2016

YAEM

TARIM VE GIDA DEĞER ZİNCİRLERİNDE YÖNEYLEM ARAŞTIRMALARI VE ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ÖZEL SAYISI

JOURNAL OF YAŞAR UNIVERSITY - JOY

Special Issue / Özel Sayı

October 2017 / Ekim 2017

Volume: 12 / Cilt: 12

ISSN 1305-970X

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

Editörden

Türkiye'nin en köklü, geniş katılımlı ve uzun soluklu bilimsel etkinliklerinden biri olan, Endüstri Mühendisliği ve Yöneylem Araştırması alanında çalışan çok değerli akademisyenleri, öğrencileri ve sektör temsilcilerini bir araya getiren Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 36. Ulusal Kongresi, 13-15 Temmuz 2016 tarihlerinde Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü tarafından İzmir'de organize edilmiştir. Ana teması "Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde YAEM" olan kongreye yurtiçi ve yurtdışından araştırmacılar 360'ın üzerinde değerli sunum ile katkı koymuştur.

Kongredeki sunumlar arasından seçilen çalışmalar Yaşar Üniversitesi'nin dergisi olan E-Journal of Yaşar University (Yaşar Üniversitesi E-Dergisi)'ne davet edilmiş, sonrasında titiz bir hakemlik sürecinden geçirilmiştir. Bu vesileyle hem YAEM 2016 Kongresi'ne ev sahipliği yapmış olmanın, hem de kongrede sunulmuş olan seçilmiş yayınlardan oluşan bu özel sayıyı dergimiz bünyesinde yayımlamanın mutluluğunu yaşadığımızı belirtiriz.

E-Journal of Yasar University dergisinin kırkyedinci sayısı olan bu özel sayıda dört makale yayımlanmaktadır. Afet lojistiği alanındaki çalışmalarıyla Hilal Aydın, Berk Ayvaz ve Emel Şeyma Küçükaşçı deprem açısından riskli bir ilimiz olan İstanbul'un Maltepe ilçesi için bir depo yeri seçimi modeli geliştirmişlerdir. Önerdikleri iki aşamalı modelin ilk adımında minimum sayıda yer belirlemek için küme kapsama modeli kullanmış, ikinci adımda ise p-medyan olarak modelledikleri problemde talep ağırlıklı mesafeleri enazlayarak bir afet depo yeri önermişlerdir. Tuğba Efendigil ve Ömer Emin Eminler tarafından hazırlanan çalışma havacılık sektöründe yolcu talebi tahmini üzerinedir. Bu amaçla yazarlar Yapay Sinir Ağları ve Regresyon modellerini karşılaştırmışlar ve yolcu talebi tahminlemesi dışında hava yolu yolcu talebini etkileyen faktörleri de bulmaya çalışmışlardır. İstanbul'daki acil servis birimlerinin etkinliğini değerlendiren bir diğer çalışmada Melis Almula Karadayı, Yeliz Ekinci, Can Akkan ve Füsun Ülengin kategorik veri zarflama analizi tekniğini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda İstanbul'da yer alan seçilmiş acil servis birimlerinin etkinlik skorları bulunmuştur. Son olarak İlkay Saraçoğlu ve Hakan Ayhan Dağıstanlı'ya ait makalede bulanık-AHP ve Vikor yöntemleri kullanılarak bir bağlantı elemanları firmasında tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu özel sayıya katkıda bulunan akademisyenlerimize, değerlendirme sürecinde yer alarak değerli vakitlerini ayıran hakemlerimize, 36. YAEM Kongresi'ni büyük emeklerle düzenleyen Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün tüm çalışanlarına, yardımları için Yaşar Üniversitesi E-Dergisi Editörü Sayın Doç. Dr. Meltem İnce Yenilmez'e, ve bizlere bu imkanı sağlayıp desteklerini esirgemeyen Yaşar Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Mehmet Cemali Dinçer'e teşekkür ederiz.

YAEM 2016 Program Komitesi ve E-Journal of Yasar University adına

Doç. Dr. Deniz TÜRSEL ELİİYİ

Yrd. Doç. Dr. Özgür KABADURMUŞ

Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

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 itibariyle 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 tanımıştır (TOBB 2014).

2. Havacılık Sektöründe Talep Tahmininin Önemi

Hava yolu firmaları, yolcu talebinin doğuracağı servisin tedariğini 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 itibariyle 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 İtibari İle Yolcu Trafiği Artış Öngörüleri

