

# Havacılık Sektöründe Talep Tahmininin Önemi: Yolcu Talebi Üzerine Bir Tahmin Modeli

## The Importance of Demand Estimation in the Aviation Sector: A Model to Estimate Airline Passenger Demand

Tuğba EFENDİGİL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, tugbae@yildiz.edu.tr  
Ömer Emin EMİNLER, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, oeminler@msn.com

*Öz: Global gelişmeler ve gerçekleştirilen yatırımlar sayesinde, 1990'lı yıllarda daha çok üst gelirli insanlara hitap eden hava yolu ulaşımı, 2000'li yıllardan sonra düşük maliyetli taşıyıcıların da güçlü bir şekilde piyasaya girmesiyle orta ve düşük gelirli insanlara da hitap etmiş ve daha çok talep görmeye başlamıştır. Hava yolu taşımacılığı, hız, güvenlik ve konfor gibi üstünlükleri sebebiyle, kara, demir ve denizyolu ulaşımına göre daha çok tercih edilmektedir.*

*Sektördeki gelişmeye paralel olarak akademik alanda da hava taşımacılığı konusunun incelendiği çalışmalarda yükselen bir ivme göze çarpmaktadır. Hava yolu firmalarının yüksek derecede öneme sahip olan filo ve ağ gibi ticari planlamalarının başarısı, talep tahminin tutarlılığı ile ilişkilidir. Bu çalışmada 1950 ile 2015 yılları arasında hava yolu yolcu taşımacılığı tahmini konusunda sunulmuş 114 adet makale teknik, yıl ve ülke bazında incelenmiştir. İnceleme sonucunda, son yıllarda ekonometrik modeller yerine yapay zekâ tekniklerinin ön plana çıktığı görülmüştür.*

*Çalışmada havacılık sektöründe yolcu talep tahmininin kritik bir öneme sahip olduğu göz önüne alınarak, yapay zekâ teknikleri ile ekonometrik bir model olan regresyon tekniği karşılaştırması yapılmıştır. Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağları ve regresyon analizinin kullanıldığı bu çalışmada, havacılık sektöründe yolcu talep tahmini konusunda en başarılı ve güvenilir sonuçları "yapay sinir ağları" tekniğinin verdiği bulunmuştur. Çalışmanın bir diğer amacı da, hava yolu yolcu talebini etkileyen faktörleri bulmaktır. Bu sebeple literatürde bulunan faktörler derlenmiş, ardından korelasyon analizine tabi tutulup ilişkili olanlar belirlenmiştir.*

*Anahtar Sözcükler: Yapay Zekâ, Havacılık, Tahmin, Yolcu Talebi, ANFIS, Yapay Sinir Ağları, Regresyon*

*Abstract: Due to global developments and investments, airline transportation, which was more appealing to higher-income individuals in 1990s, has been gaining popularity among medium- and low-income individuals since 2000s with proliferation of low-cost carriers in the market. Speed, security and comfort are among the main reasons air transportation is preferred over other modes of transportation.*

*Similar to improvements in the sector itself, academic studies on air transportation are also gaining momentum. Airline firms' success in key projections such as fleet and network planning are closely related to demand estimation consistency. In this study, 114 academic publications are examined by their techniques, years and countries. As a result of this review, we observe that artificial intelligence techniques are becoming more preferable over econometric models in recent years.*

*In this work, considering the significance of demand forecasting in the aviation sector, we aim to compare artificial intelligence methods and regression analysis technique. As a result of our study, we conclude that the most successful and reliable results for the demand forecasting are obtained through artificial neural network technique. Another aim of this study is to explore the factors that influence airline passenger demand. To that end, we compiled influential factors from related academic literature and conducted correlation analysis to determine related ones.*

*Keywords: Artificial Intelligence, Aviation, Estimation, Passenger Demand, ANFIS, Artificial Neural Network, Regression*

## 1. Giriş

Türkiye kıtalararası doğal bir geçiş noktası olması nedeniyle, hava taşımacılığında önemli ve stratejik bir noktadadır. Dışa açılma ve büyüme politikası, ilerleyen ve gelişen ihracat, turizm ve coğrafi konumu itibarıyla yoğunlaşan uluslar arası ilişkilerde havacılık endüstrisi, Türkiye'nin sahip olduğu en önemli ekonomik araçlardan biridir.

Havacılık, 1978 yılında ABD'de başlayan liberalleşme süreci ve sonrasında 1993'te Avrupa hava sahasının liberalizasyonu (serbestleşme) ile dünya çapında büyük aşama kaydetmiştir. Türkiye'de 2001'de ilk adımları atılan ve 2004'te büyük çapta tamamlanan liberalizasyon sürecine kadar istenen düzeye gelemeyen havacılık, süreç sonrasında büyümeye başlamıştır. Ülkemiz, günümüzde uçak ve yolcu trafiği bakımından dünyada ve Avrupa'da en hızlı gelişme gösteren birkaç ülke içinde yer almaktadır. Uluslararası uçuşları gerçekleştiren hava yolu firmalarımız ile uluslararası uçuşların gerçekleştiği havalimanlarımız en az Avrupa standartlarında faaliyet göstermektedir. Son dönemde liberal ekonominin her alanda sivil havacılığa gerekli şartları sağlıyor olması, sektörün önünün açılmasına ve ülke gelişimine olanak tanıdığı (TOBB 2014).

## 2. Havacılık Sektöründe Talep Tahmininin Önemi

Hava yolu firmaları, yolcu talebinin doğuracağı servisin tedarikini doğru planlamak için talebi tahmin eder (Doganis 2009). Yolcu talebini tahmin etmek, hava yolu yönetimindeki en kritik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Yatırımın verimliliği talep tahmininin tutarlılığı ve yeterliliğine bağlı olduğundan dolayı, yolcu talebinin tahmini hava yolları için olduğu kadar yatırımcılar için de kritik öneme sahiptir (Blinova 2007). Hava yolu talep tahmini; filo planlaması, rota geliştirme ve hava yolunun yıllık operasyon planlamasının en önemli girdilerinden biridir (Ba-Fail 2000; Doganis 2009). Ayrıca, talebi tahmin ve analiz etmek hava yolunun objektif bir değerlendirme yaparak risklerini azaltmasında rol oynayabilir. Sonuç olarak diyebiliriz ki; hava yolu talebinin tahmini, karar vermede ve planlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Bir firmanın başarısı, yöneticilerin ve karar vericilerin geleceği doğru öngörüp, bu tahminlere uygun stratejiler geliştirmesine bağlı olduğundan dolayı, talep tahmininin başarısı firmanın başarısına doğrudan etki etmektedir.

Havacılık sektörü ülkemizin birçok sektör dinamiklerini etkilemekle birlikte, özellikle turizm sektörüyle ilişkilidir. Ülke ve dünya genelindeki değişimler sektörün hızlı bir şekilde etkilenmesine sebep olmaktadır. Sektörün olumsuz etkilendiği durumlarda sektöre bağlı bulunan alt iş kollarının da etkilenmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla genel anlamda ülke potansiyelinin önemli belirleyicilerinden biri de havacılık sektörüdür denilebilir (TOBB 2014).

Hava taşımacılığı, yapılan düzenlemeler ve doğan fırsatlar sebebiyle son yıllarda oldukça hızlı bir büyüme trendi yakalamıştır. Bazı dönemlerde politik olaylar veya afetler sebebiyle düşüşler yaşansa da genelde yükseliş trendine geri dönmüştür. Hava taşımacılığının ulaşım, turizm ve ekonomiye olan etkileri sebebiyle, yapılan talep tahmini ve bunun doğruluğu önem göstermektedir.

### 2.1. Türkiye’de Sivil Havacılık

Türkiye’de havaalanı ve hava yolu işletmeciliği, 1933 yılında Devlet Hava Yolları İşletmesi’nin kurulmasıyla başlamıştır. Devlet Hava Yolları İşletmesi, bugünkü Devlet Hava Meydanları İşletmeleri (DHMİ) ve Türk Hava Yolları’nı kapsamaktadır (Transport 2012). Bu oluşumların sonucunda ticari uçuşların başlangıcı 1933 yılında İstanbul-Eskişehir-Ankara hattında gerçekleşmiştir. 1947 yılında Ankara-İstanbul-Atina seferi ile ilk yurtdışı seferi yapılmıştır. 1960’lı yıllardan itibaren Avrupa ve Orta Doğu bölgesinde birçok noktaya uçuşların başlamasıyla istikrarlı olarak büyümeye başlayan havacılık sektöründe, 1980 yılında yaşanan askeri darbe sonucu yolcu sayılarında büyük bir düşüş gözlenmiştir (Tablo 1). 1985 yılında THY filosuna dört adet Airbus A310 katılması sonucu Uzakdoğu ve Atlantik ötesi uçuşlar başlamıştır. Sonraki yıllarda sermaye artırımları, yeni uçuş noktaları eklenmesi ve filoya yeni uçakların dahil edilmesi ile beraber büyüme devam etmiştir. 2001 yılında havacılık sektörü, ülkemizde yaşanan ekonomik kriz ve Amerika’da gerçekleştirilen 11 Eylül saldırısından olumsuz bir şekilde etkilenmiştir.

