



Received: 22 May 2023 | Revised: 18 June 2023 | Accepted: 27 June 2023

TÜRKİYE HAVA ULAŞIM AĞI'NIN (THUA) DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ: DİNAMİK MEKÂNSAL - KARMAŞIK AĞ YAKLAŞIMI

Modeling the Change of the Turkish Air Transport Network (THUA): Dynamic Spatial - Complex Network Approach

Umut ERDEM 

Dokuz Eylül Üniversitesi Harita Kadastro Programı,
İzmir-Türkiye
umut.erdem@deu.edu.tr

Abstract

The aviation industry is a capital-intensive industry with high quality social capital and high technology. For this reason, it is of strategic importance for both national and regional economies. Air transport networks are able to attract domestic and foreign investments to the regions by the settlement of the complementary sectors of the aviation industry, as well as the passengers, cargo and information they circulate. The Turkish Air Transport Network (THUA) has a history of almost a century that started in 1930 and continues to grow today with the world's largest airport and a global flag carrier. In this context, this article models the change of THUA for each year in the 2012-2017 period using spatial-complex network analysis, estimates the effects of socio-economic and network criterion-based dynamics on the probability of a new connection between airports in THUA using machine learning models and reveals important results. Although the THUA is a sparse network, it tends to be concentrated. New ties are not formed randomly between nodes, on the contrary, they are formed between certain airports. Income and population, as well as degree centrality and clustering coefficient, increase the likelihood of a new link between airport pairs.

Keywords: Turkey Air Transportation Network, Spatial Network Analysis, Complex Network Analysis, Machine Learning

Öz

Havacılık sektörü yüksek ve kaliteli sosyal sermaye ve yüksek teknoloji içeren sermaye yoğun bir sektördür. Bu nedenle hem ülke ekonomileri hem de bölge ekonomileri için stratejik önem arz etmektedir. Hava taşımacılığı ağları dolaşımını sağladıkları yolcu, yük ve bilginin yanı sıra havacılık sektörünün tamamlayıcı sektörlerin bölgelerde yerleşmesiyle yerli ve yabancı yatırımları da bölgelere çekebilmektedirler. Türk Hava Ulaşım Ağı (THUA), 1930'da başlayan neredeyse bir asırlık bir geçmişe sahiptir ve bugün dünyanın en büyük havalimanı ve küresel bir bayrak taşıyıcısı ile büyümeye devam etmektedir. Bu bağlamda, bu makale THUA'nın 2012-2017 periyodunda her yıl için mekânsal-karmaşık ağ analizlerini kullanarak değişimini modellemekte, makine öğrenmesi modelleri kullanarak THUA'da havalimanları arasında yeni bir bağın oluşum olasılığına sosyo-ekonomik ve ağ ölçütü tabanlı dinamiklerin etkilerini tahmin etmekte ve önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. THUA her ne kadar seyrek bir ağsa da yoğunlaşma eğilimindedir. Yeni bağlar düğümler arasında rastlantısal olarak oluşmamakta aksine belirli havalimanları arasında oluşmaktadır. Gelir ve nüfus ve ayrıca derece merkeziliği ve kümelenme katsayısı havalimanı çiftleri arasında yeni bir bağın oluşma olasılığını arttırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Hava Ulaşım Ağı, Mekânsal Ağ Analizi, Karmaşık Ağ Analizi, Makine Öğrenmesi

1. GİRİŞ

Ulaşım, bireylerin, malların, teknolojinin, bilginin ve yeniliğin yer değişimini sağlaması ve iktisadi birikim çevrimini hızlandırması nedeniyle önemli bir iktisadi olgudur. Çok modlu ve bütünsel ağ yapılarını içeren karayolu, deniz ve hava ulaşım ağları teknolojik gelişmeler doğrultusunda yatırımları ulusal ve bölgesel bütçelerde oldukça yüksek payları kapsayan yatırımlardır (Rodrigue ve diğ., 2013). Hava ulaşım ağlarına yönelik yatırımlar sektörün içerdiği yüksek rekabet ortamı, yüksek teknolojik gelişmeler, daha yüksek beşerî sermaye ve teknolojiyi tamamlayıcı sektörler ve daha hızlı sermaye sirkülasyonu nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Hava ulaşım ağları geri kalmış bölgelerin gelişmiş bölgelere ve küresel pazarlara erişim fırsatı sunabilmesi nedeniyle ulusal ve bölgesel ekonomiler için önemli bir iktisadi olgudur. Ayrıca havalimanı kapasitesi ve bağlanabilirlik açısından, hava ulaşım ağları geri kalmış bölgeler ve gelişmiş bölgeler arasında teknolojinin, insan sermayesinin yayılımında ve dağılımında katkı sunduğu ifade edilmektedir (Allroggen ve Malina, 2014).

Havayolu ağları yukarıda ifade edilen sosyo-iktisadi nedenselliklere ilişkin olarak dinamik ve kesintisiz değişim gösteren ağ örüntüleridir. Hava ulaşım ağlarının evrimini ve gelişimini yönlendiren nedensellik bölgelerin ve ülkelerin ekonomik büyümesi ilişkili olduğundan, bölgesel ekonomiler için ağ paradigmasının kullanımıyla ağ topolojisinin analiz edilmesine ve sosyal ve iktisadi çözümlenmelere girdi sunacak bulgular elde edilmesi mekânsal karmaşık ağ analizlerine önemli bir işlev yüklemektedir (Kasarda and Green, 2005). Büyük veri ve ağ bilimi (Brandes ve diğ., 2013; Barabasi, 2013) ve mekansal ağ analizleri, ulaşımın ve özellikle havayolu ağlarının modellenmesine olanak sağlamaktadır (Barthelemy, 2011; Tsiotas ve Polyzos, 2018). Havayolu ağları rastgele oluşmuş coğrafi örüntüler değildir aksine örneğin, ABD (Jia ve Jiang, 2012; Clark ve diğ., 2018), Çin (Wang ve diğ., 2011), Hindistan (Bagler, 2008), Avustralya (Hossain ve Alam, 2017) ve dünya geleninde (Wu ve diğ., 2018; Sun ve diğ., 2017) çalışmalarının ortaya koyduğu üzere belirtilen hava taşımacılığı ağları, düğüm, bağlantı, kümelenme ve diğer özellikler açısından çeşitli ağ topolojilerine sahip rastgele olmayan karmaşık ağ yapılarıdır (Barthelemy, 2011). Bu ağların her biri aynı zamanda coğrafi ve sosyoekonomik çerçeve tarafından yapılanan merkezilik ve hiyerarşik ağ bileşen yapısı da içermektedir.

Türkiye'nin önemli bir jeopolitik konuma sahip olması, dünya çapındaki çok modlu ulaşım ağında geçit işlevi görmesi (Rodrigue ve diğ., 2013), Avrupa ve Asya'nın buluşma noktasında yer alması ayrıca asırlık bir geçmişe sahip olan Türkiye Hava Ulaşım Ağı (THUA), THUA'ya Türkiye'nin ekonomik ve bölgesel kalkınması için önemli bir güç olma işlevi yüklemektedir ve bu nedenlerle mekânsal ağ analizleriyle incelenecek ilginç bir ağ topolojisi örneği olarak ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca gelişmekte olan bir ekonomi olarak Türkiye transit uçuşları çekme coğrafi avantajına (Dursun ve diğ., 2014) ve artan iç hava taşımacılığı talebine sahiptir ve ayrıca kaynaklar, üretim, hizmetler ve tüketim gibi sosyoekonomik gelişmenin tüm yönleriyle ilgili olarak büyük bir pazardır (Çiftçi ve Sevкли, 2015; Melikoğlu, 2017). Örneğin THUA, toplam iç hat yolcu sayısı bakımından ilk 10 ülke arasında yer almaktadır (Melikoğlu, 2017) ve dünya çapında maksimum sayıda destinasyonda faaliyet gösteren ulusal bayrak taşıyıcı Türk Hava Yolları'nı (THY) geliştirmiştir (Çiftçi ve Sevкли, 2015).

Küreselleşmenin "ekonomik büyümeyi" tetiklediği 2000'li yıllar sonrasında havacılık politikalarının Türkiye'de serbestleştirilmesine ve havacılıkta yapılan teknolojik gelişmelere paralel olarak havacılık sektörünün yoğunlaşması ve büyümesi adeta "patlama" yaşamıştır (Çetin ve Benk, 2011). Ulaşım filosu ve altyapıları (Orkcu ve diğ., 2016) ve özel pazarın artması ve artan talep (Çetin ve Benk, 2011; Melikoğlu, 2017) ve devlet sübvansiyonları (Saldıraner, 2013) hava taşımacılığı pazarının yoğunlaşmasını sağlamıştır. Tüm bu gelişmeler sonucunda THUA hem dinamik bir ağ hem de coğrafi olarak yeniden yapılanmıştır.

Bu kapsamda sonraki bölümde THUA'nın günümüz yapısının köklerini ve değişim dinamikleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan veri ve metodoloji aktarılmıştır. Dördüncü bölümde ise THUA'nın yapısını çözümlenmek amacıyla yapılan keşfedici mekânsal-karmaşık ağ analizlerini aktarmaktadır. Beşinci bölümde ağda havalimanı çiftleri arasında yeni bağların oluşma olasılığının tahmin edildiği makine öğrenme modelleri yer almaktadır. Tartışma ve sonuç altıncı bölümde yer almaktadır.

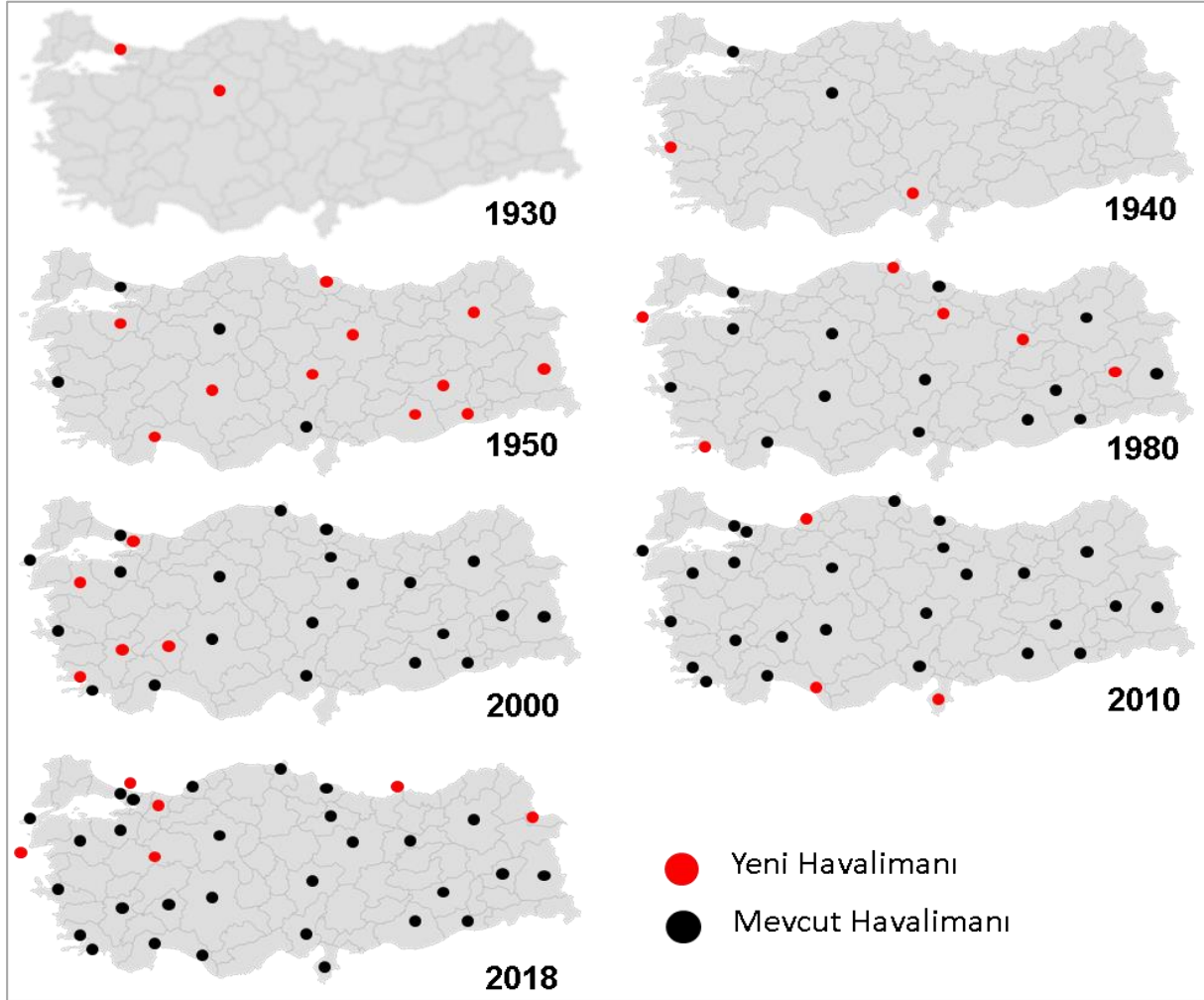
2. TARİHİ ARKA PLAN

THUA'nın geçmişi, yeni modern cumhuriyetin kurulduğu ve Atatürk'ün "İstikbal göklerde" sloganının kurucu otorite olduğu 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Türkiye'de havacılık sektörü, 1900'lü yılların başında İstanbul'da iki hangar ve küçük bir pisti kapsayan havacılık faaliyetlerinden dünyanın "en büyük" havalimanına ve dünyada en çok uçuş gerçekleştiren küresel bayrak taşıyıcısı THY'ye bir asırda benzersiz bir geçiş gerçekleştirmiştir.