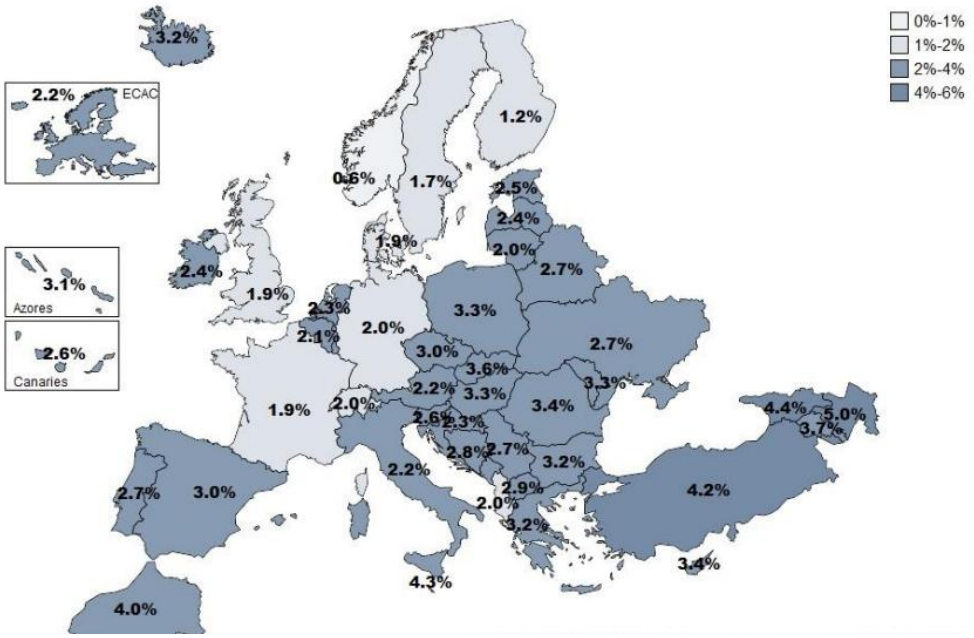
Yıllar		2015	2016	2017	2018	2019
Yolcu	*İç Hat*	97,485,961	101,547,620	109,834,707	119,560,600	127,265,543
	Dış Hat	83,869,800	81,691,805	95,344,222	104,046,753	110,937,195
	Yolcu Trafiği	181,355,761	183,576,525	205,603,454	224,100,348	238,661,223
Artış (%)	*İç Hat*	14%	4%	8%	9%	6%
	Dış Hat	4%	-3%	17%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

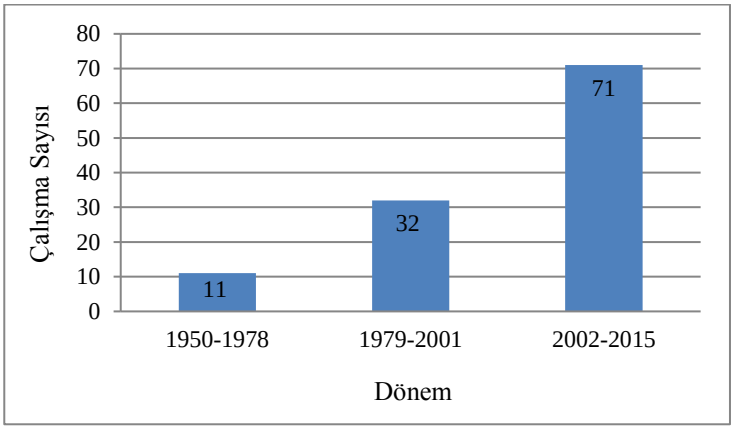
Kaynak: (Eurocontrol 2016)

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).

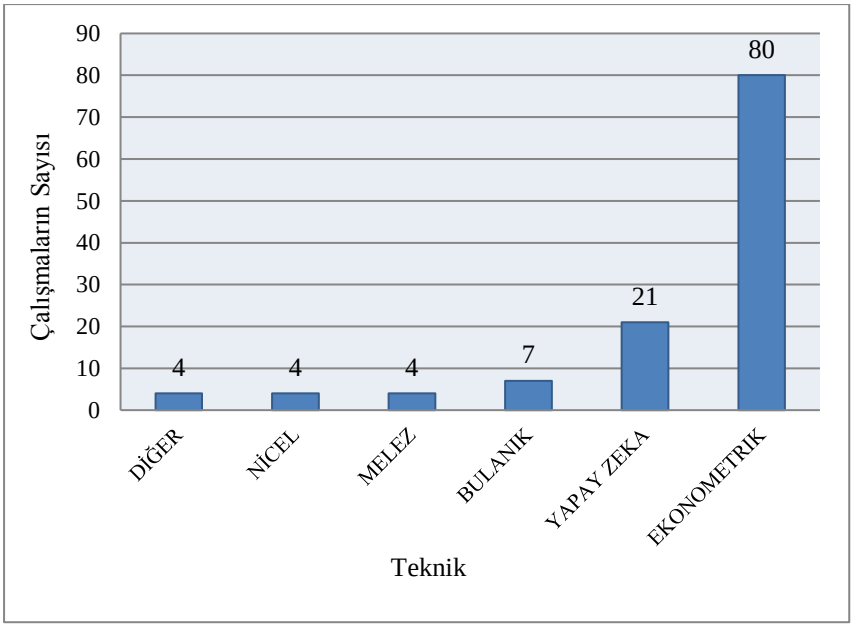
Bu çalışmada 1950 ve 2015 yılları arasında hava yolu yolcu taşımacılığı alanındaki 114 adet makale incelenerek teknik, yıl ve ülke bazında değerlendirilmiştir. Çalışma süresince Science Direct, Research Gate, EBSCOhost, Google Scholar gibi birçok veri tabanı; "air transport demand forecasting", "demand 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