2001 yılında yaşanan ekonomik kriz sonrasında liberalizasyon sürecinin ilk adımları, iç hat uçuşlarının fiyatlarının serbestçe belirlenebilmesine karar verilmesiyle başlamıştır. 2003 yılında Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının geliştirdiği politikalar neticesinde özellikle iç hat uçuşlarına olan talebi arttırmak üzere, iç hatlarda özel hava yollarına uçuş izni verilmesi ile sektörde yeni bir hareketlenme gözlenmiştir. Pegasus, Atlasjet ve Onur Air gibi firmaların iç hat uçuşlarına başlamasıyla rekabet artmış, bilet fiyatları önceki dönemlere göre çok daha uygun seviyelere gerilemiştir. Bu durum, iç hat uçuşlarına olan talebin hızlı bir şekilde artmasına sebep olmuştur. Tablo 1.’de yıllara göre Türkiye için değişen iç ve dış hat yolcu sayıları gösterilmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de İç ve Dış Hat Yolcu Sayısının Yıllara Göre Rakamsal Dağılımı

YILLAR	Yolcu Sayısı			
	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Büyüme Oranı
1960	528,846	184,371	713,217	
1965	681,623	296,290	977,913	37%
1970	1,661,890	1,017,969	2,679,139	171%
1975	2,599,373	2,201,529	4,800,902	79%
1980	1,621,998	1,836,167	3,458,165	-28%
1985	3,061,832	3,261,626	6,323,448	83%
1990	5,347,723	8,282,242	13,629,965	116%
1995	10,347,528	17,419,851	27,767,379	104%
2000	13,339,039	21,633,495	34,972,534	26%
2001	10,057,808	23,562,640	33,620,448	-4%
2002	8,729,279	25,054,613	33,783,892	0%
2003	9,147,439	25,296,216	34,443,655	2%
2004	14,460,864	30,596,507	45,057,371	31%
2005	20,529,469	35,042,957	55,572,426	23%
2006	28,771,857	32,880,802	61,655,659	11%

2007	31,949,341	38,347,191	70,296,532	14%
2008	35,832,776	43,605,513	79,438,289	13%
2009	41,226,959	44,281,549	85,508,508	8%
2010	50,575,426	52,224,966	102,800,392	20%
2011	58,258,324	59,362,145	114,620,469	14%
2012	64,721,316	65,630,304	130,351,620	11%
2013	76,148,526	73,281,895	149,430,421	15%
2014	85,416,166	80,304,068	165,720,234	11%
2015	97,485,961	83,869,800	181,355,761	9%

Kaynak : TÜİK İstatistik Göstergeler 1923-2013 (TUIK 2014) ve (DHMİ 2016)

Tablo 1’de görüldüğü üzere, hava yolu yolcu talebi Türkiye’de ekonomik veya politik bir kriz gibi olumsuz gelişmeler olmadıkça devamlı artmaktadır. Liberalizasyon süreci başlamadan önce 9 milyon olan yolcu sayısı, 2015 yılında on kattan fazla artarak 97 milyon olmuştur. Ayrıca Türk hava yolu firmalarının yurtdışı noktalarını devamlı arttırması ve düşük maliyetli havayollarının da bu pazara girmesi sebebiyle dış hat uçuşlarına olan talep de devamlı artmaktadır.

## 2.2. Türkiye Sivil Havacılığının Dünyadaki Konumu ve Geleceği

Dünyada gün geçtikçe artan ve karmaşıklaşan küresel dinamikler, hava yolu taşımacılığında dikkat çeken bir hareketlenmeye sebep olmakta ve alternatif ulaşım sistemlerine oranla önemi artmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı’ndan (ICAO) elde edilen verilere göre dünya çapında 1950’lerde yıllık 100 milyon olan tarifeli yolcu sayısı, 1976 yılında 1 milyara, 2010 yılında da 5 milyar 126 milyona ulaşmıştır (Transport 2012). 2015 yılındaki büyüme rakamlarına bakıldığında dünyadaki yolcu trafiği %6,9 ve Avrupa’daki yolcu trafiği %6,5 büyürken, Türkiye için bu rakam olumsuz gelişmelere rağmen %9,5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 2015 yılında Türkiye iç hat yolcu pazarı en hızlı büyüyen 9. pazar konumundadır (ICAO 2016).

2009 yılında yolcu sayısı bakımından Avrupa havalimanları sıralamasında 9.sırada olan İstanbul Atatürk Havalimanı, 2015’te hızlı bir biçimde 3. sıraya yükselmiştir. Ülkeler sıralamasında ise yine aynı şekilde Fransa ve İtalya’yı geçen ülkemiz, Avrupa ülkeleri içerisinde 9.sıradan 4. sıraya yükselmiştir. Şu anda yapımı devam eden İstanbul’daki 3.havalimanı ile yolcu sayısındaki artışın devam edeceği öngörülmektedir (IATA 2016).

2016 yılı Haziran ayı itibarıyla Devlet Hava Meydanları (DHMİ) Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen çalışmalara göre, önümüzdeki 3 yıla ilişkin trafik tahminleri Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre 2015 yılında bir önceki yıla göre yolcu trafik artış oranı %9 iken, takip eden 3 yılda ise %1, %12 ve %9 büyüme tahmin edilmiştir. 2015 Ekim ayında yapılan çalışmada 2016’da yolcu trafiğinin artışı %8 olarak tahmin edilmiş iken, bu oran 2016 Haziran ayında gerçekleşen yolcu sayılarının değerlendirilmesi ve siyasi gelişmeler sebebiyle %1’e revize edilmiştir. DHMİ 2016 raporunda genelde iç hatların dış hatlardan daha büyük oranlarda büyüyeceği öngörülmüştür.

Tablo 2. 2016 Haziran Ayı İtibarı İle Yolcu Trafiki Artış Öngörülleri

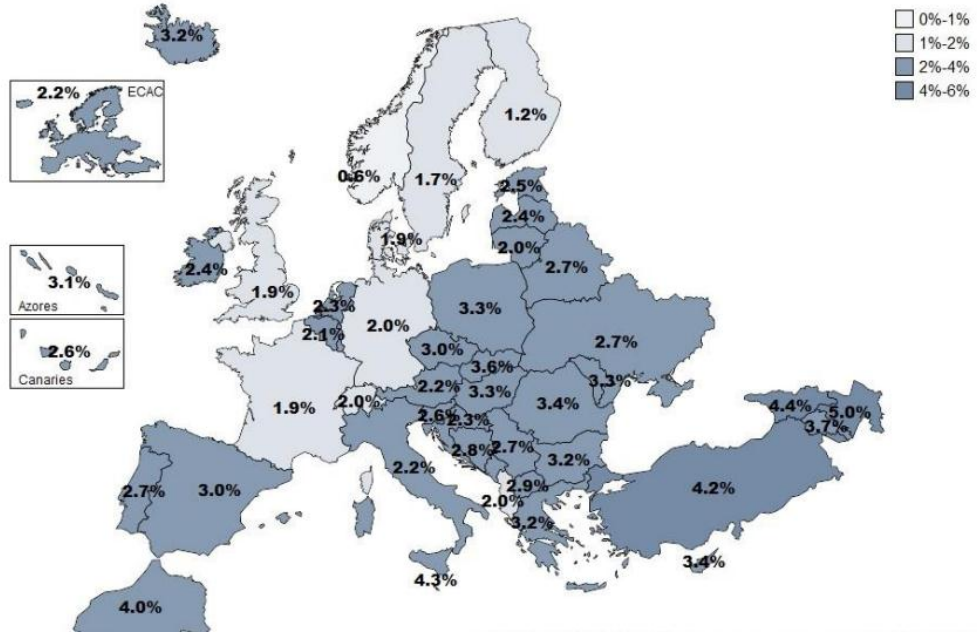
Yıllar		2015	2016	2017	2018	2019
Yolcu	İç Hat	97,485,961	101,547,620	109,834,707	119,560,600	127,265,543
	Dış Hat	83,869,800	81,691,805	95,344,222	104,046,753	110,937,195
	Yolcu Trafiki	181,355,761	183,576,525	205,603,454	224,100,348	238,661,223
Artış (%)	İç Hat	14%	4%	8%	9%	6%
	Dış Hat	4%	-3%	17%	9%	7%
	Toplam	9%	1%	12%	9%	6%

Kaynak: (DHMİ Uçak, Yolcu, Yük, Serisi ve Tahminleri 2016)

Uçak imalatçıları ile International Civil Aviation Organization (ICAO), International Air Transport Association (IATA) vb. uluslararası kuruluşlar yolcu trafiği hakkında kısa, orta ve uzun dönem tahminlerini ülke detayına girmeden genelde bölgesel bazda vermektedir (DHMI, 2015). Airbus(2015) 2035 yılına kadarki yolcu trafiğinde yıllık ortalama %4.5, Boeing(2016) ise %4.8 büyüme beklemektedir. Eurocontrol(2016) 2016-2022 tahminlerinde Türkiye’nin büyüme eğiliminin devam edeceği ve Avrupa hava trafiğine önemli ölçüde katkı sağlayacağı öngörülmüştür (Şekil 1).