İfade edilen benzersiz geçişin temel hızlandırıcısı Türkiye ekonomisinin 1980 sonrası yaşanan serbestleşme ve deregülasyon politikalarıdır. Türkiye'de havacılık pazarı, özellikle 2000 sonrası süreçte özel sektöre alan açılmasıyla ve yap-işlet-devret modeli ile kamu ve özel sektör iş birliği ile gerçekleştirilen havacılık alt yapılarıyla hızla büyümüştür (Duran ve Erdem, 2017; Shinnar ve Zamantılı, 2019).

THY bir kamu kuruluşu olarak 1933 yılında İstanbul (eski başkent) ile Ankara (yeni başkent) havalimanları arasında hizmet vermeye başlamıştır (Bakırcı, 2012; Dursun vd., 2014; Çetin ve Benk, 2011). İstanbul ve Ankara havalimanlarından sonra ilk havalimanları, 1939 yılında ülkenin en büyük 3. nüfusuna sahip bir batı şehri olan

İzmir'e ve Türkiye'nin güneyindeki büyük şehirlerden biri olan Adana'ya inşa edilmiştir (THY, 2018). Bu yeni havalimanları ile THUA, Türkiye'nin batı ve doğu Akdeniz bölgelerine yayılmıştır. THUA, 1943 yılında Van havalimanının inşa edilmesiyle Türkiye'nin doğusuna yayılmıştır (Bakırcı, 2012; Taşlıgil, 1999). 1950'li yıllara gelindiğinde, THUA'nın mekânsal örüntüsü, İstanbul ve Ankara havalimanlarının merkezde olduğu, çevre havalimanlarının bu merkez havalimanlarından sadece birine veya ikisine bağlı olduğu, çevre havalimanları arasında herhangi bir çapraz bağın olmadığı bir ağ şeklinde oluşmuştur. THUA'nın ifade edilen iki çekirdekli coğrafi konfigürasyonu sonralarda topla dağıt (hub and spoke) modeli olarak adlandırılan periferdeki havalimanlarından uçuşların merkezi havalimanlarında toplandığı ve ardından tekrar periferdeki havalimanlarına dağıtıldığı sisteme esas olarak 2000'li yıllara kadar kendini sürdürmüştür (Ersöz ve diğ. 2022). Yıllara göre THUA'ya eklenen havalimanları ve THUA'nın mekânsal yayılımı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1- Türkiye'deki Havalimanlarının Tarihsel ve Mekânsal Yayılımı
Figure 1- Historical and Spatial Expansion of Airports in Turkey

THUA içerisinde THY 1980'li yıllara kadar iç ve dış taleplere hizmet vermiştir. Ayrıca 1980'li yıllara kadar Türkiye genelinde büyük şehirlere yeni havalimanları da inşa edilmiştir. 1980'den sonra, küresel serbestleşme politikaları doğrultusunda hem uluslararası hem de yerel pazarlara hizmet vermek üzere 34 yeni özel havacılık firması Türkiye havacılık pazarında yer almıştır. 1990'lı yıllardan sonra THY'nin pazardaki konumunu korumak için koruma politikaları uygulanmaya başlanmıştır. THY'ye imtiyaz tanıyan kontrolsüz deregülasyon politikaları ve tahsis edilen imtiyazların pazar gücünü pekiştirmesi, 1990'daki Körfez Savaşı, 1999'daki ulusal ekonomik krizler ile bu yeni şirketlerden 28'i iflas ilan etmesine neden olmuştur (Orhan ve Gerede, 2013; Battal ve Kiraci, 2015).

2000'li yıllardan sonra Türkiye'de daha liberal bir piyasa ortamına kavuşmak için hükümetler tarafından yeni neoliberal programlar izlenmiştir (Pamuk, 2014; Togan, 2016). Türkiye'nin yeni teknolojileri ve serbest piyasa ortamı ile hava taşımacılığına olan talep artmış ve hem iç hem de dış talebe hizmet vermek için yeni düşük maliyetli taşıyıcı şirketler ortaya çıkmıştır (Orhan ve Gerede, 2013). THY, kamu iktisadi teşebbüsü niteliğinden halka arz edilen bir şirkete dönüşmüştür. Hükümetlerin neoliberal programları ile ilgili olarak Türkiye'nin havacılık sektöründe büyük bir değişikliğe yol açan bir başka kilometre taşı, havalimanlarının inşası ve işletilmesinde kamu odaklı havalimanı işletmeciliğinden özel-kamu ortaklığına geçiştir (Togan, 2016). Bu da ülkenin büyük şehirlerinde yeni havalimanlarının yap-işlet-devret modeliyle inşa edilmesine yol açmıştır. Sabiha Gökçen havalimanı ve Antalya Havalimanı'nın dış hatlar kısmı ile İstanbul Havalimanı özel sektör tarafından inşa edilmiş ve halen işletilmektedir (daha fazla detay için bkz. Battal ve Aksoyek, 2018).

THUA'nın iki çekirdekli modele dayalı mekânsal konfigürasyonu, yeni pazar dinamikleri ile yeniden yapılandırılmıştır. İzmir ve Sabiha Gökçen havalimanları, pazardaki yüksek rekabet ve ulusal bayrak taşıyıcının hâkim rolü nedeniyle şirketler tarafından aktarma merkezi olarak seçilmiştir (Acar ve Karabulak, 2015). Bu yeni dört çekirdekli model, THUA'nın mekânsal konfigürasyonunda değişikliklere yol açmıştır, ancak yeni merkezler de batı ve güneydeki ana havaalanları olduğundan, THUA'nın eşitsiz coğrafyası değiştirilmesi zor bir mekânsal örüntüye dönüşmüştür.

Anadolu Jet firması, 2008 yılında THY'nin kontrolünde, firma içinde firma modelinde ve ağırlıklı olarak iç pazarda yeni düşük maliyetli taşıyıcı firmalarla rekabet etmek ve küçük ve büyük havalimanları arasında bağlantı sağlamak amacıyla kurulmuştur. Türkiye'nin başkenti ve konum olarak merkezi olan Ankara, AnadoluJet şirketinin ülke çapındaki küçük havalimanları arasında Ankara üzerinden bağlantılı uçuşlar sağlaması için ana merkez olarak seçilmiştir (Orhan ve Gerede, 2013).

Anadolu Jet firmasıyla, bir yandan THY'nin düşük fiyatlı taşıyıcılarla rekabet etmek için kalitesini ve lüksünü düşürmesi gerekmediği, diğer yandan THY'nin hizmetini geliştirerek uluslararası pazarı hedefleyebileceği stratejisinin bir parçası olarak seçildiği ifade edilmektedir. Kalite ve konfor artışıyla THY, yüksek gelirli uluslararası grupların talebini çekmiş ve uluslararası pazardaki konumunu güçlendirmiştir (Çiftçi ve Şevkli, 2015).

2012 sonrasında Türkiye'nin batısında Gökçeada, Aydın ve Kocaeli havaalanları, Türkiye'nin doğusunda Iğdır Havaalanı, Türkiye'nin kuzeyinde Zonguldak Havaalanı, Türkiye'nin güneyinde Gazipaşa Havaalanı hizmete açılmıştır (Taslıgil, 1999). THUA'nın dört çekirdekli coğrafi konfigürasyonu, 2012 yılında 7 merkezden (Atatürk, Sabiha Gökçen, Ankara, İzmir, Adana, Trabzon ve Antalya) 48 havalimanına iç hat uçuşlarının yapıldığı bir mekânsal örüntüye dönüşmüştür. Merkez sayısının 4'ten 7'ye yükselmesi her ne kadar batı-doğu ayrımında eşitsizlikleri dengelemeyi içerse de THUA'nın yeni mekânsal örüntüsü de yüksek eşitsizlik içermektedir. Genelgelere göre, görevlendirilen havayolu şirketinin haftalık sefer sayısı her hat için yaz döneminde 3, kış döneminde 2 seferden az olamaz.

Büyük havalimanlarına yönelik yurt içi talep için şirketlerin rekabeti, küçük havalimanlarına göre daha yüksek olmuştur. Bu nedenle, küçük havalimanlarına uçuşlar ağırlıklı olarak Anadolu jet şirketi tarafından ve kısmen THY tarafından Ankara havalimanı üzerinden birkaç havalimanları için hizmet vermiştir (Orhan ve Gerede, 2013). Diğer şirketler, kar maksimizasyonu ve pazar dinamikleri nedeniyle çoğunlukla ikincil havalimanlarına hizmet vermeyi tercih etmişlerdir. THUA'ya, 2013 yılında Türkiye'nin doğusundaki Şırnak havalimanı ve Türkiye'nin kuzeyindeki Kastamonu havalimanının eklenmesiyle 52 havalimanına genişlemiştir (Orhan ve Gerede, 2013). Perifer bölgelerde yer alan havalimanları ile 7 merkez havalimanı arasında yeni uçuşları ve ayrıca perifer havalimanları arasında da yeni çapraz uçuşların gerçekleşmesini teşvik etmek amacıyla 2013 ve 2015 yıllarında teşvik genelgeleri yayınlanmıştır (Orhan ve Gerede, 2013). Teşvik genelgeleri dış hat uçuşlarına iç hat uçuşları yapan firmalara öncelik vermek üzere kurgulanmıştır. Genelgelerin önemli düzenleyici maddelerinden biri, bir şirketin yeni iç hatlarda yeterli seferlere başlaması halinde, dış hatlara hizmet vermek için öncelik bu şirkete verilmesi, iç hattın iptal edilmesi durumunda tahsis edilen dış hat iptal edilmesidir.

Tablo 1'de merkez havalimanlarına göre uçuş gerçekleştirilmesi teşvik edilen perifer havalimanları yer almaktadır. Genelge aracılığıyla İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya havalimanları ve 35 perifer havalimanı

arasında düzenlenmiştir. Halihazırda AnadoluJet firmasının perifer havalimanları ve Ankara Havalimanı arasında servis sağladığından en az sayıda perifer havalimanı Ankara Havalimanına ayrılmıştır. Ankara havalimanı kadar olmasa da İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ve perifer havalimanları arasında da gerçekleşmektedir. Yine de İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanına ayrılan perifer havalimanı sayısının Ankara havalimanına ayrılan perifer havalimanı sayısının 2 katından fazladır. 2013 genelgesinin öncelikli amacının İzmir ve Antalya havalimanları ve periferde yer alan havalimanları arasında sağlanması olduğu Tablo 1'de görülmektedir. Antalya havalimanı ve 29 perifer havalimanı arasında uçuş gerçekleştirilmesi teşvik edilirken, İzmir havalimanından ise 21 perifer havalimanına uçuş gerçekleştirilmesi teşvik edilmektedir.

Tablo 1- 2013'te Havalimanı Çiftleri Arasında Teşvik Edilen Hatlar (DHMI, 2014)

Table 1-Subsidized Lines Between Airport Pairs in 2013 (DHMI, 2014)

Başlangıç	Varış
Sabiha Gökçen (İstanbul)	Adıyaman, Ağrı, Amasya, Denizli, Gökçeada, Iğdır, Isparta, Kahramanmaraş, Nevşehir, Muş, Siirt, Sinop, Uşak, Eskişehir
Ankara	Balıkesir, Gökçeada, Sinop, Gazipaşa, Sivas, Denizli
İzmir	Adıyaman, Ağrı, Amasya, Batman, Bursa, Iğdır, Isparta, Kahramanmaraş, Kocaeli, Konya, Nevşehir, Muş, Siirt, Sinop, Sivas, Tokat, Uşak, Eskişehir, Tekirdağ, Zonguldak, Gazipaşa
Antalya	Adıyaman, Ağrı, Amasya, Batman, Bursa, Çanakkale, Denizli, Erzincan, Erzurum, Elâzığ, Gökçeada, Iğdır, Maraş, Kocaeli, Kayseri, Kars, Nevşehir, Muş, Siirt, Sinop, Sivas, Tokat, Uşak, Eskişehir, Tekirdağ, Şanlıurfa, Zonguldak, Mardin ve Malatya

Her ne kadar iki genelge de merkez havalimanları ve perifer havalimanları arasında uçuşların gerçekleşmesine diğer bir ifadeyle THUA'nın yoğunlaşarak Türkiye'nin bölgeleri arasında yolcu ve yük taşımını sağlaması amaçlansa da bölgelerin ve havacılık sektörü dinamikleri merkez havalimanları ve belirli (seçili) perifer havalimanları arasında uçuşların gerçekleşmesine neden olmuştur. 2013 genelgesiyle 4 merkez havalimanı ile 18 perifer havalimanı arasında uçuşlar firmalar tarafından üstlenilmiştir. 2015 genelgesinin ardından ise 4 merkez havalimanı ve 11 perifer havalimanı arasında uçuşlar düzenlenmiştir. Genelgeler ardından firmalar tarafından merkez havalimanları ve seçili perifer havalimanları arasında gerçekleştirilen uçuşlar ve sıklıkları 2013 genelgesi için Tablo 2'de 2015 genelgesi için ise Tablo 3'te gösterilmiştir.