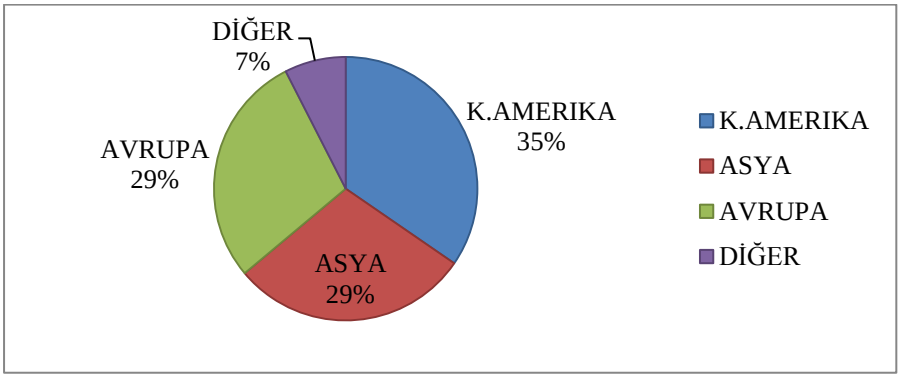
1950'li yıllarda Newton'un yer çekim yasasından esinlenerek oluşturulan gravity model kullanılarak hava taşımacılığında talep tahmini çalışmaları başlamıştır. Çalışmalarda 1980'li yıllara kadar büyük çoğunlukla regresyon analizi kullanılırken, sonrasında ise yine ekonometrik model olan logit ve otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) modelleri de tercih edilmeye başlamıştır. Zaman serileri modelleri içersinde 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 algoritmalardır. Ayrıca geleneksel regresyon tahmin metotlarında varsayımsal olarak bağlı ve bağlı 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; öğrenebilmesi 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 (Karahan 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 istatiksel 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,
  $$y = b_0 + b_1 x + \varepsilon \qquad (1)$$

- Eğrisel regresyon analizi,
  $$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \varepsilon \qquad (2)$$

Bağımsız değişken sayısına göre;

- Basit regresyon analizi (Bir adet bağımsız değişken),

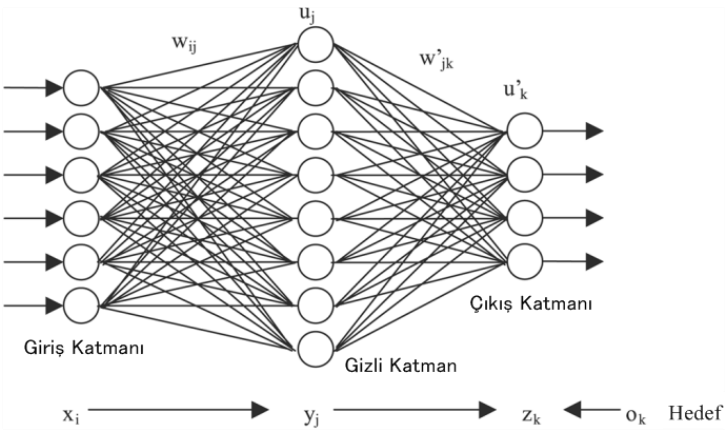
$$y = b_0 + b_1 x + \varepsilon \qquad (3)$$

- Çoklu regresyon analizi (İki veya daha fazla bağımsız değişken),
$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_n x_n + \varepsilon \qquad (4)$$

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*)çıktı 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

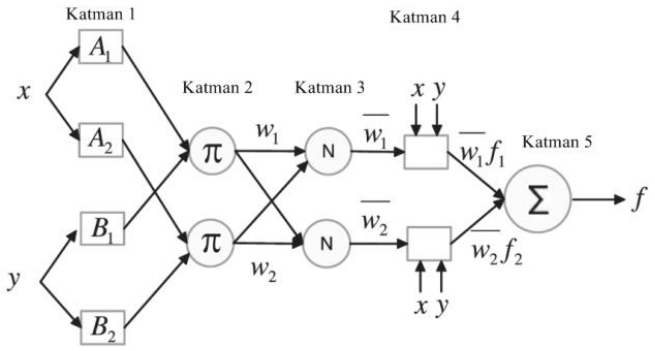
"Aktivasyon fonksiyonları" yapay sinir ağından nöronun çıkış değerini istenen sınır değerleri arasında tutar. Bu sınır değerleri genellikle [0,1] veya [-1,1] arasındadır. Yüksek öğrenme kapasitesi ve basit algoritması sebebiyle "geriye yayılma algoritması", birçok alanda kullanılan ve en çok tercih edilen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

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

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, ağ 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 mertebedendir. 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-çıktı 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$/yıllık)	Yolcunun uçuşa başladığı ülkeden, gittiği ülkeye yapılan yıllık ithalatı göstermektedir.[1]	859978
İhracat hacmi (bin$/yıllık)	Yolcunun vardığı ülkeye, uçuşa başlamış olduğu ülkeden yapılan yıllık ihracatı göstermektedir. [1]	559863
Kişi başı milli gelir ($)	Yolcunun uçuşa başladığı ülkenin sahip olduğu kişi başı milli gelir değeridir.[2]	34715
Koltuk sayısı (haftalık)	İlgili hava yolunun, ilgili noktalar arası yolculara arz etmiş olduğu haftalık koltuk sayısını temsil etmektedir. [3]	6050
Uçuş sıklığı (haftalık)	İlgili hava yolunun, ilgili noktalar arası gerçekleştirmiş olduğu haftalık uçuş sıklığına frekans denmektedir.[3]	35
Mesafe	İki ülke arasındaki mesafenin km cinsinden değeridir. [3]	1706
Nüfus	Yolcunun uçuşa başladığı şehrin nüfus sayısıdır.[4]	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.[1]	697360
Yolcu sayısı (aylık)	İki nokta arasında ilgili hava yolu ile seyahat eden aylık yolcu sayısını temsil etmektedir. Çalışmamızda bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. [5]	11165

[1] İlgili veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'ndan elde edilmiştir.
[2] İlgili veriler Central Intelligence Agency, "The World Factbook" https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html sitesinden alınmıştır.
[3] İlgili veriler THY veri tabanından elde edilmiştir.
[4] İlgili veriler World Atlas. "World's Largest Cities" http://www.worldatlas.com/citypops.htm sitesinden alınmıştır.
[5] 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 Başı Milli Gelir*	*Frekans*	*Koltuk Sayısı*	*Mesafe*	*Turizm Rakamları*	*Nüfus*	*Havayolu Özelliği*	*Havayolu Tipi*
YOLCU SAYISI	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.