Bu büyümenin elbette ekonomiye olumlu katkıları olmuştur. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) yıllık değerlendirme raporuna göre son 10 yılda sektörün ekonomiye katkısı 11 kat artarak 2,2 milyar dolardan 23,8 milyar

dolara çıkmıştır. Coğrafi konumu dolayısıyla sahip olduğu avantajlar ve turizm olanaklarının yüksek olması, Türkiye'nin hava taşımacılığında stratejik bir konuma sahip olmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. Ülkelere Göre Ortalama Büyüme Hızları (2015-2022)

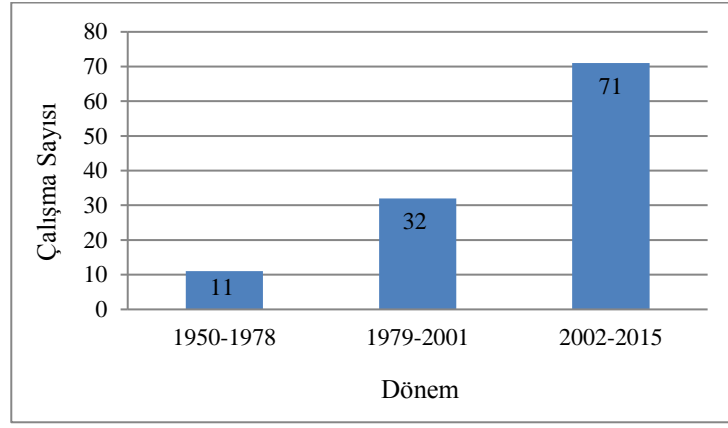
Kaynak: (Eurocontrol 2016)

### 3. Literatür Araştırması

Hava yolu ulaşımını kapsamlı bir şekilde inceleyen sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Sarames tarafından 1972'de yapılan World Air Travel Demand çalışması verilebilir (Sarames 1972). Bu çalışmada Sarames 1950 ila 1970 yılları arasındaki hava yolu yolcu trafiğinin gelişimini incelemiştir. Daha sonra Karlaftis 1994'te hava yolu yolcu ulaşımı tahmin metodlarını detaylı bir şekilde incelemiştir. 2010'da ise Li ve Song konuda en yeni ve kapsamlı araştırmayı yapmıştır (Song ve Li 2008).

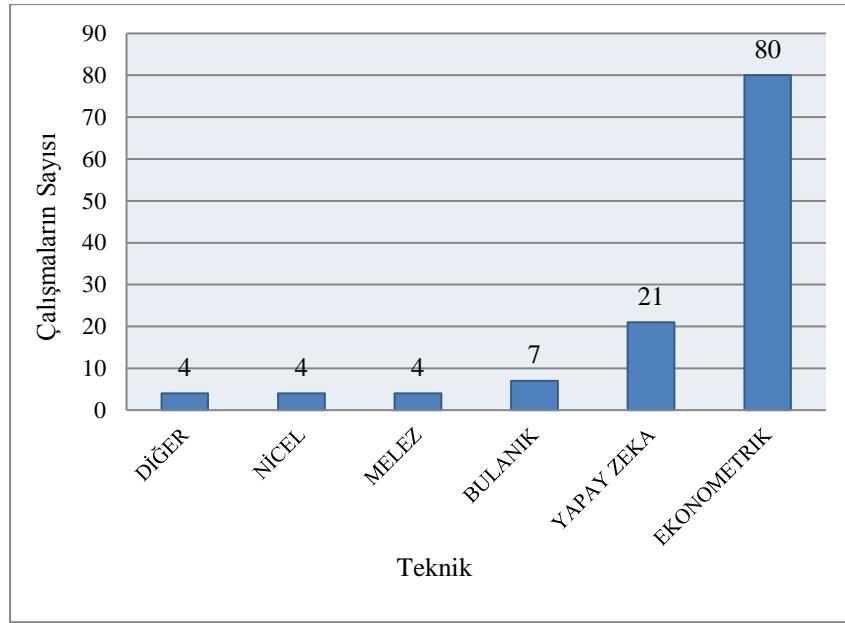
Bu çalışmada 1950 ve 2015 yılları arasında hava yolu yolcu taşımacılığı alanındaki 114 adet makale incelenerek teknik, yıl ve ülke bazında değerlendirilmiştir. Çalışma süresince Science Direct, Research Gate, EBSCOhost, Google Scholar gibi birçok veri tabanı; "air transport demand forecasting", "demand estimation", "forecasting", "aviation", "airline passenger demand estimating" gibi anahtar kelimeler kullanılarak taranmıştır. Araştırma 2015 Kasım-2016 Mart ayları arasında yapılmış ve 114 adet makale detaylı olarak analiz edilmiştir.

Amerika'daki liberalizasyon süreci 1978 yılında başladığından dolayı, tüm havacılık tarihi üç fazda incelenmektedir: 1950-1978 gelişme dönemi, 1979-2001 liberalizasyon sonrası dönem ve 2002- günümüz. 1950 ve 1978 yılları arasındaki 28 yıllık dönemde 11 adet çalışma yapılmış; 1979 ve 2001 yılları arasındaki 22 yıllık dönemde ise literatürde 32 adet çalışma yer almaktadır. 2002 yılından sonra ise 71 adet makale ile çalışmalarda keskin bir artış olduğu görülmektedir. Şekil 2, literatürde hava yolu yolcu taşımacılığı tahmininde yıllar geçtikçe artan bir eğilim olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Dönemlere Göre Hava Taşımacılığı Tahmini Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Yapmış olduğumuz literatür çalışmasına göre çalışmaların %96'sında kantitatif metotlar tercih edilmiştir. Bu kantitatif metotların içerisinde ise ekonometrik modellerin hava yolu yolcu taşımacılığında bariz bir üstünlüğü göze çarpmaktadır. İncelenen 114 çalışmadan 80 adedi araştırmalarında ekonometrik modelleri kullanmıştır. Ekonometrik modeller içerisinde en çok tercih edilen metotlar, regresyon analizi ve zaman serisi modelleridir (Şekil 3).



Şekil 3. Tekniklerine Göre Hava Taşımacılığı Konusunda Yapılmış Çalışmalar

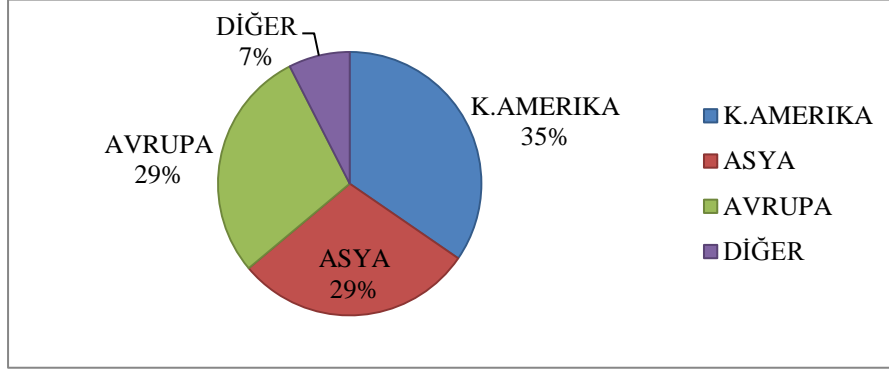
1950'li yıllarda Newton'un yer çekim yasasından esinlenerek oluşturulan gravity model kullanılarak hava taşımacılığında talep tahmini çalışmaları başlamıştır. Çalışmalarda 1980'li yıllara kadar büyük çoğunlukla regresyon analizi kullanılırken, sonrasında ise yine ekonometrik model olan logit ve otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) modelleri de tercih edilmeye başlamıştır. Zaman serileri modelleri içerisinde en çok tercih edilen model Box ve Jenkins'in 1970'de literatüre katmış olduğu ARIMA ve Mevsimsel ARIMA modeli olmuştur.

2000'li yıllardan itibaren ise regresyon analizinin kullanım oranı azalmaya başlamış, birçok alanda olduğu gibi yapay sinir ağları veya adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi yapay zekâ ve bulanık mantığa dayalı modeller bu alanda da daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Bu dönemde birçok makalede ekonometrik modeller ile yapay zekâ ve bulanık mantık karşılaştırılmış, genellikle en az hataya sahip sonuçları veren model yapay zekâ olmuştur. Geçmişte yapay zekâ teknikleri daha çok kural tabanlı sistemlerden türetilirken, günümüzde sezgisel tabanlı sistemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan en belirgin olanları yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmalarıdır. Ayrıca geleneksel regresyon tahmin metotlarında varsayımsal olarak bağı ve bağı olmayan değişkenlerle bir ilişki kurulabilirken, yapay sinir ağları model kurulumunda bu gibi varsayımlara ve biçimlere gerek duymadığı için daha üstün olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda yapay sinir ağları herhangi bir doğrusal ya da doğrusal olmayan fonksiyonda kullanılabilme yeteneği olduğu için, sıklıkla tercih edilmektedir. Yapay sinir ağlarının diğer tahmin modellerine göre en büyük avantajı; öğrenilmesi ve eksik ve düzgün olmayan veriler ile çalışabilmesidir. Yapay sinir ağları günümüzde bankacılık, ekonomi, enerji talebi, turizm tahmin modellemesi, tedarik zinciri, ulaşım gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

1990'lı yıllarda geliştirilen ve hem sinir ağlarının hem de bulanık mantığın prensiplerini içeren ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) bu özelliğiyle, iki metodun da olumlu yönlerini kapsamaktadır. ANFIS bu avantajıyla basit bulanık mantık ve yapay sinir ağlarından daha üstün bir yaklaşım olarak değerlendirilmekte ve çalışmalarda tercih edilmektedir.