2013 genelgesinin ardından firmalar tarafından en fazla güzergâh seçimi İzmir ve Antalya havalimanına göre görece az sayıda perifer havalimanı ayrılmasına rağmen Sabiha Gökçen havalimanına gerçekleşmiştir. İstanbul'un içerdiği hem ekonomik hem de nüfus dinamikler firmaların Sabiha Gökçen havalimanı ve perifer havalimanı arasındaki uçuşlara dair ortaya koymuş oldukları talebi açıklamaktır. Firmalar İzmir ve Antalya havalimanlarından Batman, Kocaeli ve Sivas havalimanları güzergahlarını seçmişlerdir. Bu durum 2015 genelgesinin ardından yeni açılan hatlar için de benzerdir. En fazla güzergâh Sabiha Gökçen havalimanı ve perifer havalimanlarına gerçekleşirken yine de bu sayı 2013 genelgesinin ardında açılan yeni güzergahların oldukça gerisindedir. Her iki genelgeyle toplamda 4 merkez havalimanı ile 29 perifer havalimanı arasında yeni hatların oluşması sağlanmıştır. Gerçekleşen yeni hat sayısının beklenenin oldukça gerisinde olduğu görülmektedir. Teşvik edilen ancak firmalar tarafından tercih edilmeyen güzergahlar ve ilgili bilgiler Ek-1'de yer almaktadır.

2015 yılında petrol fiyatlarında yaşanan gerileme firmaların maliyetlerini düşürerek fiyatların düşmesine neden olmuştur. 2006'dan 2016 sonuna kadar ortalama bilet fiyat endeksi dünyada %20 düşüş gösterirken, Türkiye'de %30 düşüş göstermiştir. Ayrıca kişi başına düşen gelir dünyada yüzde 6, Türkiye'de yüzde 19 artmıştır. Daha açık bir ifadeyle, Türkiye'de ortalama bireysel gelir dünya ortalamasının 3 katı artmış, bilet fiyatları ise dünya ortalamasının 1,5 katı azalmıştır (Gerde, 2015). İfade edilen gelişmeler THUA'nın sadece mekânsal olarak yayılmadığını ayrıca dinamik bir ağ olarak yoğunlaştığını da göstermektedir. 2017 yılı itibariyle THUA iç hatlarda yaklaşık 109 milyon ve dış hatlarda ise yaklaşık 83,5 milyon yolcunun taşındığı, 55 havalimanından, 13 yerli firmanın 549 güzergahta uçuş hizmeti verdiği yoğunlaşan bir ağa dönüşmüştür. THUA'nın 2012-2017 periyodunda dinamik dönüşümü sonraki bölümde mekânsal-karmaşık ağ analizleriyle çözümlenmiştir.

Tablo 2- 2013 Yeni Uçuş Hatlarının Teşvik Edilmesine İlişkin Genelge ile Tercih Edilen Hatlar, Şirketler ve Frekanslar (SHGM, 2012; 2013; 2014)

Table 2-2013 Circular on the Promotion of New Flight Lines and Preferred Lines, Companies and Frequencies (SHGM, 2012; 2013; 2014)

Başlangıç	Varış	Nüfus (2013)	Kişi Başına Düşen GSYİH (\$) (2013)	Yolda Sürüş Süresi - Mesafe	Şirket	Haftalık Sefer Sıklığı
Sabiha Gökçen (İstanbul)	Amasya	321.977	9.274	7s 13d - 677 km	Pegasus	3
	Denizli	963.464	11.461	6s 25d - 579 km	Pegasus	5
	Gökçeada	8.830	-	5s 2d - 348 km	Borajet	3
	İğdır	190.424	6.681	17s 21d - 1,522 km	Atlasjet	7
	Isparta	417.774	9.779	6s 24d - 568 km	Borajet	3
	Maraş	1.075.706	7.460	11s 8d - 1,030 km	Pegasus	3
	Muş	412.553	5.748	16s 16d - 1,452 km	Pegasus	3
	Nevşehir	285.460	8.794	7s 35d - 743 km	Pegasus	3
	Sinop	204.568	8.530	7s 31d - 688 km	Borajet	3
Uşak	345.508	10.366	5s 14d - 470 km	Borajet	3	
Ankara	Balıkesir	1.162.761	10.334	5s 51d - 541 km	Borajet	3
	Gökçeada	8.830	-	8s 59d - 721 km	Borajet	3
İzmir	Batman	547.581	5.739	17s 19d - 1,510 km	Sunexpress	3
	Kocaeli	1.676.202	20.572	4s 43d - 469 km	Borajet	3
	Sivas	623.824	8.697	11s 46d - 1,035 km	Pegasus	3
Antalya	Batman	547.581	5.739	14s 11d - 1,219 km	Onurair	3
	Kocaeli	1.676.202	20.572	6s 52d - 612 km	Borajet	3
	Sivas	623.824	8.697	9s 41d - 809 km	Pegasus	3

Tablo 3- 2015 Yeni Uçuş Hatlarının Teşvik Edilmesine İlişkin Genelge ile Tercih Edilen Hatlar, Şirketler ve Frekanslar (SHGM, 2014; 2015a; 2015b)

Table 3-2013 Circular on the Promotion of New Flight Lines and Preferred Lines, Companies and Frequencies (SHGM, 2014; 2015a; 2015b)

Başlangıç	Varış	Nüfus (2015)	Kişi Başına Düşen GSYİH (\$) (2015)	Yolda Sürüş Süresi - Mesafe	Şirket	Haftalık Sefer Sıklığı
Sabiha Gökçen (İstanbul)	Sinop	204.133	6.995	7s 33d - 688 km	Borajet	3
	Ağrı	547.210	3.559	15s 53d - 1,415 km	Pegasus	3
	Kastamonu	372.633	8.131	5s 23d - 515 km	THY	3
	Bingöl	267.184	5.412	14s 56d - 1,342 km	THY	3
	Adıyaman	602.774	5.512	13s 13d - 1,177 km	Pegasus	3
Ankara	Kayseri	1.341.056	9.398	3s 43d - 326 km	THY	3
	Çanakkale	513.341	10.775	7s 35d - 666 km	THY	3
İzmir	Konya	2.130.544	8.719	6s 36d - 561 km	Sunexpress	3
Antalya	Kayseri	1.341.056	9.398	7s 31d - 610 km	Onurair	3
	Elâzığ	574.304	7.045	12s 56d - 1,053 km	Onurair	3
	Erzurum	762.321	6.442	14s 50d - 1,243 km	THY	3

3. VERİ VE METODOLOJİ

Havalimanları arası yolcu verisi Devlet Hava Meydanları İşletmesi'ne yazarlar tarafından başvurularak 2012-2017 periyodunda yıllık bazda havalimanlarının satır ve sütunlarında yer aldığı kare matrisler olarak edinilmiştir. Matrislerin asal diyagonalleri havalimanlarının kendileri arasında yolcu taşımacılığı olmadığı için 0'dır.

THUA'nın değişimi modellenirken mekânsal ve karmaşık ağ analizi ölçütleri kullanılmıştır. Ağ topolojileri düğümler ve bağlardan oluşmaktadır. Düğümler ağların bileşenleri bağlar ise düğüm çiftleri arasında ilişkinin olup olmadığını ve şiddetini ifade etmektedir. Ağları inceleyen indeksler düğüm ve bağ sayıları üzerinden ağlara dair bilgiler sunmaktadır. Ağ yoğunluğu, ağda mevcut olan olası ilişkilerin oranını temsil eder. Değer, 0 ile 1 arasında değişir; 0, ilişkisiz ağlara karşılık gelir ve üst sınır, diğer yandan 1 düğümler arası tüm olası ilişkilere sahip ağları temsil eder. Derece merkeziliği ise bir düğümün ağ içerisinde derecesidir, yani sahip olduğu bağ sayısıdır. Derece ne kadar yüksek olursa, düğüm o kadar merkezi olur.

Aradalık merkeziliği, bir düğümün bir grafikteki bilgi akışı üzerindeki etkisinin miktarını tespit etmenin bir yoludur. Genellikle grafiğin bir bölümünden diğerine köprü görevi gören düğümleri bulmak için kullanılır. Kümeleme katsayısı, bir grafikteki düğümlerin birlikte kümelenme eğiliminin derecesinin bir ölçüsüdür. Harmonik merkeziliği, bir düğümün ağdaki diğer düğümlere olan "ortalama" mesafesini ölçmektedir (Ağ indekslerinin tanımları ve matematiksel hesaplamaları için bakınız Barthelemy, 2018; Gürsakal, 2009)

Havacılık ağları içerdiği sermaye ve teknoloji yoğun dinamikler ve yüksek insan sermayesi nedeniyle hızlı değişen ve dönüşen dinamik ağ yapıları içermektedir bu nedenle 2012-2017 periyodunda THUA'nın değişimi geliştirilmemiş aksine yıllık bazda ağa eklenen ve çıkan bağlar ve düğümler ağ analizleriyle incelenmiştir.

Ağ analizleri yapılırken R ortamında "network", "igraph" paketleri kullanılarak matrisler ağlara dönüştürülmüş ve oluşturulan algoritmalarla yıllar arasında ağa katılan ve ağdan eksilen bağları gösterir matrisler elde edilmiştir, ağlar mekansallaştırılırken önce "nominatim" paketi kullanılarak havalimanları geocoding yapılarak koordinatları elde edilmiş ve ardından "mapprojects" paketi kullanılarak 2d kartezyen düzlem üzerinde görselleştirilmiştir.

THUA'da havalimanları arasında yeni bir bağın oluşumunu tahmin etmek üzere iki sonuçlu binom logistik tahmin modeli kullanılmıştır. Modele dair detaylar ilgili bölümde aktarılmıştır. Makine öğrenmesi tahminleri için R ortamında "caTools" paketi kullanılmıştır.

4. KEŞFEDİCİ MEKÂNSAL-KARMAŞIK AĞ ANALİZLERİ

Türkiye'de iktisadi dinamiklerin değişmesi neoliberal politikalar ve petrol fiyatlarının ucuzlaması gibi nedenselliklerle havacılık alanının özel sektöre açılması beraberinde düşük maliyetli taşıyıcı firmalarının pazarda yer bulmasına ve bu nedenle hava taşımacılığının yüksek oranda artmasına neden olmuştur (Tablo 4). Her ne kadar 2014 sonrası süreçte Türkiye'de kişi başı gelir azalma eğiliminde olsa da yolcu sayısının arttığı görülmektedir. THUA dinamik bir ağıdır ve 1 yüzyıllık kısa bir sürede mekânsal ve ağsal olarak yeniden ve yeniden yapılanmıştır ve günümüzdeki ağ yoğunluğuna ulaşmıştır. İfade edilen dinamik değişim ve dönüşümü bu çalışmanın odaklandığı 2012-2017 periyodunda da gözlemlemek mümkündür.

Tablo 4- Türkiye'de Yıllara Göre Havalimanı ve Yolcu Sayıları
Table 4- Number of Airports and Passengers by Years in Turkey

Yıllar	Havalimanı Sayısı	Yolcu Sayısı (Bin)	Kişi Başı GSYİH (\$)
2012	48	64.718	11.675
2013	52	76.148	12.582
2014	53	85.416	12.178
2015	55	97.041	11.085
2016	55	102.499	10.964
2017	55	109.511	10.696

THUA'nın değişim ve dönüşümünü daha doğru çözümlenmek amacıyla mekansal-karmaşık ağ analizleri kullanılmıştır. THUA, *L-uzayı* temsilinde (bkz. Barthelemy, 2011) çift yönlü, tek katmanlı, ağırlıklandırılmış düğüm ve bağlardan oluşan bir ağ $G_t = \{V_t, E_t\}$ olarak modellenmiştir. G_t , THUA ağında yer alan havalimanlarını, E_t ise THUA ağında yer alan havalimanları arası yolcu akışını, t ise ilgili ilgili yılı ifade etmektedir. THUA modellenirken 2012-2017 periyodunda altı yıl $G_{2012} = \{V_{2012}, E_{2012}\}, \dots, G_{2017} = \{V_{2017}, E_{2017}\}$ için aynı ($V_{2012} = \dots = V_{2017} = V$) düğüm adları kullanılmıştır. 2012 yılında 48 olan havalimanı sayısı ($V_{2012} = 48$) 2017 yılında

55'e kadar yükselmiştir ($V_{2017} = 55$). Düğüm sayısı Arjantin için 39 (Guillaumet, 2018), Avustralya için 131 (Hossain ve Alam, 2017), ABD için 272 (Xu and Harriss, 2008), İtalya için ise 50'dir (Guida ve Maria, 2007).

THUA'da sadece düğüm sayısı artmamakta ayrıca düğümler arasında bağ sayısının da arttığı görülmektedir. 2012 yılında 400 olan bağ sayısı ($E_{2012} = 400$) 2017 yılında 549'a kadar ($E_{2017} = 549$) yükselmiştir. Bağ sayısı Arjantin için 168 (Guillaumet, 2018), Avustralya için 596 (Hossain ve Alam, 2017), ABD için 6566 (Xu and Harriss, 2008), İtalya için ise 310'dur (Guida ve Maria, 2007).