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

Tablo 5'deki verinin normalize edilmiş hali aşağıdaki gibidir;

Tablo 5. Normalize Edilmiş Bir Veri Örneği

Faktör	*Normalize Edilmiş Veri*
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

Model	*R*	*R Kare*	*Düzeltilmiş R Kare*	*Standart Sapma*
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

Model		*Karelerin Toplamı*	*Serbestlik Derecesi*	*Karelerin Ortalaması*	*F*	*Anlamlılık*
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*)

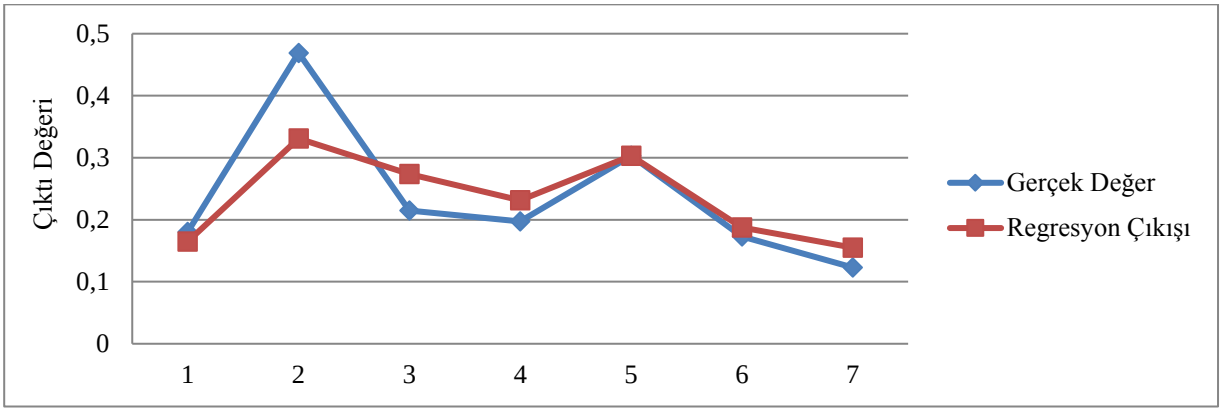
Model		*Standardize Edilmemiş Katsayılar*		*T*	*Anlamlılık*
		B	Standart Hata	B	Standart Hata
1	(Sabit)	-,042	,048	-,883	,384
	İthalat	-,035	,107	-,331	,713
	İhracat	,150	,085	1,769	,086
	Frekans	-,113	,256	-,443	,661
	Koltuk sayısı	,844	,277	3,051	,005
	Turizm rakamları	,082	,096	,855	,399
	Nüfus	,083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

	Havayolu tipi	-,013	,043	-,304	,763
a Bağımlı Değişken: Yolcu sayısı					

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

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

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 göründüğü üzere regresyon analizi sonucu bazı değerler %100'e yakın derecede test değerleri ile uyuşsa da, bazı değerlerde %50'ye yakın sapmalar görülmektedir.