Çalışmalar dış hatlar, iç hatlar, bölgesel veya şehirlerarası kademelerde yapılmıştır. Bazıları ise sadece belli bir havaalanına odaklanmıştır. Bölgesel bazda incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğu Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa bölgelerinde yapılmıştır (Şekil 4). En çok çalışma yapılan ülkeler ise sırasıyla; Amerika, Çin ve İngiltere'dir. Amerika'da bu konudaki çalışmaların bu kadar popüler olması, hava yolu yolcu taşımacılığının tarihsel gelişimi ile açıklanabilir.



Şekil 4. Bölgelerine Göre Hava Taşımacılığı Konusunda Yapılmış Çalışmalar

#### 4. Önerilen Tahmin Modeli

Bağırkan (1982, 157) tahmini, gelecek dönemlerde meydana gelebilecek olayların sonuçlarının önceden hesaplanması olarak tanımlamıştır. Yani tahmin, geçmiş dönemlerde meydana gelmiş olayların sonuçlarının değerlendirilmesi ve gelecek dönemlerde meydana gelebilecek olayların sonuçlarının önceden görülebilmesidir. Tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasındaki farklara "tahmin hataları" denilmektedir (Karahana 2011, 26). Yönetim kademelerinde orta ve uzun vadeli planlar tahminler doğrultusunda yapıldığı için, tahminlerin tutarlılığı şirketler için çok önemlidir. Tutarlı bir tahmin, başarılı bir plan yapılmasını sağlar (Chen 2000, 7).

Nümerik bir tahmin çalışması için beş önemli adım vardır. Bunlar sırasıyla; problem tanımı, verilerin derlenmesi, ön hazırlık analizlerinin yapılması, model seçimi ve entegrasyonu ve son olarak tahmin modelinin tatbik edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi aşamalarıdır (Makridakis vd. 1998). İstatistiksel yöntemlerle, geçmiş olaylardan yola çıkarak gelecekle ilgili planlamalar yapılabildiğinden tahmin çalışmalarına sıklıkla başvurulmaktadır. Özellikle talep tahmini çalışmalarında, geçmiş talep seviyesi, talebi etkileyen faktörler ve ekonomik göstergelere göre analiz ihtiyacı; regresyon, korelasyon, eğri uydurma ve zaman serileri gibi istatistiksel yaklaşımlara olan ihtiyacı arttırır.

Havacılık alanında talep tahminine yönelik yapılan literatür taramasında en çok kullanılan istatistiksel metotlar regresyon ve ARIMA gibi ekonometrik modellerdir. Fakat 2000'li yıllardan itibaren yapay sinir ağları ve ANFIS gibi yapay zekâya dayalı teknikler ön plana çıkmaya başlamıştır. Yapay zekâ tekniklerinin tahmin yeteneklerinin yüksekliği, hata oranlarının düşüklüğü ve esnek olmaları bu durumun sebepleri arasında gösterilebilir. Uygulama aşamasında tercih ettiğimiz regresyon analizi ile yapay zekâya dayalı tekniklerden yapay sinir ağları ve ANFIS hakkında aşağıda kısaca bilgi verilmiştir.

##### 4.1. Regresyon Analizi

Herhangi bir bağımlı değişkenin, bir veya birden fazla bağımsız değişken ile arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklindeki ifadesine regresyon analizi denir. Regresyon analizi sayesinde bağımlı değişken ve bağımsız değişken veya değişkenler arasındaki ilişkiyi sağlayan parametrelerin değerleri tahmin edilmektedir. Böylece, bağımsız faktörlerde yapılan değişikliklerde bağımlı değişkende oluşabilecek artış veya azalış ortaya çıkarılabilmektedir. (Çağlar 2007, 25).

Regresyon analizi, fonksiyon tipine göre;

- Doğrusal regresyon analizi,  
$$y = b_0 + b_1x + \varepsilon \quad (1)$$

- Eğrisel regresyon analizi,  
$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon \quad (2)$$

Bağımsız değişken sayısına göre;

- Basit regresyon analizi (Bir adet bağımsız değişken),

$$y = b_0 + b_1x + \varepsilon \quad (3)$$

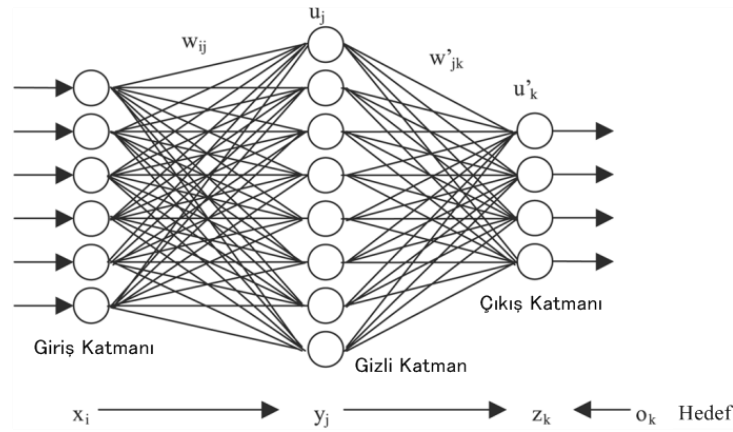
- Çoklu regresyon analizi (İki veya daha fazla bağımsız değişken),  

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + \varepsilon \quad (4)$$

olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. (Orhunbilge 2002, 5-12)

#### 4.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insanın biyolojik yapısından esinlenerek oluşturulan ve beynin bilgiyi işleme sürecini taklit eden bilgisayar programlarıdır (Agatonovic-Kustrin ve Beresford 2000, 717). Yapay sinir ağları üç katmandan oluşur; (i)girdi katmanı, (ii)bir ya da birden fazla gizli katman, ve (iii)çıkıttı katmanıdır. Bir nöron girdisi, başka bir nöronun çıktısıdır. Çıktılar “sinaps” adı verilen bağlantılarla iletilir. “Sinaptik bağlantı kuvvetleri” ağırlık olarak adlandırılan sayısal değerlerle gösterilir.  $j$ . nörona  $i$ . nöron tarafından sinyal gönderildiğinde, gönderilmiş olan sinyal  $i$ . sinapsin ağırlığıyla çarpılır.  $x_i$ ,  $i$ . nöronun çıktısını temsil eder.  $j$ . nöronda bulunan ağırlıklandırma işleminden geçen girdiler  $w_{ji}x_i$  nöronunda bulunan işlemci eleman sayesinde toplanır. “Aktivasyon” olarak adlandırılan bu toplam nöronun iç durumunu göstermektedir. Eğer toplam pozitif ise; “aktive olmuş nöronu”, negatif ise “kapalı nöronu” temsil etmektedir. Bu adım da tamamlandıktan sonra nöron tarafından çıktının belirlenmesi için “sinyal transfer fonksiyonları” uygulanır (Kaya vd. 2005, 93). Şekil 5’te bir tane gizli katmana sahip bir yapay sinir ağı mimarisi bulunmaktadır.



Şekil 5. Bir Adet Gizli Katmandan Oluşan Yapay Sinir Ağı Mimarisi

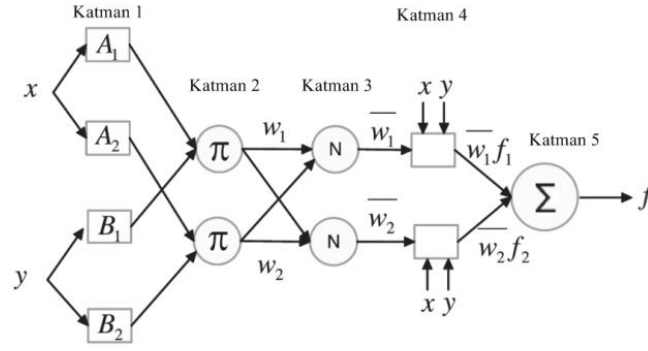
“Aktivasyon fonksiyonları” yapay sinir ağından nöronun çıkış değerini istenen sınır değerleri arasında tutar. Bu sınır değerleri genellikle  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  arasındadır. Yüksek öğrenme kapasitesi ve basit algoritması sebebiyle “geriye yayılma algoritması”, birçok alanda kullanılan ve en çok tercih edilen öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma gradyan azalma tekniğini kullanarak gerçek çıktı  $y$  ve istenen çıktı  $d$  arasındaki karesel hatayı minimum yapar. Hata değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Kaya vd. 2005, 93)

$$E = \frac{1}{2} [\sum_p \sum_k (d_{pk} - y_{pk})^2]^{1/2} \quad (5)$$

$E$  ortalama karesel hatayı (MSE),  $d_{pk}$  istenen çıktı vektörünü ve  $y_{pk}$  gerçek çıktı vektörünü temsil eder.  $E$  değeri sıfıra ne kadar yakın olursa, ağı o kadar iyi eğitilmiş demektir (Caner ve Akarslan 2009, 224).