Tablo 5- Türkiye'de Yıllara Göre Hava Taşımacılığı Ağ İstatistikleri
Table 5- Air Transport Network Statistics in Turkey by Years

Yıllar	Düğüm Sayısı	Bağ Sayısı	Ağ Yoğunluğu	Ortalama Derece Merkeziliği	Maksimum Derece Merkeziliği
2012	48	400	0,174	7,273	77
2013	52	512	0,189	9,309	83
2014	53	530	0,189	9,636	90
2015	55	546	0,180	9,927	91
2016	55	542	0,179	9,855	88
2017	55	549	0,181	9,982	91

Daha önce de ifade edildiği üzere THUA'nın tarihselliğinden de miras olan genel mekânsal konfigürasyon topla-dağıt (hub and spoke) sistemi üzerine kuruludur (Ersöz ve diğ. 2022) ancak bu mekânsal konfigürasyon özellikle 2000 sonrası serbestleşme politikalarının etkisi, firma sayısının ve merkez havalimanı sayısının artmasıyla topla-dağıt sistemini tam olarak terk etmese de yeniden yapılanmıştır. İfade edilen yeniden yapılanmayı ağ analizleri ortaya koyma kabiliyetindedir.

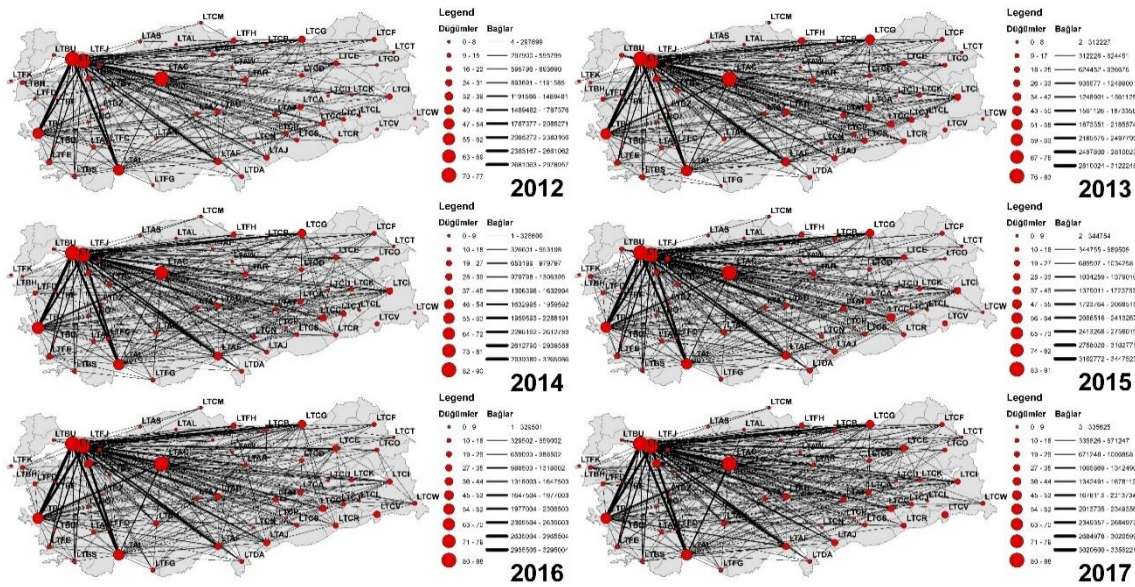
Ağ yoğunluğu, ρ , bir ağda mevcut bağlantılarının olası bağlantı sayısına oranına karşılık gelmektedir. Ağın görece yoğun mu yoksa seyrek mi olduğunu ölçmek için kullanılmaktadır. Tablo 5'te görüldüğü üzere 2012-2017 periyodunda ρ değeri 0,174 ve 0,189 arasında değişmektedir ve 2017 yılında ρ değeri 0,181'dir. ρ değerleri THUA'nın görece seyrek bir ağ olduğunu göstermektedir. Tüm düğümler arası bağların yer aldığı tam ağ değeri olan 1 değerinin oldukça gerisindedir. Her ne kadar 2013 sonrası süreçte bağ sayısının artmasıyla ağ yoğunluğu artsa da yeni havalimanlarının THUA'ya eklenmesi sonucunda ağ yoğunluğunun düştüğü görülmektedir.

Bir ağda düğümlerin bağlantılar açısından ne kadar önemli olduğunu ölçen ortalama derece merkeziliği ölçütleri de THUA için önemli bulgular ortaya koymaktadır. Ortalama derece merkeziliği Arjantin için 4,3 (Guillaumet, 2018), Avustralya için 9,1 (Hossain ve Alam, 2017), ABD için 48,28 (Xu and Harriss, 2008), İtalya için ise 12,4'tür (Guida ve Maria, 2007). Ölçüt bir düğüme bağlanan bağ sayısını ölçmektedir. Daha fazla bağa sahip olan düğüm ağ içerisinde daha önemli bir konuma sahiptir. THUA'da ortalama bir düğüm 2017 yılında yaklaşık 10 bağa sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu değer 2012-2017 periyodunda 7,273'ten 9,982'ye yükselmiştir. Ancak bu artış ağ genelinde yer alan düğümlerin bağ sayısındaki homojen artıştan kaynaklanmamaktadır. Maksimum derece merkeziliği değeri 2012-2017 periyodunda daha yüksek bağa sahip olan düğümlerin bağ sayılarını daha çok arttırdığı görülmektedir. 2012-2017 periyodunda THUA'da maksimum derece merkeziliği değeri 77'den 91'e kadar yükselmiştir.

Her bir yıl için THUA (G_t) ağda yer alan düğümlerin coğrafi koordinatlarına göre bağların dönüştürülmesiyle mekânsal olarak 2d kartezyen düzlem üzerinde görselleştirilmiştir (Şekil 2). 2012-2017 periyodunda THUA'nın yüksek derece merkezilik değerlerine sahip düğümlerinin Türkiye'nin batısında yer aldığı görülmektedir. Genelgede merkez havalimanı olarak kabul edilen İstanbul, Sabiha Gökçen, Ankara, İzmir ve Antalya havalimanları düğümlerin en büyük olduğu havalimanlarıdır. Diğer yandan Türkiye'nin doğusunda yer alan havalimanları görece oldukça küçük düğümler (derece merkeziliği değerlerine) olarak Şekil 2'de görülmektedir.

Büyük düğümler olarak ağda temsil edilen havalimanları ve periferde yer alan küçük düğümlerden farklı olarak 2012-2017 döneminde düğümlerinin görece olarak büyüdüğü ancak büyük düğümlere kıyasla yine oldukça küçük olan havalimanları da THUA'da dikkat çekmektedir. Bu havalimanları Türkiye'nin doğusunda

yer alan büyükşehir yasası kapsamında büyükşehir olarak tarif edilen Adana, Bursa, Gaziantep, Kayseri, Samsun ve Trabzon gibi ikincil merkezlerdir. İkincil merkezi havalimanlarının yıllara göre derece merkezilik değerleri Tablo 6'da yer almaktadır.



Şekil 2- Yıllara Göre Türkiye Havayolu Ağı'nın Değişimi

Figure 2- Changes of THUA by years

Tablo 6- Yıllara Göre Derece Merkeziliği Değerleri En Yüksek 10 Havalimanı

Table 6- 10 Airports with the Highest Rank Centrality Values by Years

Kod	Havalimanı	2012	2013	2014	2015	2016	2017
LTAC	Ankara Esenboğa	77	78	78	85	81	79
LTFJ	İstanbul Sabiha Gökçen	76	83	90	91	88	85
LTBA	İstanbul Atatürk	71	80	89	89	88	91
LTAI	Antalya	51	54	59	57	58	65
LTBJ	İzmir Adnan Menderes	48	52	64	56	55	54
LTCG	Trabzon	30	44	39	37	41	39
LTAJ	Adana	29	40	43	40	34	34
LTBR	Bursa Yenişehir	23	30	25	27	36	29
LTAU	Kayseri	22	30	25	25	33	27
LTAJ	Gaziantep	20	23	22	27	35	17

İkincil merkezi havalimanlarını temsil eden düğümler 2012-2017 arasında büyüme eğiliminde olsalar da derece merkezilikleri büyük havalimanlarının üçte birine kadar yükselebilmektedir. Bu durum büyük havalimanları ve ikincil havalimanları arasındaki farkı yolcu sayısına ilişkin olarak ağ topolojisi içerisinde de göstermektedir. Bu bulgular Codal ve Güner (2022) ve Ersöz ve diğ. (2022) ile tutarlıdır. THUA'yı oluşturan bir diğer ağ elementi olan bağlar incelendiğinde ise 2012-2017 periyodunda bağ sayısının 400'den %37,25 oranında artarak 549'a yükselmiştir. İfade edilen artış her ne kadar yüksek bir artış oranı olarak görünse de ağ yoğunluk değerlerinin bu artışa rağmen oldukça düşüktür (Tablo 5). 2012-2013 arasında THUA'da bağ sayısı 112 artmıştır. İfade edilen 112 bağ artışı havalimanlarına dağılımı incelendiğinde ise en fazla bağ sayısı artışının Türkiye'nin doğusunda yer alan havalimanlarında ve ikincil merkez havalimanları olarak yukarıda anılan havalimanlarında gerçekleştiği görülmektedir (Tablo 7).

Bağ sayılarının yıllık değişimini sayı üzerinden genel değişim olarak değerlendirmesi kaba bir indirgeme olduğundan havalimanları arası yolcu ve sefer verisinin içerdiği mekânsal örüntü bundan daha fazlasıdır. Havalimanları arası ağa bağlar dinamik olarak eklenmekte ve ayrıca ağdan bağlar eksilmektedir. THUA'nın

dinamik yapılanması sonucu genişleyen ağ rastlantısal şekilde büyümektedir aksine yeni bağlar merkezilik değeri yüksek düğümler arasında oluşma eğilimindedir. Ağa yeni katılan düğümler, halihazırda yüksek oranda bağlı düğümlerle (hub'lar olarak adlandırılır) bağlanmayı “tercih” (tercihli terimi buradan gelir) etmektedir. Bu prosedür, merkezlerin ağdaki ana bağlantı yükünü üstlendiği ve bu durumu ağın gelecekteki büyüme sürecini yönlendirmeye yansıyan bir hiyerarşiyle bütünleşmesine yol açmaktadır. Her ne kadar THUA'nın değişiminde perifer havalimanları ve merkez havalimanları arasında yeni bağlar teşvik edilerek ağın ifade edilen büyüme eğilimine müdahaleler yapılsa da yeni bağların halihazırda yüksek oranda bağlı düğümlerle eklenme eğilimi sürmektedir.

Tablo 7- Yıllara Göre Bağ Sayısı En Çok Yükselen 10 Havalimanı

Table 7- Top 10 Airports with the Highest Number of Edges by Years

Kod	Havalimanı	2012	2013	2014	2015	2016	2017
LTCI	Van Ferit Melen	17	37	33	31	25	26
LTCV	Şırnak Şerafettin Elçi	0	16	16	25	27	14
LTCG	Trabzon	30	44	39	37	41	39
LTCA	Elâzığ	18	30	27	22	22	25
LTFH	Samsun Çarşamba	18	30	22	26	23	17
LTAF	Adana	29	40	43	40	34	34
LTCC	Diyarbakır	18	29	29	37	32	30
LTBA	İstanbul Atatürk	71	80	89	89	88	91
LTCJ	Batman	11	20	21	13	11	20
LTCS	Şanlıurfa GAP	11	20	15	17	16	17

THUA'nın değişimin içerdiği mekânsal örüntülerinin deşifre edilebilmesi amacıyla THUA'nın değişimi dinamik bir süreç olarak ele alınarak 2012-2017 periyodunda incelenmiştir. 2012-2017 periyodunda THUA'ya eklenen bağ sayısının yıllar itibariyle düşme eğiliminde olduğu ve aksine THUA'dan eksilen bağ sayısının ise artma eğiliminde olduğu açıktır (Tablo 8 ve Tablo 9). Diğer yandan ağ eklenmeyen ve bağ eksilmeyen düğüm sayıları yıllar itibariyle değişen trendler göstermektedir. 2012-2017 arasında ağ eklenmeyen düğüm sayısı 8 ve 6 havalimanı arasında değişmektedir. Bağ eksilmeyen düğüm sayısı ise 2012-2017 arasında 20'iken bu sayının 2016-2017 arasında 7'ye kadar gerilemiştir. Bağ eksilmeyen düğüm sayısındaki ifade edilen azalma dikkate değer bir bulgudur.