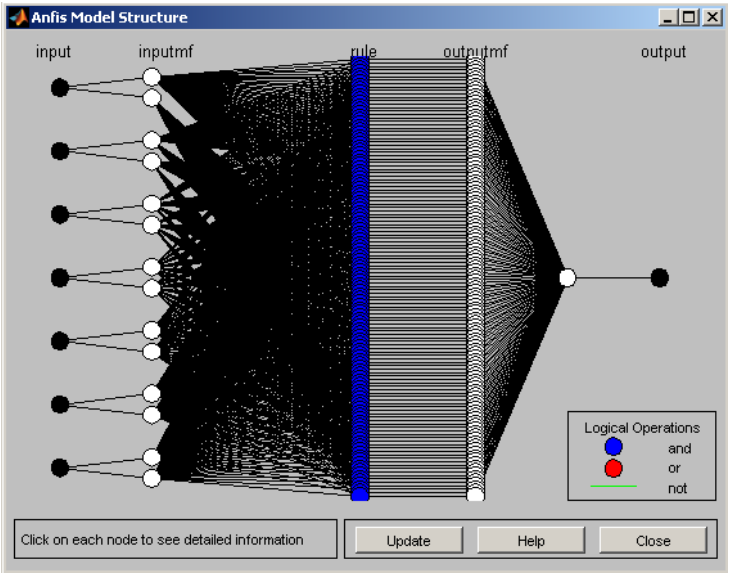


Şekil 7. Test Değerleri ile Regresyon Sonucu Elde Edilen Değerler

5.2. ANFIS ile Yolcu Talep Tahmini

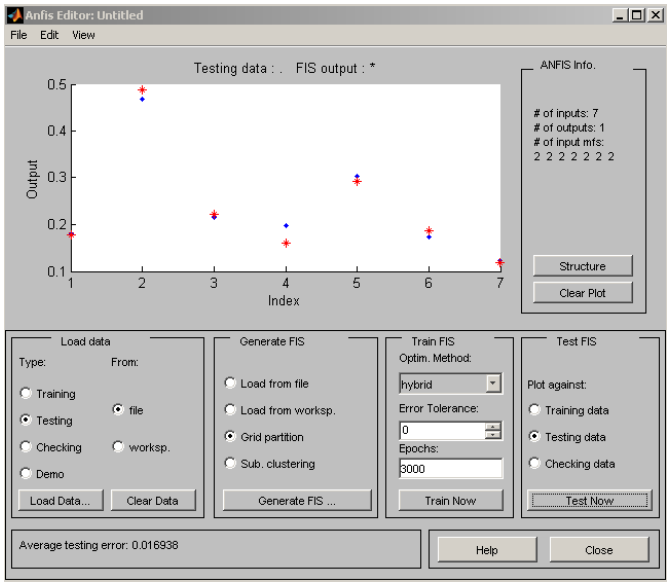
ANFIS yöntemi ile tahmin çalışmasının yapılması için MATLAB yazılım paketinin *Fuzzy Logic Toolbox* modülü kullanılmıştır. Bu modül sayesinde eğitim ve test verileri tanımlanıp farklı model yapıları ve fonksiyonları ile ANFIS metodu uygulanabilmektedir. Bu denemelerde, herhangi bir havaalanından İstanbul 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 etkiyen 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*
Grid Partition	**trimf**	**2 2 2 2 2 2 2**	**Hibrit**	**1.2E-03**	**0.01694**
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

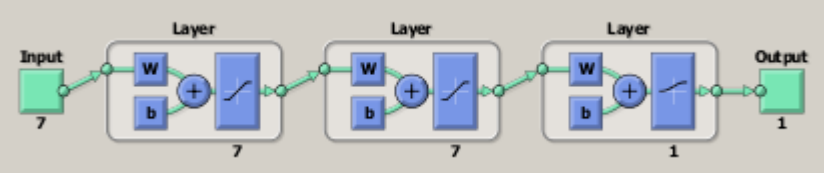
Grid Partition	gbellmf	2 2 2 2 2 2 2	Hibrit	3.0E-04	0.045

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, α 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.



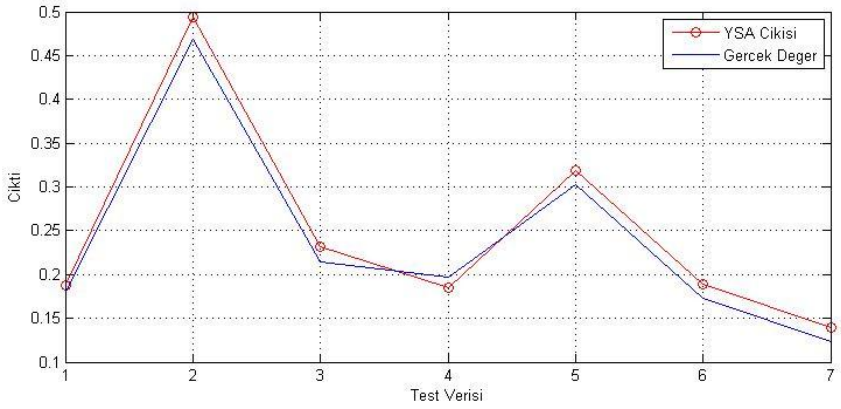
Şekil 10. En Başarılı Sonucu Veren Yapay Sinir Ağı Mimarisi

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

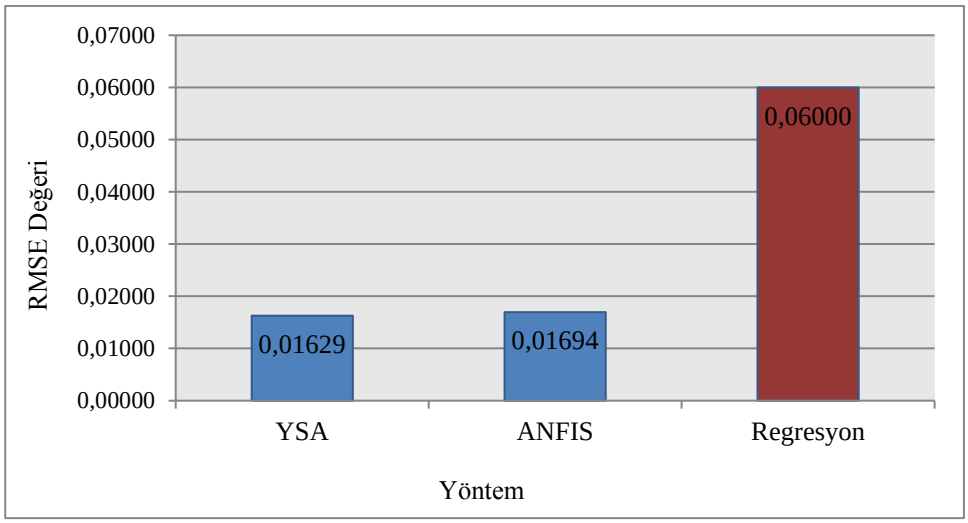
Komut	*α öğrenme oranı*	*Momentum Katsayısı*	*Transfer Fonksiyonu 1*	*Gizli Katman Nöron Sayısı*	*Transfer Fonksiyonu 2*	*Çıkan Hata Oranı*	*Test Sonuçları*	*RMSE (Hata Değerleri)*
Newff	0.9	0	satlin/satlin	7/7	logsig	2.67E-05	BAŞARILI	0.01629
Newff	0.5	0	satlin/satlin	7/7	logsig	3.42E-03	BAŞARILI	0.02160
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 verdiği 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'luk 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 arttırarak 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 Ile 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.diio.net