#### 4.3. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

Jang(1993) tarafından geliştirilmiş olan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yapay sinir ağları ve bulanık mantığın özelliklerini içinde barındıran melez bir yapay zekâ yöntemidir. ANFIS, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kurallarını kullanarak oluşturduğu bilgi çiftlerini, yapay sinir ağları öğrenme algoritmaları ile eğitmeye dayanmaktadır. Şekil 6’da birinci dereceden iki girişli bir ANFIS yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6. Birinci Dereceden İki Girişli ve İki Kurallı ANFIS Yapısı

ANFIS yönteminin katmanları aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır (Caner ve Akarslan 2009, 223);

1. *Katman:* Adaptif bağlantı uçları (node) girdi değişkenleri tarafından oluşturulur. Bu sebeple girdi değişkeninin sayısı bağlantı ucu sayısı ile aynıdır. Bağlantı ucu fonksiyonu girdi değişkeninin üyelik fonksiyonları tarafından belirlenir. “Öncül parametreler” ise üyelik fonksiyonunun parametreleridir.
2. *Katman:* Bağlantı uçlarının karakteri sabittir ve kural sayısı ile bağlantı ucu sayısı eşittir. Kuralların öncül kısmında bulunan değişkenlerin “üyelik fonksiyon değerleri” bağlantı uçlarının girdileri, bağlantı uçlarının çıktıları ise “kuralların ağırlık değerleri”dir.
3. *Katman:* Bu katmanda kuralların ağırlıkları normalize edilir. Kuralların ağırlık değerleri, bağlantı uçlarının girdilerini oluşturur. Bağlantı uçlarının çıktıları normalizasyon uygulanmış olan ağırlık değerlerini verir.
4. *Katman:* Bu katmandaki bağlantı uçları adaptifdir. Sugeno tipi sistem için bağlantı ucu fonksiyonu, herhangi bir mertebededir. Model parametrelerinin adı bu katmanda “berraklaştırma” olarak adlandırılır.
5. *Katman:* Bir adet bağlantı ucundan oluşan bu katmanın çıktısı kesin (crisp) karakterdeki model çıktısıdır.

Öncül ve sonuç parametreleri, ANFIS yapısının parametrelerini oluşturur. Eğitim verileri, yapay sinir ağına tanıtıldıktan sonra seçilen bir eğitim algoritması ile sistem fonksiyonel girdi-çıkı etkileşimini olabilecek en düşük hata düzeyinde öğrenir. Eğitim verilerinin çıktısı ile modelin çıktısı arasındaki farkın kareler toplamı hata fonksiyonunun değerini oluşturur. Bu hata fonksiyonunun olabilecek en minimum düzeyi yani parametrelerin optimumu sağladığı değerlerin bulunması hedeflenir (Caner ve Akarslan 2009, 223).

## 5. UYGULAMA

Çalışmada, hava yolu taşımacılığında yolcu talebini tahmin edebilmek için öncelikle literatürde kullanılan metotlar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda ekonometrik ve yapay zekâ metotlarının en çok tercih edilen metotlar olduğu görülmüştür. Sonrasında, yolcu talebine etki eden faktörler derlenmiş ve gerekli veriler toplanmıştır. Faktörler korelasyon analizine tabi tutulup anlamsız bulunanlar elenmiştir. Anlamlı bulunan faktörlere sahip veriler ile ekonometrik bir metot olan regresyon analizi ve yapay zekâ metotları karşılaştırılmıştır.

Hava yolu talebini etkileyen faktörler çok karmaşıktır. Her bir faktör hava yolu talebini arttıran ya da azaltan elementlerden oluşmaktadır. Bu faktörler dış ve iç faktörler olmak üzere ikiye ayrılır. Dış faktörler hava yolu firmasından bağımsız olarak nüfus, turizm olanakları gibi değişkenlerden oluşurken; iç faktörler, frekans sayısı, koltuk sayısı, hava yolu tipi gibi değişkenlerden oluşmaktadır.

Regresyon tekniği ile ANFIS ve yapay sinir ağı metotlarının karşılaştırılabilmesi için öncelikle hava yolu taşımacılığına etki eden faktörler belirlenmiştir. Literatür taraması sonucunda elde edilen ile bu çalışma için önerdiğimiz faktörler şunlardır; ithalat hacmi, ihracat hacmi (Abed vd. 2001), kişi başı milli gelir, koltuk sayısı, uçuş sıklığı, mesafe, nüfus, hava yolu tipi (Tretheway vd. 1992), havayolu özelliği, turizm rakamları ve yolcu sayısı. Uygulamamızın amacı iki nokta arasındaki yolcu sayısını olabildiğince düşük hata ile tahmin etmektir. Bu faktörlerin açıklamaları ve çalışmada kullanılan bir veri örneği Tablo 3’te gösterilmiştir. Örnek olarak THY’nin Milan uçuş noktasından gerçekleştirmiş olduğu uçuşa ait bir veri seti sunulmuştur.



Tablo 3. Faktörlerin Açıklamaları ve Çalışmada Kullanılan Bir Veri Örneği

Faktör (Birim)	Açıklama	Milan Uçuş Noktasına Ait Örnek Veri
İthalat hacmi (bin\$/yıllık)	Yolcunun uçuşa başladığı ülkeden, gittiği ülkeye yapılan yıllık ithalatı göstermektedir. <sup>1</sup>	859978
İhracat hacmi (bin\$/yıllık)	Yolcunun vardığı ülkeye, uçuşa başlamış olduğu ülkeden yapılan yıllık ihracatı göstermektedir. <sup>1</sup>	559863
Kişi başı milli gelir (\$)	Yolcunun uçuşa başladığı ülkenin sahip olduğu kişi başı milli gelir değeridir. <sup>2</sup>	34715
Koltuk sayısı (haftalık)	İlgili hava yolunun, ilgili noktalar arası yolculara arz etmiş olduğu haftalık koltuk sayısını temsil etmektedir. <sup>3</sup>	6050
Uçuş sıklığı (haftalık)	İlgili hava yolunun, ilgili noktalar arası gerçekleştirmiş olduğu haftalık uçuş sıklığına frekans denmektedir. <sup>3</sup>	35
Mesafe	İki ülke arasındaki mesafenin km cinsinden değeridir. <sup>3</sup>	1706
Nüfus	Yolcunun uçuşa başladığı şehrin nüfus sayısıdır. <sup>4</sup>	8123020
Havayolu tipi	THY veya Lufthansa gibi bilet fiyatları nispeten pahalı fakat birçok servisi ücretsiz olarak barındıran hava yolları “geleneksel hava yolu”, Ryanair veya Pegasus gibi bilet fiyatları ucuz fakat ek hizmetlerden ücret almakta olan hava yolları “düşük maliyetli hava yolu” olarak adlandırılmaktadır. Yolcunun tercih etmiş olduğu hava yolu geleneksel ise “0”, düşük maliyetli bir hava yolu ise “1” değeri verilmiştir.	0
Havayolu özelliği	Yolcunun tercih ettiği hava yolunun kendi ülkesine ait bir hava yolu olup olmadığını göstermektedir. Milli ise “0”, milli olmayan bir hava yolu ise “1” değeri verilmiştir.	0
Turizm rakamları (yıllık)	Yolcunun gitmekte olduğu ülkeye, bulunduğu ülkeden bir önceki yıl yolculuk etmiş olan yıllık yolcu sayısıdır. <sup>1</sup>	697360
Yolcu sayısı (aylık)	İki nokta arasında ilgili hava yolu ile seyahat eden aylık yolcu sayısını temsil etmektedir. Çalışmamızda bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. <sup>5</sup>	11165

<sup>1</sup> İlgili veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’nden elde edilmiştir.  
<sup>2</sup> İlgili veriler Central Intelligence Agency, “The World Factbook” <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html> sitesinden alınmıştır.  
<sup>3</sup> İlgili veriler THY veri tabanından elde edilmiştir.  
<sup>4</sup> İlgili veriler World Atlas, “World’s Largest Cities” <http://www.worldatlas.com/citypops.htm> sitesinden alınmıştır.  
<sup>5</sup> İlgili veriler Direct Data Solutions adlı firmadan ve THY veri tabanından elde edilmiştir.

Turizm rakamları ve havayolu özelliği bu çalışma için tarafımızca eklenmiştir. Belirlenen faktörlere ait veriler ile 20 nokta ve 16 havayolu göz önüne alınarak İstanbul Atatürk Havalimanı’na varacak olan yolcu sayısı bilgileri toplanmıştır. Sonuç olarak 517 (47 X 11) adetlik veri ile bir matris oluşmuştur. Tüm faktörler, SPSS yazılım uygulaması ile korelasyon analizine tabi tutulmuş ve yolcu sayısı ile ilişkisi ölçümlenmiştir (Tablo 4). 10 faktörden 7’si yolcu sayısı ile ilişkili çıkmıştır. Bu faktörler: ithalat, ihracat, frekans, koltuk sayısı, turizm rakamları, nüfus ve hava yolu tipi olmuştur.