Tablo 8- Türkiye'de Yıllara Göre Hava Taşımacılığı Ağına Eklenen Bağ İstatistikleri

Table 8- Edge Statistics Added to the Air Transport Network in Turkey by Years

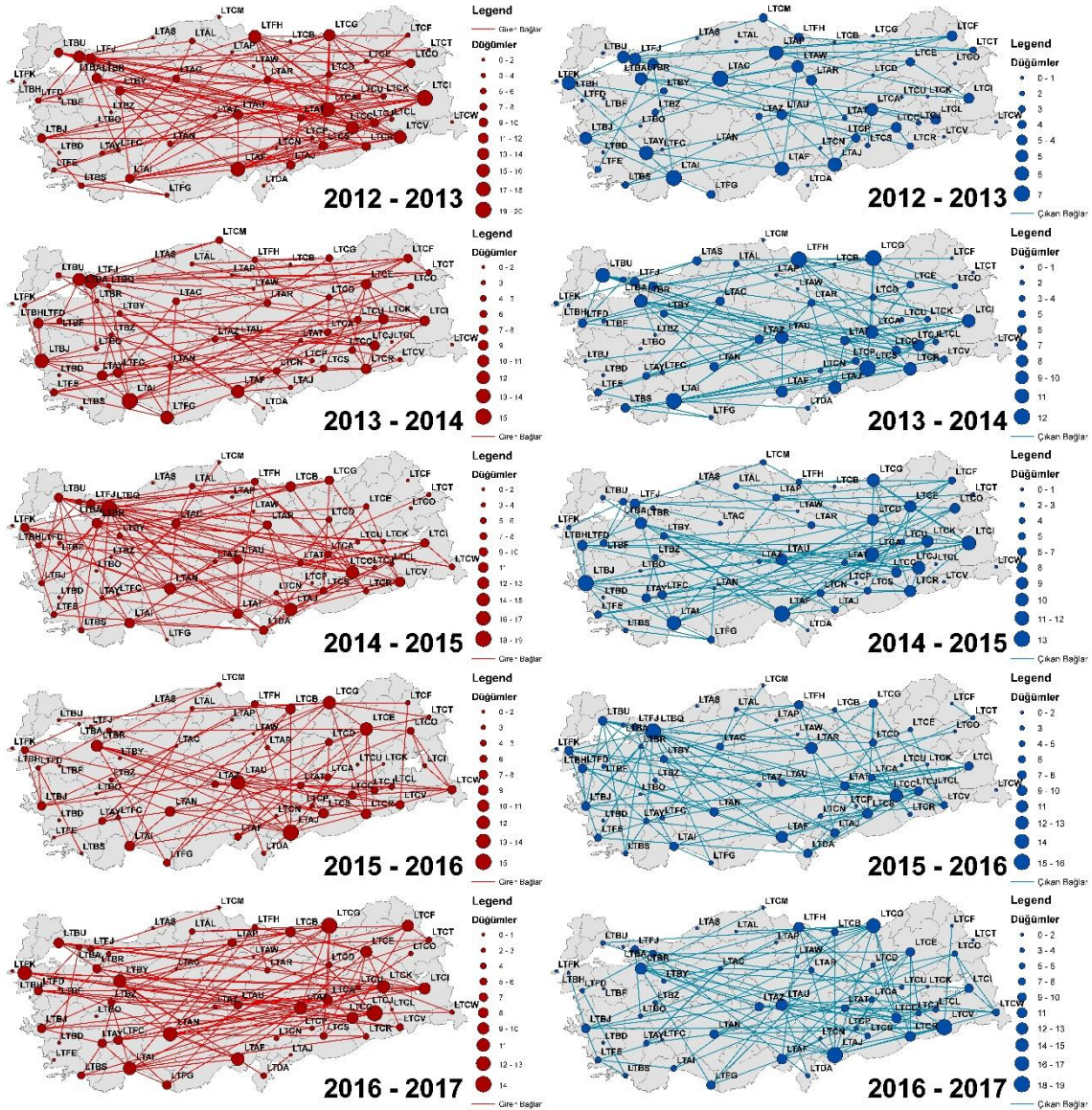
Yıllar	Düğüm Sayısı	Eklenen Bağ Sayısı	Ortalama Derece Merkeziliği	Maksimum Derece Merkeziliği	Bağ Eklenmeyen Düğüm Sayısı
2012-2013	47	178	3,787	20	8
2013-2014	49	138	2,816	15	6
2014-2015	47	144	3,064	19	8
2015-2016	48	118	2,458	15	7
2016-2017	48	144	3,000	14	7

2012-2017 periyodunda en dikkate değer bağ sayısı değişiminin gerçekleştiği 2012-2013 yılları arasında THUA'nın 47 havalimanı arasında 178 bağ oluşturken 35 havalimanı arasında 66 bağ eksilmiştir. 2012-2013 arasında eklenen bağ sayısının eksilen bağ sayısının neredeyse 3 katı kadar olduğu görülmektedir. İfade edilen oran 2016-2017 arasında 1'in biraz üzerindedir. İfade edilen değişimler THUA'da düğümler arası dinamik yapılanmayı ortaya koymaktadır. THUA'dan 2012-2017 periyodunda çıkan bağ sayısındaki artış dikkate değer bir diğer bulgudur. Anılan periyotta eksilen bağ sayısı yaklaşık olarak 2 kat kadar artış göstermiştir.

Tablo 9- Türkiye’de Yıllara Göre Hava Taşımacılığı Ağından Çıkan Bağ İstatistikleri
 Table 9- Edge Statistics from Air Transport Network in Turkey by Years

Yıllar	Düğüm Sayısı	Çıkan Bağ Sayısı	Ortalama Derece Merkeziliği	Maksimum Derece Merkeziliği	Bağ Eksilmeyen Düğüm Sayısı
2012-2013	35	66	1,914	7	20
2013-2014	47	122	2,596	12	8
2014-2015	47	126	2,681	13	8
2015-2016	48	123	2,563	16	7
2016-2017	48	136	2,833	19	7

THUA'nın değişimin içerdiği mekânsal örüntülerinin deşifre edilebilmesi amacıyla THUA'nın değişimi dinamik bir süreç olarak ele alınarak 2012-2017 periyodunda yıllık bazda mekânsal olarak da incelenmiştir. Yıllık bazda THUA'ya eklenen, THUA'dan çıkan bağlar ve THUA düğümlerinin değişimi yine 2d kartezyen düzlem üzerinde görselleştirilmiştir (Şekil 3).



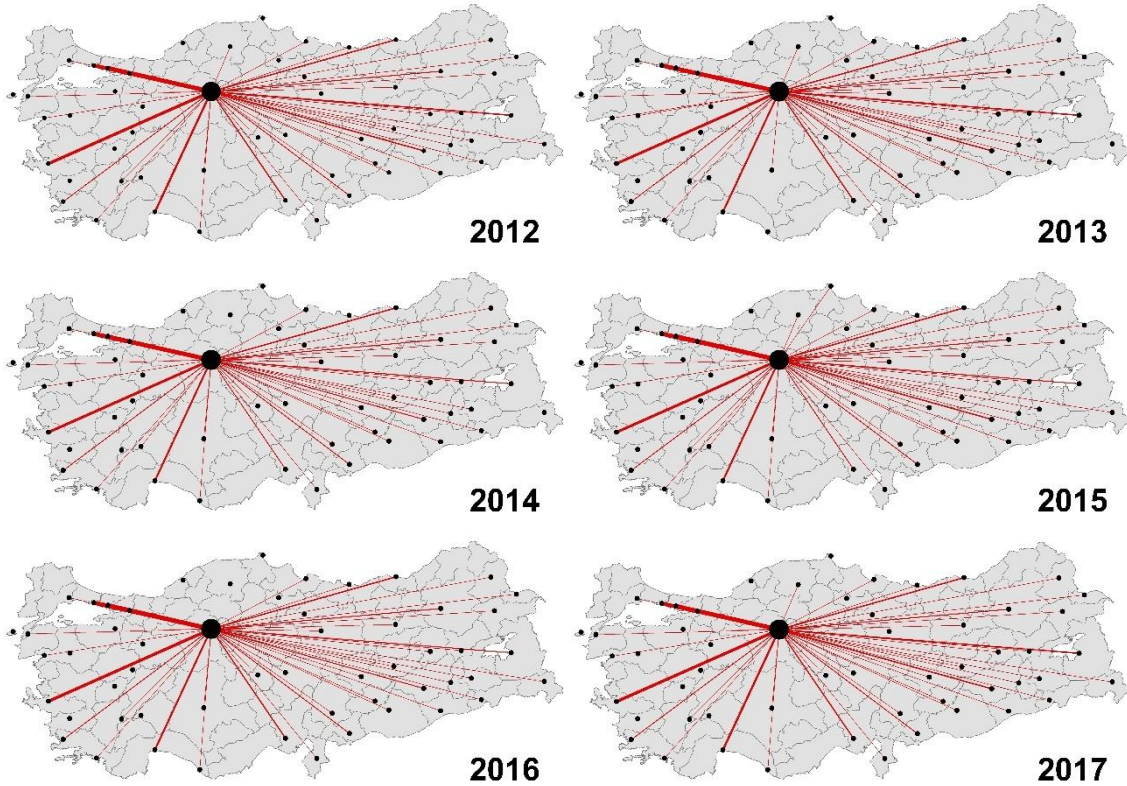
Şekil 3- Türkiye Havayolu Ağına Eklenen ve Çıkan Bağlar
 Figure 3- Edges entering and exiting from THUA

THUA'ya eklenen ve THUA'dan eksilen bağlar incelendiğinde başlangıçta (2012-2013) bağ sayıları Türkiye'nin doğusunda yer alan havalimanlarında artmaktadır. Doğuda yer alan düğümlerin batıda yer alan düğümlerden daha büyüktür. Bağların çoğunluğunun doğu-batı yönlü ve kuzeybatı ve güneydoğu yönlü olduğu ifade etmek yanlış olmayacaktır. Eksilen bağların sayısı ise merkez havalimanları ve ikincil merkez havalimanlarında daha yüksektir. Daha büyük mavi düğümlerin büyük havalimanları olduğu Şekil 3'te görülmektedir. Eklenen bağların mekânsal örüntüsü 2017 yılına doğru büyük düğümlerin doğuda yer alan havalimanlarından batıda yer alan havalimanlarına kaysa da eklenen bağların seyrekleştiği dikkate değerdir. Eksilen bağlar incelendiğinde ise 2017 yılına doğru büyük mavi düğümlerin doğuda yer alan havalimanlarına kaymaktadır.

2012-2017 arasında ağa toplam 722 bağ girmiştir ağdan çıkan bağ sayısı ise 574'tür. Ağa giren ve çıkan bağ sayıları THUA'nın dinamik bir yapılanma süreci içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bağların ağdaki düğüm çiftleri arasında oluşma ve yok olma eğilimi rastlantısal olmamakta bu süreçleri hem sosyo-iktisadi dinamikler hem de ağın topolojisi tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle ağın gelişim dinamikleri ağın topolojisi ve düğümlerin bulunduğu bölgelerin sosyo-iktisadi dinamikleriyle çözümlenebilir ve bölgelerin kalkınması ve gelişmesi için politika tasarlayıcılarına ve karar vericilere önemli bilgiler sunabilir.

4.1. THUA içinde Ankara Havalimanının Merkeziliği

THUA'nın yapısal bütünlüğü içerisinde Ankara havalimanının farklı bir yeri bulunmaktadır. İstanbul'da yer alan havalimanları hem dünyanın en meşgul ve en çok bağlantılı yurtdışı uçuşlarını içermektedir hem de İstanbul'un Türkiye içindeki önemi gereği THUA'nın en stratejik düğümleridir. Ancak Ankara havalimanının THUA'nın mekânsal konfigürasyonundaki rolü hem idari merkez (başkent) hem de Türkiye'nin coğrafi olarak da merkezine yakın olması nedeniyle önemlidir. İllerin bürokratik olarak Ankara'ya bağlı olması nedeniyle THUA içinde sağladığı bağlantılar stratejik bir ağ yapısı işlevi üstlenmektedir (Taşçı ve Yalçınkaya, 2015).



