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Trabzon (46)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)
9	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Muğla/Milas Bodrum (36)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)
10	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Diyarbakır (13)	Muğla/ Milas Bodrum (36)	Gaziantep(17)	Muğla/ Milas Bodrum (36)	Muğla/ Milas Bodrum (36)

**Tablo A2.** 2022 yılı için merkezilik ölçüleri sıralaması

Sıra	Giriş Derece	Çıkış Derece	Derece	Yakınlık	Arasındalık	Özvektör	Entropik Özvektör	Ağırlıksız Özvektör	Pagerank	Sinkrank
1	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul (24)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul (24)	Ankara/ Esenboğa (5)	İstanbul (24)	İstanbul (24)
2	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul (24)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul (24)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)
3	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Antalya (6)	Antalya (6)	İstanbul/ Sabiha Gökçen (25)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)
4	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)	İzmir/ Adnan Menderes (26)
5	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)	Gaziantep (17)	Ankara/ Esenboğa (5)	Ankara/ Esenboğa (5)	Antalya (6)	Antalya (6)	Antalya (6)
6	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Antalya (1)	Adana (1)	Adana (1)	Trabzon (46)	Adana (1)	Adana (1)
7	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Adana (1)	Trabzon (46)	Trabzon (46)	Adana (1)	Trabzon (46)	Trabzon (46)
8	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Gaziantep (17)	Trabzon (46)	Muğla/ Milas Bodrum (36)	Gaziantep (17)	Van/ Ferit Melen (47)	Gaziantep (17)	Muğla/ Milas Bodrum (36)
9	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Van/ Ferit Melen (47)	Gaziantep (17)	Muğla/ Milas Bodrum (36)	Gaziantep (17)	Muğla/ Milas Bodrum (36)	Gaziantep (17)
10	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Diyarbakır (13)	Kayseri (31)	Kayseri (31)	Diyarbakır (13)	Kayseri (31)	Kayseri (31)