Tablo 4. Korelasyon Analizi

Korelasyonlar										
Pearson Korelasyon	İthalat	İhracat	Kişi Başlı Milli Gelir	Frekans	Koltuk Sayısı	Mesafe	Turizm Rakamları	Nüfus	Havayolu Özelliği	Havayolu Tipi
<i>YOLCU SAYISI</i>	0.303*	0.322*	0.079	0.807*	0.853*	0.099	0.291*	0.397*	-0.137	-0.466*

\*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Uygulanan metotların daha başarılı şekilde sonuç verebilmesi için bu verilere normalizasyon işlemi uygulanmıştır. *min*: satır minimumu ve *max*: satır maksimumu olmak üzere 1. satır ve 1. sütundaki bir verinin normalizasyonu aşağıda detayları verilen formül ile elde edilmiştir.

$$y_{11}normalize = 0,8 * \left( \frac{(y_{11}-min)}{(max-min)} \right) + 0,1 \quad (6)$$

Tablo 5'deki verinin normalize edilmiş hali aşağıdaki gibidir;

Tablo 5. Normalize Edilmiş Bir Veri Örneği

<i>Faktör</i>	<i>Normalize Edilmiş Veri</i>
Pazar	MIL-TK
İthalat (bin\$)	0,45767
İhracat (bin\$)	0,45917
Frekans (Haftalık)	0,55091
Koltuk Sayısı	0,46360
Turizm rakamları	0,19909
Nüfus	0,36334
Havayolu tipi	0,10000
Yolcu sayısı	0,44488

### 5.1. Regresyon Analizi ile Yolcu Talep Tahmini

Çoklu regresyon analizi için öncelikle korelasyon analizinde anlamlı çıkan faktöre ait normalize edilmiş veriler, SPSS yazılım ortamına aktarılmış ve regresyon modülü kullanılarak bağımlı-bağımsız değişkenler belirlenerek bir matematiksel model ortaya çıkarılmıştır.

Regresyon analizinin sonucuna göre faktörler, bağımlı değişken olan yolcu sayısı değişimini %80 oranında açıklamaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. Çoklu Regresyon Model Özeti

<i>Model</i>	<i>R</i>	<i>R Kare</i>	<i>Düzeltilmiş R Kare</i>	<i>Standart Sapma</i>
1	,899(a)	,808	,766	,084756

ANOVA(varyans analizi) tablosunun anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin  $p < 0,05$  düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (Tablo 7).

Tablo 7. ANOVA (b) Tablosu

<i>Model</i>	<i>Karelerin Toplamı</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Karelerin Ortalaması</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i>
1 Regresyon	,965	7	,138	19,188	,000(a)
Artık	,230	32	,007		
Toplam	1,195	39			

*a Bağımsız Değişkenler: (Sabit), Havayolu tipi, Turizm rakamları, Nüfus, İhracat, Frekans, İthalat, Koltuk sayısı*  
*b Bağımlı Değişken: Yolcu sayısı*

Katsayılar tablosundaki değerler, regresyon denkleminde kullanılacak regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Katsayılar (a)

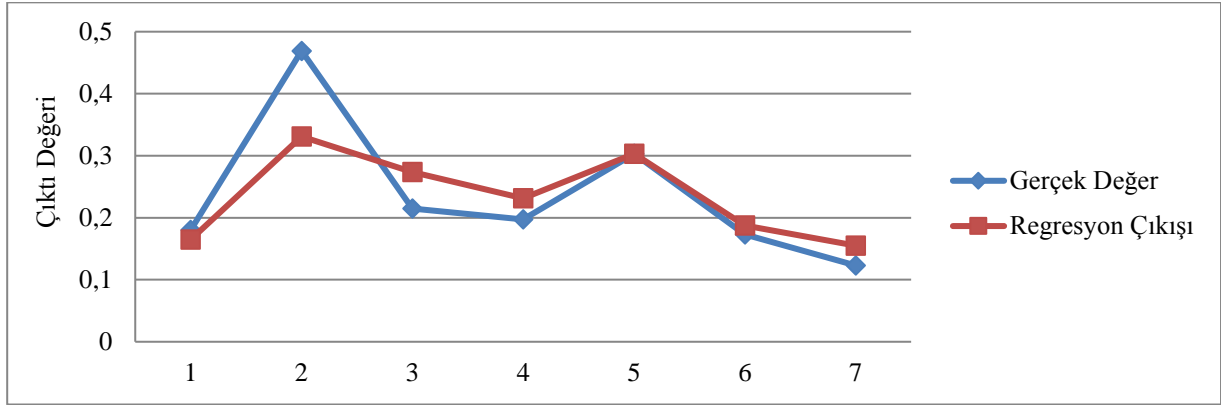
<i>Model</i>		<i>Standardize Edilmemiş Katsayılar</i>		<i>T</i>		<i>Anlamlılık</i>	
		<i>B</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>B</i>	<i>Standart Hata</i>		
1	(Sabit)	-,042	,048	-,883	,384		
	İthalat	-,035	,107	-,331	,713		
	İhracat	,150	,085	1,769	,086		
	Frekans	-,113	,256	-,443	,661		
	Koltuk sayısı	,844	,277	3,051	,005		
	Turizm rakamları	,082	,096	,855	,399		
	Nüfus	,083	,086	,971	,339		

	Havayolu tipi	-,013	,043	-,304	,763
<i>a</i> Bağımlı Değişken: Yolcu sayısı					

Tablodaki katsayı değerleri regresyon modeli haline getirildiğinde Denklem (7) elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Yolcu sayısı} = & -0,042 - 0,035 * \text{Ithalat} + 0,15 * \text{Ihracat} - 0,113 * \text{Frekans} + 0,844 * \\ \text{Koltuk sayısı} & + 0,082 * \text{Turizm rakamları} + 0,083 * \text{Nüfus} - 0,013 * \text{Havayolu tipi} \end{aligned} \quad (7)$$

Bu çalışmada, korelasyon analizi sonucunda belirlenen faktörlere bağlı olarak 47 X 8 adetlik verinin %85'i eğitim, %15'i test verisi olacak şekilde ayrılmıştır. Bu eşitlik ile test değerlerini denendiğinde 0.06'lık RMSE (ortalama hata kareleri kökü) hata değeri elde edilir. Şekil 7'de gerçek değerler ile regresyon analizi sonucu elde ettiğimiz değerler gösterilmektedir. İlgili grafikte görüldüğü üzere regresyon analizi sonucu bazı değerler %100'e yakın derecede test değerleri ile uyuşsa da, bazı değerlerde %50'ye yakın sapmalar görülmektedir.

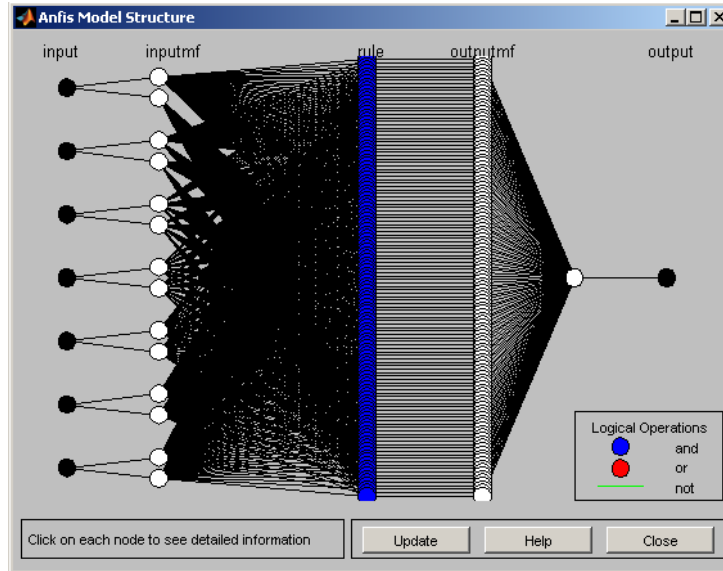


Şekil 7. Test Değerleri ile Regresyon Sonucu Elde Edilen Değerler

## 5.2. ANFIS ile Yolcu Talep Tahmini

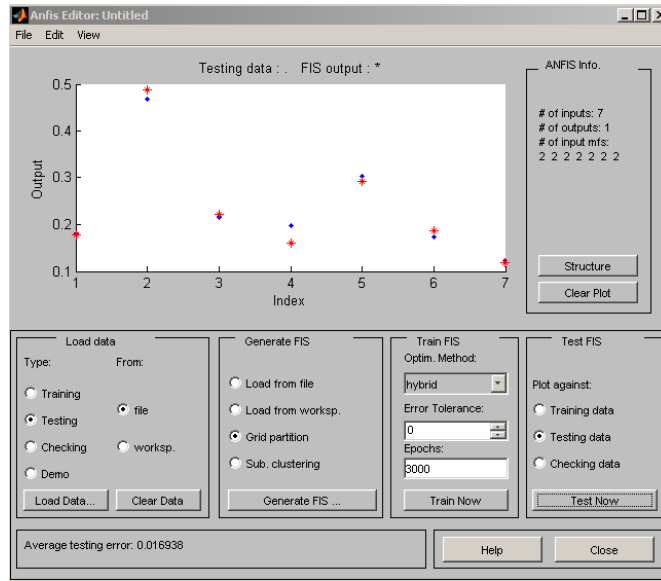
ANFIS yöntemi ile tahmin çalışmasının yapılması için MATLAB yazılım paketinin *Fuzzy Logic Toolbox* modülü kullanılmıştır. Bu modül sayesinde eğitim ve test verileri tanımlanıp farklı model yapıları ve fonksiyonları ile ANFIS metodu uygulanabilmektedir. Bu denemelerde, herhangi bir havaalanından İstanbul Atatürk Havalimanı'na olan yolcu sayısı verileri kullanılmış ve tahmin edilmeye çalışılmıştır. İlgili ülkenin nüfusu, turizm rakamları, o ülkeyle olan ithalat ve ihracatımız, ilgili hava yolunun frekansı, tipi ve koltuk sayısı gibi talebe etkileyen verileri kullanılarak yolcu sayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Yine aynı şekilde talep tahmini çalışmasında elde bulunan 47 X 8 adetlik verinin %85'i eğitim, %15'i test verisi olacak şekilde ayrılmıştır. Korelasyon analizi sonrasında "yolcu sayısı" ile ilişkili olan faktörler girdi, yolcu sayısı değeri de çıktı olarak sisteme eklenmiştir. Veriler sisteme tanıtılarak bulanık çıkarım sistem (FIS) modelini oluşturmak üzere üyelik fonksiyonu adetleri ve fonksiyonları arasında çeşitli kombinasyonlar test edilmiştir. Uygulamada oluşturulan ANFIS model yapısı Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. ANFIS Model Yapısı