Şekil 4- Yıllara Göre Ankara Esenboğa Havalimanı Bağlarının Değişimi
Figure 4- Change of Ankara Esenboğa Airport Edges by Years

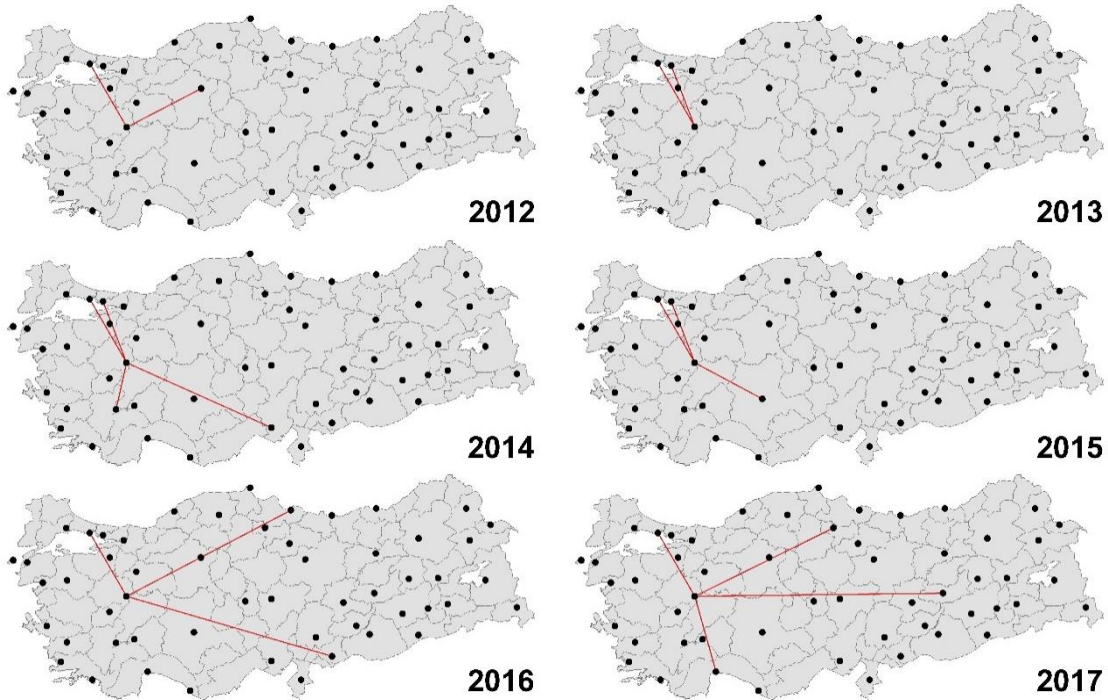
Ankara Türkiye'nin coğrafi olarak merkezine yakındır bu nedenle havacılık sektöründe yurtdışı bağlantılı uçuşlarda ve özellikle iç hat uçuşlarında bağlantı noktası işlevi de üstlenmektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere Türkiye'nin coğrafi olarak dört bir yanı arasında Ankara aktarmalı uçuşlarla ulaşım mümkün kılınmıştır. Literatürde topla-dağıt modeli olarak da bilinen bu model için THY'nin daha çok dış hatlarda lüks segmentte odaklanması amaçlanırken iç hatlarda havacılık servisi sağlamak amacıyla düşük maliyetli taşıyıcı firma olarak kurgulanan AnadoluJet firma içinde firma aracılığıyla kurulmuştur. Ankara'nın stratejik konumu nedeniyle merkez olarak seçilmiş ve perifer havalimanları ve Ankara ve ayrıca perifer havalimanları arasında Ankara havalimanı aracılığıyla rotalar geliştirilmiştir.

2012 yılında Ankara havalimanından 42 havalimanına 79 bağlantı yer almıştır. Bu sayılar 2015 yılında 46 havalimanına ve 85 bağlantıya yükselmiştir. 2017 yılı için ise bu sayılar 42 havalimanı ve 79 bağlantıdır. Daha kalın bağların daha çok taşınan yolcuyu ifade ettiği Şekil 4'te kalın bağların Ankara havalimanı ve batıda yer alan havalimanları arasında gerçekleştiğini göstermektedir. Ankara havalimanı ve ikincil merkezler arasında da görece kalın bağlar yer almaktadır. Periferde yer alan diğer havalimanları ile bağlantılar en ince (en düşük yolcu sayısı) bağlantılardır.

4.2. THUA içinde Zafer Havalimanının Merkeziliği

THUA'nın yapılanması içerisinde Zafer havalimanının gerekliliği ve etkinliği üzerine tartışmalar yürütülmektedir. Zafer havalimanı YİD modeliyle özel sektör tarafından yolcu garantisi (Hazine üzerinden karşılanmak üzere) verilerek Kütahya, Afyon, Uşak illerinin ortak havalimanı olarak 50 milyon Euro maliyetle yapılmıştır. Tan'ın (2022) aktardığı üzere 2012 yılında hizmete giren Zafer havalimanı işletmecisine 2012 yılı için 850.000 yolcu garantisi verilmiştir.

Zafer havalimanını kullanan yolcu sayısının garanti edilen sayıların oldukça gerisinde kaldığı ifade edilmiştir. Tarihselliği içerisinde İzmir, İstanbul, Ankara ve Antalya gibi metropoller tarafından ürettiği artı değer ve yüksek insan sermayesini çekilen Kütahya, Afyon, Uşak illeri her ne kadar Türkiye'nin batısında yer alsada Türkiye'nin büyük kentleri olan ifade edilen şehirlere 4 saatlik mesafede bulunmaktadır. Havacılık sektöründe 6 saatlik araç yolculuk mesafesi kritik mesafe olarak kabul edilmektedir. Hem maliyeti yüksek bir ulaşım türü olması hem de merkezlere 4 saatlik mesafede olması nedeniyle Zafer havalimanının kullanımı düşüktür.



Şekil 5- Yıllara Göre Kütahya Zafer Havalimanı Bağlarının Değişimi

Figure 5- Change of Kutahya Airport Edges by Years

Zafer havalimanı ve bağlantılı olduğu havalimanlarının yıllara göre değişimi Şekil 5’te sunulmuştur. 2012 yılında 3.616 yolcu iç hatlarda 2 güzergahta Zafer havalimanını kullanmıştır. Zafer havalimanından uçuş gerçekleştirilen havalimanı sayısı 2017 yılına gelindiğinde 4’e yolcu sayısı ise 163.988’e kadar yükselmiştir ancak 2017 yılında garanti edilen yolcu sayısı yaklaşık 1 milyon 100 bindir. Zafer havalimanının THUA’ya eklenmesi hem düğüm sayısının artmasıyla ağın genişlemesine hem de yeni bağlantılarla ağın bağlantı düzeyini yükseltse de bir diğer ifadeyle ağ değerlerini değiştirirse de Zafer havalimanının yapımında katlanılan maliyetin THUA’yı rasyonel dinamikler doğrultusunda dönüştürme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5. THUA’YA EKLENECEK BAĞLAR İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELİ TAHMİNİ

Bu bölümde THUA’da yeni bir bağ oluşma olasılığı makine öğrenmesi modelleriyle tahmin edilmiştir. Keşfedici mekânsal-karmaşık ağ analizlerinin ortaya koyduğu üzere THUA genişleme eğilimindedir. Ancak yeni bağlar rastlantısal şekilde düğümler arasında oluşmamakta aksine ağda merkeziliği yüksek belirli havalimanları ve doğuda yer alan ikincil merkezler arasında bağlar oluşma eğilimindedir.

İfade edilen eğilim sosyo-ekonomik değişkenler ve ağ ölçütlerine dayalı değişkenler kullanılarak bu çalışma kapsamında makine öğrenmesi modeliyle bir havalimanında yeni bir bağ oluşması olasılığı tahmin edilmiştir. Tahminde kullanılan eşitlik Denklem 1’de gösterilmektedir. Bir havalimanında yeni bir bağlantının oluşumunun (giriş) olasılığını değerlendirmek için Doğrusal Olasılık Modeli (LPM) kullanılmıştır. Yeni bir bağlantının oluşumu *Giriş*, değişkeni ikili (binary) değişkendir ve havalimanı çiftleri arasında yeni bir bağlantı oluşması 1 değerini aksi durumda ise 0 değerini almaktadır. Sosyo-ekonomik değişkenler *Kişi Başı Gelir*_{*r,t-1*} ve *Nüfus*_{*r,t-1*}’dir. Oluşan bağların sosyo-ekonomik dinamiklerini tahmin edebilmek için bir önceki yılın nüfus ve kişi başı gelir değerleri kullanılmıştır. *Derece Merkeziliği*_{*a,t-1*}, *Kümelenme*_{*a,t-1*}, *Aradalık Merkeziliği*_{*a,t-1*}, ve *Harmonik*_{*a,t-1*} ölçütleri ise ağlarda havalimanlarının topolojik konumlarını belirlemek için kullanılmıştır. *Derece Merkeziliği*_{*a,t-1*} düğümlere bağlanan bağ sayısı üzerinden merkeziliğini ölçmektedir. *Kümelenme*_{*a,t-1*} ağın düğümlerinin gruplaşma eğilimini ölçmektedir. *Aradalık Merkeziliği*_{*a,t-1*} ise bir ağda stratejik düğümleri belirlemekte ve ağlarda köprü görevi gören tüm düğümler arasında bağlantı kuran düğümleri metrik olarak ölçmektedir. *Harmonik*_{*a,t-1*} ise bir düğümün ağdaki diğer düğümlere olan "ortalama" mesafesini ölçmektedir¹.

$$Giriş_{o,d,t} = \gamma + \delta_1 \ln Kişi Başı Gelir_{o,t-1} + \delta_2 Nüfus_{a,t-1} + \delta_3 Derece Merkeziliği_{a,t-1} + \delta_4 Kümelenme_{a,t-1} + \delta_5 Aradalık Merkeziliği_{a,t-1} + \delta_6 Harmonik_{a,t-1} + \phi_a + \alpha_t + \xi_{a,t} \quad (1)$$

Temel model iki yönlü sabit etkiler modelidir ve ϕ_a sabit havalimanı etkisi, α_t sabit zaman etkisi ve $\xi_{a,t}$ ise model artık değeridir. Zaman etkisi t ile gösterilen, örtüşmeyen 5 farklı periyodu ifade etmektedir. Potansiyel endojenlik sorunlarını azaltmak için, tüm bağımsız değişkenler $t-1$ ile gösterilen bir dönem gecikmeli olması amacıyla bir yıl öncenin verileri kullanılmıştır. Bölgelerin sosyo-ekonomik değişkenlerine dair değerleri bölgelerde bulunan havalimanlarına atanmıştır. Bir bölgede birden fazla havalimanı olması durumunda havalimanı sayısına bakmaksızın havalimanlarının her birine aynı değerler girilmiştir.

Veri seti oluşturulurken aynı havalimanı çiftleri arasında yolcu aktarımı olmadığı kabul edilmiştir bu nedenle veri seti 14.850 gözlemden oluşmaktadır (55 başlangıç havalimanı x 54 varış havalimanı x 5 periyod = 14.850). Makine öğrenmesi modellerinde veri seti eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Veri setinin %70’i eğitim kısmına ayrılmıştır. Veri setinin %30’u modelin eğitimi sonucu tahminlerde ne kadar başarılı olduğunu tespit etmeye yönelik olarak kullanılacak olan test kısmına ayrılmıştır.

Model bağımlı değişken olan yeni bir ağ oluşma olasılığını sosyo-ekonomik ve ağ indeks değerlerince tahmin etmekte ve bir veya daha fazla bağımsız değişkene dayalı olarak bir gözlemin ikili bağımlı değişkenin iki kategorisinden birine düşme olasılığını tahmin etmektedir. Diğer bir ifadeyle havalimanı ağları arasında yeni bir bağın oluşma olasılığı (bu çalışmada havalimanı çiftleri arasında bağ oluşumu 1 oluşmama durumu ise 0 olarak belirlenmiştir) sosyo-ekonomik ve ağ analizleri aracılığıyla modellenmiştir.

¹ Ağ ölçütlerin matematiksel açılımı ve dahası için bakınız Barthelemy (2018).

Tahmin modellerinde açıklayıcı değişkenler için pozitif katsayılar beklenmektedir Tablo 10'da model sonuçlarının ortaya koyduğu üzere THUA'da yeni bir bağın oluşmasına *Kişi Başı Gelir_{t-1}* ve *Nüfus_{t-1}* değişkenlerinin etkisi pozitiftir. Diğer bir ifadeyle sosyo-ekonomik değişkenlerin havalimanları arasında yeni bir bağın oluşma olasılığı üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak %5'te anlamlı etkisi bulunmaktadır. Modellere ağ ölçütleri eklendiğinde ölçütlerin farklılaşan etkilerinin olduğu görülmektedir.

Derece Merkeziliği_{a,t-1} değişkeni Model 3 – Model 6'da pozitif ve istatistiksel olarak %5'te anlamlı etkiye sahiptir. Bir havalimanında oluşacak diğer bir ifadeyle THUA'da oluşacak yeni bir bağın oluşma olasılığını derece merkeziliği değişkeni arttırmaktadır. Özellikle perifer havalimanları merkezi havalimanlarına bağlanma eğiliminde olduğundan bir ağda daha yüksek derece merkeziliğine sahip havalimanlarının bulunması düğümler arasında yeni bağların oluşumuna pozitif katkı sunmaktadır. *Kümelenme_{a,t-1}* değişkeninin de yeni bir bağın oluşum olasılığına etkisi pozitiftir ve katsayısı oldukça yüksektir. Ağda kümelerin varlığı bazı düğümlerin arasında tam bağlantının olduğu diğer yandan bazı düğümlerin izole olduğuna işaret etmektedir. Ağlarda düğümler daha çok sayıda bağla birbirine bağlı kümelerle eklenerek kümelerde yer alma eğilimindedir. *Aradalık Merkeziliği_{a,t-1}* bir havalimanında yeni bir bağın oluşumuna etkisi negatiftir. Ağlarda bazı düğümler köprü görevi görerek izole düğümlerin bağlantısını sağlarlar.