DHMI. "Sektör Raporu 2014." 2015. Erişim Tarihi Ekim 07, 2016. www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=14&dosyaID=2009.

DHMİ. "Uçak, Yolcu Ve Yük SerisiTahminleri." 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 Ile 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 ağlarinin kullanimi. *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 Fotoğrafı." 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*.

TUİK, İ. G. 2014. Göstergeler 1923-2013.

Turkish Airlines. "Tarihce." 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.

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

Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

AFET YÖNETİMİNDE LOJİSTİK DEPO SEÇİMİ PROBLEMİ: MALTEPE İLÇESİ ÖRNEĞİ

LOGISTIC WAREHOUSE LOCATION SELECTION PROBLEM IN DISASTER MANAGEMENT: MALTEPE DISTRICT

Hilal AYDIN, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, hilalaydin07@gmail.com
Berk AYVAZ, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, bayvaz@ticaret.edu.tr
Emel Şeyma KÜÇÜKAŞÇI, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, eskucukasci@ticaret.edu.tr

Öz: Türkiye'de tüm afet türleri arasında yaklaşık %70'lik bir oranla deprem afeti ilk sırada yer almaktadır. Afetler karşısında yapılabilecek en etkili hareket, afetlerin toplum üzerindeki etkilerini en aza indirgemek doğrultusunda çalışmalar yapmaktır. Etkin bir afet yönetimi çalışması, afet öncesi, afet esnası ve afet sonrasındaki tüm gereksinimleri kapsayacak şekilde olmalıdır. Bu çalışmada, afet lojistiği kapsamında ihtiyaç noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılmasını sağlayan afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada belirli bir kapsama alanı için minimum sayıda alternatif lokasyonların sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli geliştirilmiştir. İkinci aşamada, talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amaçlı, p-medyan problemi sunulmuştur. Bunun yanında, önerilen model afet lojistik depolarına kapasiteli kısıtı eklenerek genişletilmiştir. Çalışmada farklı kapasite, afetzede sayısı ve kapsama mesafesi senaryoları altında analizler yapılmıştır. Önerilen model İstanbul ilinin Maltepe ilçesinin afet lojistik depolarının yer seçimi problemine uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Afet Lojistiği, Küme Kapsama Problemi, P-Medyan problemi, Tesis Yer Seçimi

Abstract: Earthquakes take the first place among the disasters in Turkey with approximately at a rate 70% of all disasters. The most effective action against disasters is to perform the studies that minimize the impact of disasters on society. An effective disaster management effort should be to include all the needs of pre-disaster, during disaster and post-disaster. In this study, it is addressed location selection problem of disaster logistics warehouses which provide the emergency supplies to needy points within the scope of disaster logistics. It is proposed an integrated two-stage model for the problem. In the first stage, set covering model is developed in order to determine the minimum number of alternative disaster logistics warehouses within a certain coverage area. In the second stage, p-median model is presented for aiming demand-weighted distance minimization. In addition, the proposed model is extended by adding capacity constraint to disaster logistics warehouses. In the study, it is conducted various analyzes under the different capacity, number of victims, and coverage distance. The proposed model is applied to Maltepe district in order to determine the disaster logistic warehouse location.

Keywords: Disaster Logistics, Set Covering Problem, P-median Problem, Facility Location

1. Giriş

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığına göre afet, "Kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran ya da kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay' olarak tanımlanmaktadır (AFAD 2014). Afetler genellikle kaçınılmaz ve kontrolü mümkün olmayan olaylardır. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi büyük zararlara neden olmuştur. Bu tarihten sonra depremlere karşı hazırlıklı olmak ve depremleri en az zararla atlatabilmek için yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Son yıllarda sanayileşme, düzensiz şehirleşme ve iklim değişikliği gibi olaylar afetlerin etkilerinin artmasına neden olmaktadır. Afetler; doğal ve insan kaynaklı olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Kalkınma Bakanlığı 2014). Doğa kaynaklı afetler, oluşumları tabiat olaylarına dayanan afetlerdir. Aşırı soğuklar ve sıcaklar, kuraklık, kıtlık, deprem, sel, tsunami, toprak kayması, kaya, çığ, fırtına, hortum, volkan, yangın vb. afetler doğa kaynaklı afetler sınıfında yer almaktadır (Tanyaş vd. 2013b). İnsan kaynaklı afetler ise savaşlar, çatışmalar, terör olayları, göçler gibi küresel olaylar ile hatalı veya eksik planlama ve uygulamaların sebep olduğu olaylardır (Kadıoğlu 2011). Asit yağışları, kimyasal kazalar, patlamalar, endüstriyel kazalar, ev ve bina yangınları, sibernetik saldırılar, salgın hastalıklar, hava, su ve çevre kirlenmesi, nükleer ve kimyasal, radyasyon ve radyolojik kazalar insan kaynaklı afetlerden bir kısmıdır (Tanyaş vd. 2013b). Bu sınıflandırmanın yanı sıra afetler jeolojik, klimatik, biyolojik, sosyal ve teknolojik afetler olarak da sınıflandırılmaktadır (bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Farklı Afet Türleri