Eğitimde tanıtılan veriler ağa giriş olarak verildiğinde çıkış değerlerinin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmüştür. Sisteme daha önceden tanıtılmamış veriler ile test yapıldığında gerçek değerler ve test setinden tahmin edilen değerler arasındaki fark Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 9’da ANFIS metodu ile elde edilen değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 9. En Düşük Hata Değerine Sahip Olan Denemenin Ekran Görüntüsü

Yapılan çeşitli kombinasyonlar sonucunda en düşük hata değerini veren deneme, 0.01694 RMSE hata değeri elde edilen *grid partition* (ızgara bölümleme) yapısına ve *trimf* üyelik fonksiyona sahip deneme olmuştur (Tablo 9).

ANFIS metodu ile gerçekleştirilen denemelere ait en düşük test hatası değerlerini veren kombinasyonlar Tablo 9 ve Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 9. *Grid Partition* (Izgara Bölümleme) Yapısı ile Gerçekleştirilen Denemeler

FIS Yapısı	Üyelik Fonksiyonu	Üyelik Fonksiyon Adetleri	Optimizasyon Metodu	Eğitim Hatası	Test Hatası
<b>Grid Partition</b>	<b>trimf</b>	<b>2 2 2 2 2 2 2</b>	<b>Hibrit</b>	<b>1.2E-03</b>	<b>0.01694</b>
Grid Partition	gaussmf	2 2 2 2 2 2 2	Geri Yayılım	3.5E-02	0.034
Grid Partition	trapmf	2 2 2 2 2 2 2	Geri Yayılım	2.7E-02	0.036
Grid Partition	pimf	2 2 2 2 2 2 2	Geri Yayılım	2.7E-02	0.036

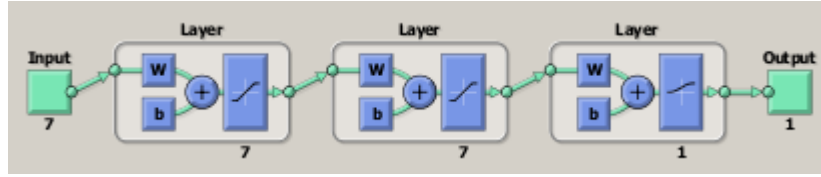
Grid Partition	gbellmf	2 2 2 2 2 2	Hibrit	3.0E-04	0.045
----------------	---------	-------------	--------	---------	-------

Tablo 10. *Sub Clustering (Eksiltici Kümeleme)* Yapısı ile Gerçekleştirilen Denemeler

FIS Yapısı	Etki Aralığı	Squash Faktörü	Kabul rasyosu	Ret Rasyosu	Optimizasyon metodu	Eğitim Hatası	Test Hatası
Sub Clustering	0.75	1.5	0.6	0.3	Geri Yayılım	5.7E-02	0.035
Sub Clustering	0.7	1.75	0.7	0.25	Geri Yayılım	5.9E-02	0.037
Sub Clustering	0.2	0.75	0.25	0.05	Hibrit	8.7E-06	0.043
Sub Clustering	0.1	0.25	0.1	0.03	Hibrit	2.4E-07	0.045
Sub Clustering	0.5	1.25	0.5	0.15	Hibrit	3.9E-04	0.046

### 5.3. Yapay Sinir Ağları Metodu ile Yolcu Talep Tahmini

YSA metodu için eğitim ve test verileri Matlab yazılım ortamına aktarılmış ve uygulama için gerekli kodlamalar oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı yapısındaki gizli katman sayıları, bu katmanlardaki nöron sayıları, katmanların aktivasyon fonksiyonu,  $\alpha$  öğrenme oranı ve momentum katsayılarının belirlenebilmesi için deneme yanılma metodu kullanılarak çeşitli kombinasyonlar denenmiş, en düşük hatayı veren parametreler elde edilmiştir. En başarılı sonucu veren deneme, 7 nörondan oluşan giriş katmanı, 2 adet 7 nörondan oluşan gizli katman ve 1 nörondan oluşan çıkış katmanına sahip olan yapay sinir ağıdır. Bu denemenin RMSE (Root-Mean-Squared-Error) hata değeri 0.01629'dur. En düşük hata değerini elde ettiğimiz denemenin ağ yapısı Şekil 10'da verilmiştir.



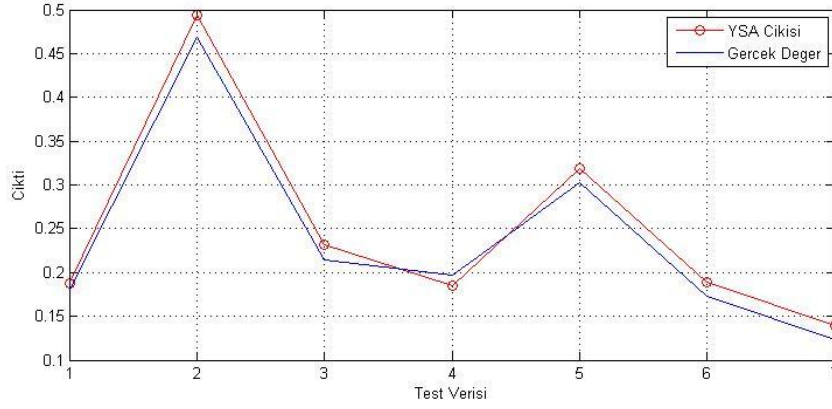
Şekil 10. En Başarılı Sonucu Veren Yapay Sinir Ağı Mimarisi

En başarılı sonucu veren kombinasyonda transfer fonksiyonları *satlin* ve çıkış fonksiyonu *logsig* olarak belirlenmiştir. Denemelerden en başarılı olanlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. YSA Kombinasyonları ile Gerçekleştirilen Denemeler

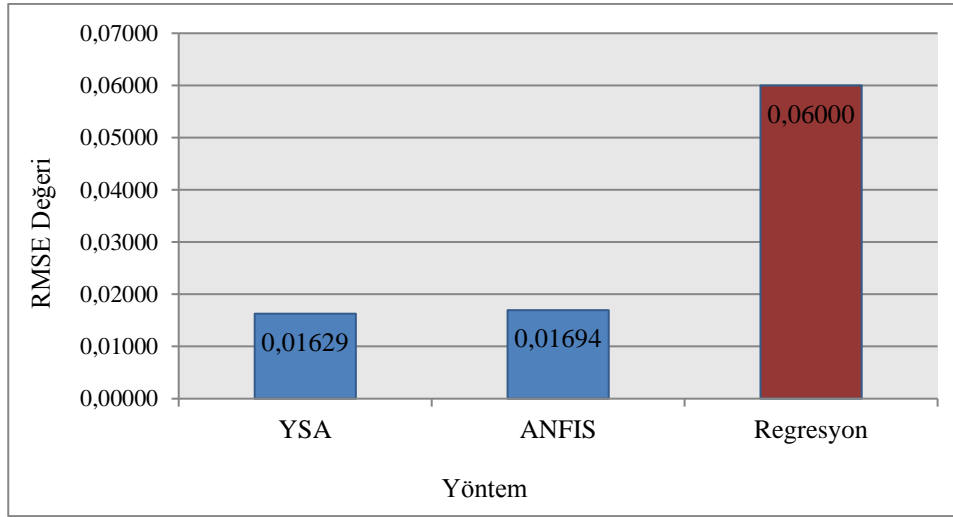
Komut	$\alpha$ öğrenme oranı	Momentum Katsayısı	Transfer Fonksiyonu 1	Gizli Katman Nöron Sayısı	Transfer Fonksiyonu 2	Çıkan Hata Oranı	Test Sonuçları	RMSE (Hata Değerleri)
Newff	0.9	0	satlin/satlin	7/7	logsig	2.67E-05	BAŞARILI	0.01629
Newff	0.5	0	satlin/satlin	7/7	logsig	3.42E-03	BAŞARILI	0.02160
Newff	0.9	0	radbas	7	radbas	3.00E-05	BAŞARILI	0.04970
Newff	0.9	0.5	tansig/tansig	7/7	logsig	2.00E-07	BAŞARILI	0.08880
Newrb	0.3	0.72				2.00E-25	BASARISIZ	
Newff	0.5	0.2	tansig/tansig	7/7	logsig	1.80E-13	BASARISIZ	