Tablo 10- Yeni Bağların Oluşma Olasılığını Etkileyen Dinamikler (GLM Model)
 Table 10- Dynamics Affecting the Probability of Entering New Edges (GLM Model)

	Bağımlı Değişken: Giriş _t						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Kişi Başı Gelir _{t-1}	0,003** (0,001)	0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	0,003** (0,001)
Nüfus _{t-1}		0,000** (0,000)	-0,000** (0,000)	-0,000** (0,000)	0,000* (0,000)	0,000* (0,000)	-0,001 (0,001)
Derece Merkeziliği _{t-1}			0,020*** (0,003)	0,023*** (0,004)	0,034*** (0,004)	0,030*** (0,009)	-0,067*** (0,022)
Kümelenme _{t-1}				0,573*** (0,199)	0,527** (0,211)	0,384 (0,333)	0,247 (0,557)
Aradalık Merkeziliği _{t-1}					-0,005*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	0,005 (0,003)
Harmonik _{t-1}						0,447 (0,820)	0,535 (1,303)
Sabit	-3,24*** (0,118)	-3,08*** (0,133)	-3,21*** (0,134)	-3,68*** (0,217)	-3,96*** (0,233)	-4,04*** (0,274)	-1,367*** (4,416)
Havalimanı Sabit Etkisi	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
Zaman Sabit Etkisi	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
Gözlem	10.395	10.395	10.395	10.395	10.395	10.395	10.395
Karmaşıklık Değeri	0,747	0,863	0,732	0,665	0,634	0,631	0,627
Doğru Sayısı (1)	37	58	37	79	107	113	128
Doğru Sayısı (0)	440	988	440	1077	1548	1567	1602
Not:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01						

THUA'da izole bağlar derece merkeziliği en yüksek bağlar üzerinden bağlandıkları için aradalık merkeziliği yüksek havalimanları öncelikle Ankara ve Sabiha Gökçen havalimanlarıdır ve THUA'ya yeni bir düğüm eklenmedikçe halihazırda ağda yer alan neredeyse tüm düğümler bu düğümlerle bağlantılı olduğundan yeni bir bağın oluşum olasılığı oldukça düşüktür ve modellerde yeni bir bağın oluşma olasılığına etkisi negatiftir. Modellere sabit etkiler eklendiğinde modeller bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını varsayarak havalimanlarını veya periyotları ayrı gözlemler olarak değerlendirmektedir. Sabit etkiler modelleri popülasyon ortalamalı bir tahmin yerine her bir havalimanına veya periyoda özgü varyansların kullanıldığı koşullu çıkarımlar sağlayan sonuçlar sunar. Sabit etkiler modele eklendiğinde *Derece Merkeziliği_{a,t-}*

1 değişkeninin negatife dönüştüğü ve katsayısının arttığı görülmektedir bu durum derece merkeziliği ve yeni bir bağ oluşumu arasındaki ilişkinin havalimanına özgü olduğu durumunu ortaya koymaktadır.

Modeller tutarlılık açısından incelendiğinde her ne kadar karmaşıklık değerleri yeni değişkenler eklendiğinde düşse de modelin doğru tahmin ettiği yeni bir bağ oluşacağını ifade eden (1) temel modelde 37 iken farklı kontrol değişkenlerin eklenmesiyle 113'e ve sabit etkilerin eklenmesiyle ise 128'e kadar çıkmıştır. Modeller ayrıca havalimanı çiftleri arasında yeni bağ oluşmayanları da tahmin etmiştir. Yeni bir bağ oluşacağını ifade eden (0) temel modelde 440'iken kontrol değişkenlerin eklenmesiyle 1567'ye ve sabitlerin modele eklenmesiyle ise 1602'ye yükselmiştir.

Model 1- Model 6'nın ortaya koyduğu üzere sosyo-ekonomik ve ağ ölçütü temelli tahmin modelleri veriden öğrenerek daha doğru sonuçlar ortaya koyma eğilimindedir. Modeller sosyo-ekonomik ve yolcu profillerine göre değişkenler eklenerek daha tutarlı sonuçların elde edilebileceğine dair önemli sinyaller vermektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Havacılık sektörü Türkiye'nin cumhuriyet döneminde temellendirdiği ve kurumsallaştırdığı bir iktisadi dinamiktir. Literatürde özellikle THY'nin Türkiye için uluslararası alanda bir "yumuşak güç" niteliği taşıdığını ifade eden söylemler bulunmaktadır. Bir asır kadar kısa bir süreçte önemli başarılar oluşturan Türkiye havacılık sektörü içerdiği Türkiye Hava Ulaşım Ağı (THUA), ülkenin ekonomik ve bölgesel kalkınması için önemli bir itici güçtür ve dinamik bir sektör olması gereği ve devlet tarafından yapılan teşvik müdahaleleriyle hızla yeniden yapılanmaktadır. Tüm bu nedenler doğrultusunda ve THUA ağ bilimi araştırmalarında incelenecek ilginç ve benzersiz bir ağ topolojisi örneğidir.

Bu çalışmada THUA'nın karmaşıklık düzeyini tespit etmek ve ağ örüntülerini çözümlenmek amacıyla mekânsal-karmaşık ağ araçlarıyla analizleri kullanılmıştır. THUA mekânsal konfigürasyonu yeniden yapılanan bir ağıdır. Tarihselliği boyunca sermaye ve nüfusa sahip olan büyük bölgelerde yer alan merkezi havalimanlarına yolcular toplanmış ve ardından tekrar dağıtılmıştır. Ancak yıllar itibariyle ağa eklenen yeni havalimanları ve merkez sayısının 7'ye kadar çıkması sonucu THUA'da havalimanı çiftleri arasında yeni bağlar oluşmuştur.

Bu kapsamda bu çalışma öncelikli olarak THUA'nın ağ yapısını ve mekânsal konfigürasyonunu çözümlenmiş, ağda havalimanı çiftleri arasına eklenen bağları yıllık değişimleri esas alan 5 periyotta belirlemiş ve ardından makine öğrenmesi modelleri kullanarak havalimanı çiftleri arasında yeni bir bağ oluşma olasılığına sosyo-ekonomik ve ağ ölçütü temelli dinamiklerin etkisini modellemiştir.

İlk olarak THUA dinamik bir ağıdır ve ağın yoğunluğu artmaktadır. THUA'nın ortalama derece merkezilik değeri artma eğilimindedir ve Avustralya ve İtalya gibi ülkeler seviyesinde olsa da ABD'nin oldukça gerisindedir (Xu and Harriss, 2008). Her ne kadar derece merkeziliği değeri yüksek 10 havalimanı Türkiye'nin dört bir tarafına yayılmış olsa da en yüksek derece merkeziliğine sahip birincil merkez havalimanları Türkiye'nin batısındadır. En yüksek derece merkeziliğe sahip merkezi havalimanı 10. sıradaki ikincil merkez havalimanının derece merkezilik değerinin yaklaşık 4 katı kadardır. Bu durum her ne kadar THUA'nın mekânsal örüntüsünün yeni merkezler nedeniyle yeniden yapılanıyor olsa da doğu ve batı ayrımında önemli ve büyük miktarda farklılıklar içerdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu Ersöz ve diğ. (2022) ve Erdem ve diğ. (2019) ile tutarlıdır.

Bağlar açısından THUA değerlendirildiğinde bağ sayısı 2012-2017 periyodunda artış eğilimindeyse de daha çok yolcu taşınımını ifade eden daha kalın bağların doğal olarak daha çok nüfus ve sermaye içeren bölgelerde yer alan merkez havalimanları arasında ve Türkiye'nin batısında yer aldığı görülmektedir. 2012-2017 periyodunda THUA'da bağ sayısı 149 (400 → 549) artmıştır bu artışa teşvik genelgelerinin katkısı 29'dur.

THUA'ya eklenen ve THUA'dan çıkan bağlar incelendiğinde ise 2012-2017 periyodunda eklenen bağların azalma eğiliminde çıkan bağların ise artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ağa eklenen ve çıkan bağlar mekânsal olarak incelendiğinde ise yeni bağların çoğunlukla Türkiye'nin doğusunda yer alan havalimanları ve batısında yer alan havalimanları arasında olduğu görülmektedir. 2012-2017 arasında ağa toplam 722 bağ girmiş ve 574 bağ çıkmıştır. Bu bulgular THUA'nın statik bir ağ olmanın aksine dinamik bir yapılanma süreci içerisinde

olduğunu göstermektedir. Özellikle bu dinamik yapılanmada THUA'nın dört merkezli mekansal konfigürasyondan 7 merkezli mekansal konfigürasyona geçmesinin etkisi olduğunu iddia etmek yanlış olmayacaktır.

Makine öğrenme modellerinin ortaya koyduğu üzere THUA'da havalimanı çiftleri arasında yeni bir bağ oluşma olasılığı gelire yakından ilişkilidir. Gelirin artması sonucu bireyler daha hızlı, güvenli ve daha konforlu olan havayolu ulaşımını tercih etmekte ve bu da talebin artarak yeni rotaların oluşmasına neden olmaktadır. Nüfus değişkeni de taleple ilişkili olduğundan daha fazla nüfus yeni bağların oluşma olasılığını arttırmaktadır. Diğer yandan ağ topolojisi içerisinde merkezilik ölçütleri ise ağda yer alan düğümlerin merkeziliğinin ve düğümler arası bağların tam olma eğiliminin artmasının yeni bağların oluşma olasılığına katkı sağladığını ortaya koymuştur.

Periferde yer alan havalimanları arasında çapraz uçuşlar olmaması THUA'nın tarihsel topla dağıt modeline içkindir. Bu durum THUA'nın yoğunlaşmamasının en önemli belirleyicisidir. Her ne kadar merkez sayılarını artırma ve genelgelerle yeni rotaların teşvik edilmesi sağlansa da pervaneli küçük uçaklarla perifer havalimanları arasında yolcu taşımanın THUA'ya katacağı bağ sayısını karar vericilerin üzerinde dikkatle durması gereken bir konudur.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest	Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / funding conditions	Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. <i>The author declared that this study has received no financial support</i>

REFERANSLAR

- Acar, A. Z., & Karabulak, S. (2015). Competition between full service network carriers and low cost carriers in Turkish Airline market. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 207, 642-651.
- Albert, R., & Barabasi, A.-L., (2002) "Statistical mechanics of complex networks", *Reviews of Modern Physics*, 74(1), pp.1-47.
- Allroggen, F., & Malina, R. (2014). Do the regional growth effects of air-transport differ among airports?. *Journal of Air-transport Management*, 37, 1-4.
- Bagler, G., (2008) "Analysis of the airport network of India as a complex weighted network", *Physica A*, 387, pp.2972-2980.
- Bakırcı, M. (2012). Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye'de Havayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi Ve Mevcut Yapısı. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (25), 340-377.
- Barabasi A-L. (2013) "Network science", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical. Phys Eng Sci*, 371(1987), 20120375.
- Barthelemy, M. (2011). Spatial networks. *Physics Reports*, 499(1-3), 1-101.
- Barthelemy, M. (2018). *Morphogenesis of spatial networks*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Bastian M, Heymann S, Jacomy M (2009) Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. *Proceedings of the Third International ICWSM Conference (AAAI Press, Menlo Park, CA)*, pp 361-362.
- Battal, Ü., & Aksoyek, M. (2018). Havayolu taşımacılığında uzun menzilli düşük maliyetli taşıyıcılarda uçak ve hat seçimi (Master's thesis, Tez (yüksek lisans)-Anadolu Üniversitesi).
- Battal, Ü., & Kiracı, K. (2015). Bankruptcies And Their Causes in The Turkish Airline Industry. *Transport & Logistics*, 15.
- Bezirci, M., Ceran, Y., & Otamis, I. V. (2011). Cost analysis of the air-transport sector in Turkey and its impact on competitiveness. *International Research Journal of Finance and Economics*, 76, 24-30.
- Bianconi, G., & Barabasi, A.-L., (2001) "Competition and multiscaling in evolving networks", *Europhysics Letters*, 54(4), pp.436-442.
- Brandes, U., Robins, G., McCranie, A., Wasserman, S., (2013) "What is network science?", *Netw Sci*, 1, pp.1-15.