Jeolojik	***Klimatik***	***Biyolojik***	***Sosyal***	***Teknolojik***
Heyelan Tsunami Volkanik patlamalar Deprem Kaya düşmesi	Kuraklık Sıcak dalgası Dolu Soğuk dalgası Hortum Fırtına Sel-su baskını Çiğ Tipi, buzlanma Asit yağmurları Sis Hava kirliliği Orman yangınları Yıldırım	Orman yangınları Erozyon Böcek istilası Salgınlar	Terör saldırıları Yangınlar Savaşlar Göçler	Santral kazaları Maden kazaları Nükleer Kimyasal kazalar Uçak, demiryolu ve gemi kazaları Endüstriyel kazalar

Kaynak: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2016

Afet yönetimi; afetlerin önlenmesi ve etkilerinin azaltılması maksadıyla, afet öncesi, sırası ve sonrasında gerekli tedbir ve çalışmaların planlanması, yönlendirilmesi, koordine edilmesi, desteklenmesi ve etkin olarak uygulanabilmesi olarak adlandırılmaktadır (AFAD 2014). Afet yönetimi; bütünleşik, çağdaş ve toplum tabanlı bir anlayışla uygulanmalı; can kaybı ile yaralanmaları önlemeyi, sosyo-ekonomik yapı, doğal çevre, kültür ve tabiat varlıklarını korumayı, iş sürekliliğini, hizmetlerin devamını ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamayı hedeflemelidir (Kalkınma Bakanlığı 2014). Afetler ile ilgili faaliyetler risk ve zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme olarak dört ana evreden oluşmaktadır (Bkz.Şekil 1) (Kalkınma Bakanlığı 2014).

Şekil 1. Afet Yönetim Sisteminin Aşamaları

Hazırlık aşaması afette ortaya çıkabilecek kayıpların azaltılması ve acil yardım ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, arama-kurtarma faaliyetlerinin geliştirilmesi ile ilgilenmektedir (Şahin 2009). Afet öncesi çalışmalar planlama, satın alma, taşımacılık, depo yönetimi, raporlama ve insan kaynaklarının geliştirilmesi faaliyetlerini düzenler (Tanyaş vd., 2013a). Aynı zamanda sağlık, barınma ve ihtiyaçlar için stok oluşturma, dağıtım ve malzemelerin depolanması ile lojistik merkezlerinin kurulması da kapsar. Risk ve zarar azaltma evresi afet olaylarının önlenmesi veya büyük kayıplara sebep olmaması için gerekli tedbirleri içerir. Bu evre iyileştirme ile yeni bir afet olana kadar olan süreci kapsar (Şahin 2009). Bu aşamada insanları, mal, yapı, hizmet, doğal ve kültürel kaynakları korumak ile afete sonrası ve sırasındaki çalışmalarının maliyetini azaltmak amaçlanır (Kadıoğlu 2011). Müdahale evresi, afet sırasında veya hemen sonrasında hayat kurtarma, yaralıların tedavisini sağlama, barınma, beslenme, güvenlik, psikolojik destek gibi yaşam gereksinimlerinin karşılandığı evredir. Burada faaliyetlerin kısa süre içerisinde en uygun yöntemlerle yapılması hedeflenir (Şahin 2009). İyileştirme aşaması toplulukların ihtiyaçlarının karşılanması, hayatın bir an önce normale döndürülmesi için gereken faaliyetlerden oluşur. Normale dönüş süresinin mümkün olduğunca kısaltılması sürecin başlıca amacıdır (Kalkınma Bakanlığı 2014).

Türkiye, arazi yapısı ve yer şekilleri sebebiyle büyük doğal afetlerle karşı karşıyadır. Hızlı nüfus artışı ve düzensiz şehirleşme doğal afet etkilerini artırmaktadır. Türkiye'deki doğal afetlerin etkileri (sonuçları) açısından sıralaması Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Türkiye'deki Doğal Afetlerin Etki Oranları

Doğal Afet Türü	Yüzde (%)
Deprem	61
Sel	14
Toprak kayması	15
Kaya düşmesi	5
Yangın	4
Çığ, fırtına, çamur	1

Kaynak: JICA & İBB, 2002

Tablo 2'de görüldüğü üzere doğal afetler içerisinde en çok etkili olan depremlerdir. Türkiye'de afet denilince akla ilk deprem gelmekte ve alınan önlemler bu kapsamda olmaktadır (JICA ve İBB 2002).

Bu çalışmada ihtiyaç noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılması için kurulacak afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada belirli bir kapsama mesafesi için minimum sayıda afet lojistik depolarının sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli önerilmiştir. İkinci aşamada ise, talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amaçlı, p-medyan modeli geliştirilmiştir. Buna ek olarak, önerilen iki aşamalı bütünleşik model deprem şiddetinin afetzedelerin ihtiyaç taleplerine olan etkisini görebilmek için farklı kapasite, afetzede sayısı ve kapsama mesafesi senaryoları altında kapasite kısıtlı hale getirilerek analizler yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelenmiş, üçüncü bölümüde problem tanımlaması ve önerilen metodolojiye yer verilmiş, dördüncü bölümde uygulama gerçekleştirilmiş, son bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmeler aktarılmıştır.