En başarılı olan kombinasyonun gerçek veri ile karşılaştırılmış hali Şekil 11'de gösterilmiştir. Yapay sinir ağının genel olarak test verisine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 11. Test Değerleri ile YSA Sonucu Elde Edilen Değerler Arasındaki Fark

Sonuç olarak üç metot karşılaştırıldığında yapay zekâ metotlarından yapay sinir ağları ve ANFIS'in benzer hata değerleri verdiğini, ekonometrik modellerden biri olan regresyon analizinin ise en yüksek hata değerini verdiğini belirlenmiştir (Şekil 12). Bu sonuçlarla yapay zekâ metotlarının, ekonometrik modellere göre hava yolu yolcu talebini tahmin etmede daha başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 12. YSA, ANFIS ve Regresyon Metotlarının Test Hata Değerlerinin Karşılaştırılması

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, hava yolu taşımacılığında tahminin önemi anlatılarak yolcu talebinin yapay zekâ teknikleri ve regresyon metodu kullanılarak tahmini ve karşılaştırılması konusuna yer verilmiştir. Çalışmada literatürdeki çalışmalardan da faydalanılarak yolcu sayısına etki eden faktörler belirlenmiştir. Faktörler arasındaki ilişkileri test etmek ve modelleme aşamasında kullanılacak olanları belirlemek amacıyla korelasyon analizi kullanılmıştır. Faktörlerden ilişkili çıkanlar ile bu faktörlere ait veriler toplanarak YSA, ANFIS ve regresyon metotları ile çeşitli denemeler yapılmış, yolcu sayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle sisteme verilerin bir kısmı tanıtılmış sonrasında sisteme tanıtılmamış veriler ile test edilmiştir. Regresyon metodu ile 0.06'lık RMSE hatası, ANFIS metodu ile 0.01694'lük RMSE hatası, YSA yöntemi kullanıldığında ise 0.01629'lük RMSE hata değeri elde edilmiştir. Şekil 12'deki test hata değerleri karşılaştırıldığında özellikle yapay zekâ metotları olan YSA ve ANFIS metotlarının ekonometrik bir model olan regresyona göre çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Veri sayısı kısıtlı olmasına rağmen hata değerlerinin oldukça düşük olduğu söylenebilir.

Korelasyon analizi sayesinde havayolu firmalarının frekans ile koltuk sayılarını artırarak pazar paylarını arttırabilecekleri görülmüştür. Ayrıca düşük maliyetli havayollarının, geleneksel havayollarına kıyasla fiyat avantajı sayesinde daha çok yolcu taşıdığı belirlenmiştir. İthalat ve ihracat rakamlarının anlamlı çıkması sayesinde iki ülke arasındaki ticari ilişkinin, talebi etkileyen önemli bir unsur olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde daha önce kullanılmamış

olan ve bu çalışmada önerilen “Turizm Rakamları” ve “Havayolu Özelliği” faktörleri korelasyon analizine tabi tutularak yolcu sayısı ile ilişkileri incelenmiştir.

Bu çalışma ile hava yolları yolcu talebini etkileyen faktörler değerlendirilerek gelecek hakkında öngörülerde bulunulmuştur. Pratikte havayolları firmalarına planlama aşamasında yol göstermesi hedeflenen bu analize farklı faktörler eklenebilir. Son yıllarda özellikle ekolojik dengeye önem verilmekte ve sürdürülebilirlik konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin Avrupa ve Amerika’da uygulanmaya başlayan karbon emisyonu vergisinin talep üzerinde etkileri olduğu tespit edilmiştir (Pagoni ve Psaraki-Kalouptsidi, 2016). Gelecek çalışmalar için gerçek zamanlı ücret verilerinin veya sürdürülebilirlik faktörlerinin eklendiği bir analiz yapılarak yolcu trafiğini etkileyen durumlar detaylandırılabilir.

## KAYNAKÇA

- Abed, S. Y., Ba-Fail, A. O., & Jasimuddin, S. M. 2001. An econometric analysis of international air travel demand in Saudi Arabia. *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 143-148.
- Agatonovic-Kustrin, S., and R. Beresford. "Basic Concepts of Artificial Neural Network (ANN) Modeling and Its Application in Pharmaceutical Research." *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 22, no. 5 (2000): 717-27.
- AIRBUS. "Global Market Forecast 2016-2035 | Airbus, a Leading Aircraft Manufacturer." AIRBUS.com. 2015. Erişim Tarihi Ekim 08, 2016. <http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID>.
- Ba-Fail, A. O., Abed, S. Y., & Jasimuddin, S. M. 2000. The determinants of domestic air travel demand in the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Air Transportation World Wide*, 5(2), 72-86.
- Bağırkan, Şemsettin 1982. İstatistiksel Analiz, İstanbul: Önsöz Basım ve Yayıncılık.
- Blinova, T. O. 2007. Analysis of possibility of using neural network to forecast passenger traffic flows in Russia. *Aviation*, 11(1), 28-34.
- Boeing. "Traffic and Market Outlook." BOEING.com. 2016. Erişim Tarihi Ekim 8, 2016. <http://www.boeing.com/commercial/market/long-term-market/traffic-and-market-outlook/>.
- Caner, Murat, and Emre Akarslan. "Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS Ve YSA Yöntemleri İle Tahmini." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2, no. 15 (April 2009): 221-26.
- Chen, Jui-Chi. Forecasting Method Applications to Recreation and Tourism Demand. Doktora Tezi, 2000.
- Çağlar, Tarık. "Talep Tahmininde Kullanılan Yöntemler ve Fens Teli Üretimi Yapan Bir İşletmede Uygulanması." Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2007.
- DDS. "Direct Data Solutions". Erişim Tarihi Şubat 14, 2017. <https://dds.diiio.net>
- DHMI. "Sektör Raporu 2014." 2015. Erişim Tarihi Ekim 07, 2016. [www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=14&dosyaID=2009](http://www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=14&dosyaID=2009).
- DHMI. "Uçak, Yolcu Ve Yük Serisi Tahminleri." DHMI.gov.tr. October 2016. Erişim Tarihi Ekim 08, 2016. <http://www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=14&dosyaID=1049>.
- Doganis, R. 2009. *Flying Off Course IV: Airline Economics and Marketing*. Routledge.
- Eurocontrol. "Eurocontrol Seven-Year Forecast February 2016." EUROCONTROL.int. 2016. Erişim Tarihi Ekim 09, 2016. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/forecasts/seven-year-flights-service-units-forecast-2016-2022-Feb2016.pdf>.
- Jang, J. S. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- IATA. "IATA Annual Review 2016." IATA.org. 2016. Erişim Tarihi Ekim 9, 2016. <https://www.iata.org/publications/Documents/iata-annual-review-2016.pdf>.
- ICAO. "Air Transport, Passengers Carried." Worldbank.org. Erişim Tarihi Ekim 9, 2016. <http://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR>.
- Karahan, Mehmet. "İstatistiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları İle Ürün Talep Tahmini Uygulaması." Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2011.
- Karlaftis, Matthew G. 1994. Critical Review and Analysis of Air-Travel Demand. Computational Models, Software Engineering, and Advanced Technologies in Air Transportation, 71-87.
- Kaya, İ., Oktay, S., & Engin, O. 2005. kalite kontrol problemlerinin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1-2), 92-107.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. 1998. Forecasting methods and applications. John Wiley & Sons.
- Orhunbilge, N. 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını, No: 281, 5-12.
- Pagoni, I., Psaraki-Kalouptsidi, V. 2016. The impact of carbon emission fees on passenger demand and air fares: A game theoretic approach. *Journal Of Air Transport Management*, 55, 41-51.
- Sarames, G. N. 1972. World Air Travel Demand, 1950-1980.
- Song, H., & Li, G. 2008. Tourism demand modelling and forecasting—A review of recent research. *Tourism Management*, 29(2), 203-220.
- TOBB, "Türkiye Sivil Havacılık Meclisi Sektör Raporu." June 2014. Erişim Tarihi Ekim 4, 2016. <http://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2014/TurkiyeSivilHavacilikSektorRaporu.pdf>.
- Transport. "İşte Türk Sivil Havacılığının Fotoğrafi." UTIKAD.org.tr. 2012. Erişim Tarihi Ekim 9, 2016. <http://www.utikad.org.tr/haberler/?id=10034>.
- Tretheway, M. W., & Oum, T. H. 1992. *Airline economics: foundations for strategy and policy*.
- TÜİK, İ. G. 2014. Göstergeler 1923-2013.
- Turkish Airlines. "Tarihçe." Erişim Tarihi Şubat 14, 2017. <http://www.turkishairlines.com/tr-tr/kurumsal/tarihce>
- World Economic Forum. "The Travel & Tourism Competitiveness Report 2015." WEFORUM.com. Erişim Tarihi Ekim 23, 2016. [http://www3.weforum.org/docs/TT15/WEF\\_Global\\_Travel](http://www3.weforum.org/docs/TT15/WEF_Global_Travel).



*Literatür Araştırması bölümünde yer alan kaynaklar şu adreste yer almaktadır:*  
<https://www.docdroid.net/IBP2HO0/literatur-taramasi.pdf.html>