- Buhl, J., Gautrais, J., Reeves, N., Solé, R. Valverde, S., Kuntz, P., and Theraulaz, G. (2006) "Topological patterns in street networks of selforganized urban settlements". *European Physical Journal B*, 49, pp.513–522.
- Cardillo, A., Scellato, S., Latora, V., Porta, S., (2006) "Structural properties of planar graphs of urban street patterns", *Physical Review E*, 73, 066107.
- Cetin, T., & Benk, S. (2011). Regulation, deregulation, and competition in the Turkish airline industry. In *The Political Economy of Regulation in Turkey* (pp. 193-214). Springer, New York, NY.
- Ciftci, M. E., & Sevcli, M. (2015). A new hub and spoke system proposal: A case study for Turkey's aviation industry. *Journal of Air-transport Management*, 47, 190-198.
- Clark, K. L., Bhatia, U., Kodra, E. A., & Ganguly, A. R. (2018). Resilience of the US national airspace system airport network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(12), 3785-3794.
- Codal, K.S. & Güner, S. (2022). Exploring the Sources of Centrality in the Turkish Domestic Airport Network. *Journal of Transportation and Logistics* 7(2):199-212. DOI: 10.26650/JTL.2022.1109878
- Crucitti, P., Latora, V., Porta, S., (2006) "Centrality measures in spatial networks of urban streets", *Physical Review E*, 73, 036125.
- Duran, H. E., & Erdem, U. (2017). Regional inequality and international trade in Turkey: A dynamic spatial panel approach. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*.
- Dursun, M. E., O' Connell, J. F., Lei, Z., & Warnock-Smith, D. (2014). The transformation of a legacy carrier—A case study of Turkish Airlines. *Journal of Air-transport Management*, 40, 106-118.
- Erdem, U., Cubukcu, K. M., Tsiotas, D., (2019) "Mapping the Topology of the Air-transport Network in Turkey", *Environment and Planning A: Economy and Space* (doi:10.1177/0308518X19848753).
- Ersoz, C., Kilic, S., & Aldemir, H. O. (2022). Analysis of Turkey's airport network structure and centrality in the opening-out period after the first wave of COVID-19: A complex network approach. *Case Studies on Transport Policy*, 10(4), 2506-2518.
- Fruchterman, T. M., & Reingold, E. M. (1991) "Graph drawing by force-directed placement", *Software: Practice and experience*, 21(11), pp.1129-1164.
- General Framework of Spatial Planning and Sustainable Development of Greece – GSPF (2008), "Approval of the General Framework of Spatial Planning and Sustainable Development", *Newspaper of the Greek Government (ΦΕΚ)*, Issue 1 (T-A), Number 128, 3/7/2008.
- Gerede, E. (2015). *Havayolu taşımacılığı ve ekonomik düzenlemeler teori ve Türkiye uygulaması*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Guida, M., & Maria, F. (2007). Topology of the Italian airport network: A scale-free small-world network with a fractal structure?. *Chaos, solitons & fractals*, 31(3), 527-536.
- Guillaumet, M. P. (2018). A complex network approach to the Argentinian Airport Network.
- Gürsokal, N. (2009). *Sosyal ağ analizi: Pajek Ucinet ve Gmine uygulamalı*. Dora yayınları.
- Hossain, M. M., & Alam, S. (2017). A complex network approach towards modeling and analysis of the Australian Airport Network. *Journal of Air Transport Management*, 60, 1-9.
- IATA. (2018). *Air Passenger Forecasts Country Report*, available at <https://www.iata.org/publications/Documents/country-report-sample.pdf>
- Jia, T., Jiang, B., (2012) "Building and analyzing the US airport network based on en-route location information", *Physica A*, 391, pp. 4031–4042.
- Jiang, B., (2007) "A topological pattern of urban street networks: universality and peculiarity", *Physica A*, 384, pp.647–655.
- Jiang, B., & Claramunt, C., (2004) "Topological analysis of urban street networks", *Environment and Planning B*, 31, pp.151–162.
- Kasarda, J. D., & Green, J. D. (2005). Air cargo as an economic development engine: A note on opportunities and constraints. *Journal of Air-transport Management*, 11(6), 459-462.
- Köroğlu, B. A., & Eceral, T. Ö. (2017). Redefining space in production networks: Network centrality and R&D activities in Ankara defence and aviation cluster. *Gazi University Journal of Science*, 30(2), 17-33.

- Köroğlu, N. T., & Köroğlu, B. A. (2014). Çekim Modeli ve Ağ Analizinin Bölgesel Eşitsizlikleri Açıklama Kapasitesi. Ulusal Bölge Bilimi ve Planlama Kongresi Bölge Bilimi Türk Milli Komitesi, 18-19.
- Koschutski, D., Lehmann, K., Peeters, L., Richter, S. (2005) "Centrality Indices". In Brandes, U., Erlebach, T., (Eds.), *Network Analysis*, Berlin, Germany, Springer-Verlag Publications, pp.16-61.
- Lammer, S., Gehlsen, B., Helbing, D., (2006) "Scaling laws in the spatial structure of urban road networks", *Physica A*, 363, 89.
- Link, H., Dodgson, J. S., Maiback, M., Herry, M., (2012) *The costs of road infrastructure and congestion in Europe*, Heidelberg, Physica-Verlag (Springer).
- Logothetis, M., & Miyoshi, C. (2018). Network performance and competitive impact of the single hub—A case study on Turkish Airlines and Emirates. *Journal of Air-transport Management*, 69, 215-223.
- Mansfield, E., (1962) "Entry, Gibrat's law, innovation, and the growth of firms", *The American economic review*, 52(5), pp.1023-1051.
- Melikoglu, M. (2017). Modelling and forecasting the demand for jet fuel and bio-based jet fuel in Turkey till 2023. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 19, 17-23.
- Merton, R. K., (1968) "The Matthew effect in science: The reward and communication systems of science are considered", *Science*, 159(3810), pp.56-63.
- Mukkala, K., & Tervo, H. (2013). Air-transportation and regional growth: which way does the causality run? *Environment and Planning A*, 45(6), 1508-1520.
- Newman, M. E. J., (2010) *Networks: an introduction*, Oxford, Oxford University Press.
- Norusis, M., (2004) *SPSS 13, Advanced statistical procedures companion*, New Jersey (USA), Prentice Hall Publications.
- Norusis, M., (2008) *SPSS 16.0 advanced statistical procedures companion*, Prentice Hall Press.
- Orhan, G., & Gerede, E. (2013). A study of the strategic responses of Turkish airline companies to the deregulation in Turkey. *Journal of Management Research*, 5(4), 34-63.
- Orkcu, H. H., Balıkcı, C., Dogan, M. I., & Genc, A. (2016). An evaluation of the operational efficiency of Turkish airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index: 2009-2014 case. *Transport Policy*, 48, 92-104.
- Paez, A., Scott, D. M., Morency, C., (2012) "Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators", *Journal of Transport Geography*, 25, pp.141-153.
- Pamuk, Ş. (2014). Fiscal centralisation and the rise of the modern state in the Ottoman empire. *The Medieval History Journal*, 17(1), 1-26.
- Polyzos, S., (2015) *Urban development*, Athens, Kritiki Publications [in Greek].
- Polyzos, S., (2019) *Regional development*, 2nd Edition, Athens, Kritiki Publications [in Greek].
- Polyzos, S., Tsiotas, D., Papagiannis, K., (2014) "Determining the changes in commuting after the Ionian Motorway's construction", *MIBES TRANSACTIONS International Journal*, 8, pp. 113-131.
- Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B., (2013) *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge Publications.
- Saldıraner, Y. (2013). Airport Ownership and Management in European Union Countries, BOT Applications in Turkey, and Suggestions for Turkey. *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 61-67.
- Sarılgan, A. E. (2016). Impact of Low Cost Carriers on Turkish Tourism Industry. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 6(4), 176-188.
- Shinnar, R. S., & Zamantılı Nayır, D. (2019). Immigrant entrepreneurship in an emerging economy: The case of Turkey. *Journal of Small Business Management*, 57(2), 559-575.
- SHGM. (2012). Havayolu Teşvik Uygulaması Kapsamında 20 Yeni Hat Açıldı. Erişim adresi: <http://web.shgm.gov.tr/tr/haberler/1884-havayolu-tesvik-uygulamasi-kapsaminda-20-yeni-hat-acildi>
- SHGM. (2013). Yeni Uçuş Hatları Teşvik Genelgesi - 2014. Erişim adresi: http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/genelgeler/2014_ucus.pdf.

- SHGM. (2014). Uçuş Hatları Teşvik Genelgesi 2015. Erişim adresi: http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/genelgeler/Ucus_Hatlari_Tesvik_Genelgesi-2015.pdf.
- SHGM. (2015a, 15 Haziran). Başkent'ten Üç Ülkeye Daha Doğrudan Uçak Seferi. Erişim adresi: <http://web.shgm.gov.tr/s/4766-baskent>
- SHGM. (2015b, 11 Aralık). İzmir'den Yurtdışı Seferlerini Arttırmak için Teşvik Genelgesi Yayınlandı. Erişim adresi: <http://web.shgm.gov.tr/tr/manset-haber/5034-izmir>
- Sun, X., Gollnick, V., & Wandelt, S. (2017). Robustness analysis metrics for worldwide airport network: A comprehensive study. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 500-512.
- Taşçı, D., & Yaçınkaya, A. (2015). Havayolu sektöründe yeni bir iş modeli: bağlı düşük maliyetli havayolu (airline within airline) modeli ve Anadolujet örneği bağlamında bir karşılaştırma.
- Taşlıgil, N. (1999). Türkiye'nin ulaşım coğrafyası. Kuşak Ofset Kitabevi, İstanbul.
- Togan, S. (2016). The liberalization of transportation services in the EU and Turkey. Oxford University Press.
- Tsiotas D., & Polyzos, S., (2018) "The complexity in the study of spatial networks: An epistemological approach", *Networks and Spatial Economics*, 18(1), pp.1-32.
- Turgut, T. (2022). Pandemi Nedeniyle Yap-İşlet-Devret Sözleşmelerinin de Uyarlanması Gerekmez mi?. *İdare Hukuku ve İlimleri Dergisi*, 1-2.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., Ye, K., (2012) *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, ninth ed., New York, Prentice Hall Publications.
- Wang, H., Mo, H., Wang, F., Jin, F., (2011) "Exploring the network structure and nodal centrality of China's air-transport network: a complex network approach", *Journal of Transport Geography*, 19, pp.712-721.
- Wensveen, J., (2018) *Air-transportation: A management perspective*, Sixth Edition, Hampshire, UK, Ashgate Publishing Ltd.
- Wold, S., Esbensen, K., Geladi, P., (1987) "Principal component analysis", *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 2(1-3), pp.37-52.
- Wu, W., Zhang, H., & Wei, W. (2018). Optimal design of hub-and-spoke networks with access to regional hub airports: a case for the Chinese regional airport system. *Transportmetrica A: Transport Science*, 14(4), 330-345.
- Xu, Z., & Harriss, R. (2008). Exploring the structure of the US intercity passenger air transportation network: a weighted complex network approach. *GeoJournal*, 73, 87-102.
- Yule, G., (1925) "II-A mathematical theory of evolution, based on conclusions of Dr. JC Willis, FR S", *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 213(401-410), pp.21-87.

Ekler

Ek-1: 2013 ve 2015 yıllarında havalimanı çiftleri arasındaki talep edilmeyen hatlar

Başlangıç	Varış	Nüfus (2015)	Kişi Başına Düşen GSYİH (\$) (2015)	Yolda Sürüş Süresi - mesafe
Sabiha Gökçen (İstanbul)	Adıyaman	602,774	5,512	13h23m - 1,177 km
	Ağrı	547,210	3,559	16h6m - 1,415 km
	Siirt	320,351	4,814	17h43m - 1,518 km
	Eskişehir	826,716	11,824	3h36m - 302 km
Ankara	Sinop	204,133	6,955	5h7m - 412 km
	Gazipaşa	2,288,456	12,172	6h33m - 526 km
	Sivas	618,617	7,677	5h13m - 434 km
	Denizli	993,442	9,890	6h9m - 479 km
İzmir	Adıyaman	602,774	5,512	14h1m - 1,221 km
	Ağrı	547,210	3,559	19h27m - 1,780 km
	Amasya	322,167	8,243	11h1m - 928 km
	Bursa	2,842,547	12,346	3h58m - 351 km
	İğdir	192,435	5,967	20h52m - 1,759 km
	Isparta	421,766	8,365	4h55m - 392 km
	Maraş	1,096,610	6,602	12h20m - 1,084 km
	Konya	2,130,544	8,719	6h37m - 557 km
	Nevşehir	286,767	8,025	8h52m - 761 km
	Muş	408,728	4,775	18h35m - 1,532 km
	Siirt	320,351	4,814	18h2m - 1,598 km
	Sinop	204,133	6,955	11h40m - 1,054 km
	Tokat	593,990	6,117	11h39m - 968 km
	Uşak	353,048	8,700	2h48m - 220 km
	Eskişehir	826,716	11,824	5h6m - 415 km
	Tekirdağ	937,910	13,420	7h12m - 483 km
Zonguldak	595,907	7,531	9h10m - 732 km	
Gazipaşa	2,288,456	12,172	5h37m - 462 km	
Antalya	Adıyaman	602,774	5,512	11h14m - 934 km
	Ağrı	547,210	3,559	16h49m - 1,424 km
	Amasya	322,167	8,243	10h4m - 834 km
	Bursa	2,842,547	12,346	6h32m - 548 km
	Çanakkale	513,341	10,775	9h7m - 698 km
	Denizli	993,442	9,890	2h53m - 224 km
	Erzincan	222,918	9,002	12h-33m - 1,062 km
	Erzurum	762,321	6,442	14h45m - 1,243 km
	Elâzığ	574,304	7,045	13h6m - 1,052 km
	Gökçeada	8,830	-	10h53m - 768 km
	İğdir	192,435	5,967	18h19m - 1,531 km
	Maraş	1,096,610	6,602	9h34m - 798 km
	Kayseri	1,341,056	9,398	7h41m - 610 km
	Kars	292,660	5,621	17h7m - 1,445 km
	Nevşehir	286,767	8,025	6h36m - 529 km
	Muş	408,728	4,775	16h4m - 1,332 km
	Siirt	320,351	4,814	15h19m - 1,311 km
	Sinop	204,133	6,955	11h4m - 892 km
	Tokat	593,990	6,117	10h32m - 864 km
	Uşak	353,048	8,700	3h55m - 298 km
Eskişehir	826,716	11,824	5h12m - 417 km	
Tekirdağ	937,910	13,420	9h50m - 839 km	
Urfa	1,892,320	4,148	11h6m - 966 km	
Zonguldak	595,907	7,531	9h9m - 760 km	
Mardin	796,591	5,623	13h54m - 1,267 km	
Malatya	772,904	6,600	11h44m - 952 km	

* Not: Bold havalimanları sadece 2013 yılında talep edilmemiştir, daha sonra 2015 yılında varış havalimanlarından bu vurgulanan havalimanlarına yeni hatlar ortaya çıkmıştır