2. Afet Yönetiminde Lojistik Depo Seçim Problemleri

AFAD'a göre, acil yardım malzemelerin afet ve acil durumlarda zarar gören bölgelere gönderilmek üzere depolandığı merkezler *afet lojistik deposu* olarak tanımlanmaktadır (AFAD 2014). Afet lojistik deposu, afet olaylarında acil yardım faaliyetlerinin altyapısı için gerekli başlıca unsurdur (Liu, Chen, ve Gong 2013). Afetler karşısında hazır olabilmek için temel ihtiyaç malzemelerinin stoklanması kaçınılmazdır. Sağlıklı bir depolama hizmetinin yapılabilmesi için depolarda bulunması gereken temel koşullar aşağıdaki gibidir (Önsüz ve Atalay 2015).

- ✓ Ulaşımın kolay yapılabileceği ve uygun çalışma alanlarının sağlandığı yerler seçilmelidir.
- ✓ Dağıtılacak malzemelerin hangi tip depolarda ve nasıl depolanması gerektiği tespit edilmeli, buna göre en uygun depo yerleri en az ulaşım süresini içinde mümkün kılacak şekilde belirlenmelidir.
- ✓ Depolar emin etüdü yapılmış ve afetten zarar görmeyecek alanlarda kurulmalıdır.
- ✓ Depolar havayolları, karayolları, demiryolları ve limanlara yakın ve güvenli yerlerde olmalıdır.

Bu bölümde, geçmiş yıllarda lojistik depo seçimine yönelik yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Kalaycı vd. (2014), çalışmalarında Türkiye genelinde illerde kurulacak afet lojistik depolarının kuruluş yerlerini tespiti, kapasitesi ve bu depolardan hangi noktalara ve ne kadar malzeme gönderileceğini belirlemek için karma tam sayılı programlama modeli kullanılmıştır. Modelde ihtiyaç duyulan malzeme akışının en kısa sürede sağlanması hedeflemektedir. Gözaydın ve Can (2013), Türkiye'de lojistik deposu seçim problemini iki ana senaryo altında incelemiştir. Birinci senaryoda lojistik merkezi-talep noktaları toplam uzaklıkları ile talep noktalarının ağırlıkları toplamının minimizasyonu amaçlanmış, bu doğrultuda P-Median problemi modellenmiştir. İkinci senaryo ise Maksimum Kapsama Alanı Problemi modellenerek, açılacak p adet lojistik merkezi ile maksimum talep noktasının kapsanması amaçlanmıştır. Peker vd. (2016) çalışmalarında afet yönetimi kapsamında Erzincan ilini ele almış ve iki aşamalı bir model önermiştir. İlk aşamada, depo seçim kriterleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile ağırlıklandırılmış; ikinci aşamada ise VIKOR yöntemi ile uygun kuruluş yeri belirlenmiştir.

Rawls ve Turnquist (2011) Amerika Birleşik Devletlerinin güneydoğusunda meydana gelebilecek bir kasırga afetine karşı, acil yardım malzemesi depolarının yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Maliyet minimizasyonu hedeflenerek, stokastik karma tam sayılı programlama modeli kurulmuştur. Bölgesel ve yerel kurtarma merkezlerinin kurulması problemini iki aşamalı olarak ele alan Döyen vd. (2012); toplam tesis, stok, taşıma ve elde bulundurmama maliyetlerinin minimizasyonu amacıyla karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve model Lagrange Gevşetmesi sezgiseli ile çözülmüştür. Mohammadi vd. (2015) yardım malzemelerinin depolanması, optimal stok miktarı ve optimal malzeme akış miktarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Ele alınan problem için çok amaçlı stokastik programlama modeli kurulmuştur. Talep noktalarının kapsanmasının maksimize, maliyetin ve hizmet düzeyindeki farklılıkların minimize edilmesi amaçlanan modelin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır. Salman ve Yücel (2014) çalışmalarında tesis seçimi için, maksimum sayıda talep noktasını kapsama amaçlı, stokastik 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanmış ve önerilen modeli tabu arama algoritması kullanarak çözmüşlerdir. Kurulan model İstanbul iline adapte edilmiştir.

Görmez vd. (2011), İstanbul ilinin bölgesel ve yerel malzeme depolarının yerlerinin belirlenmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada, ilk aşamasında talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu, ikici aşamasında ise ortalama mesafe ve tesis sayısı minimizasyonu için iki aşamalı tam sayılı programlama modeli önermiştir. Liu vd. (2013) depo seçimini konu alan

çalışmalarında bulanık mantık altında, amaçları maliyet ve mesafe minimizasyonu olan çok amaçlı karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüştür. Mete ve Zabinsky (2010) çalışmalarında medikal malzemelerin depo yerlerinin ve stok seviyelerinin belirlenmesi için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Modelde maliyet ve toplam ulaşım süresinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Balcik ve Beamon (2008) malzeme dağıtım merkezlerinin yerini, sayısını ve bu merkezlerde depolanacak malzemelerin miktarını belirleyen bir maksimum kapsama modeli geliştirmiştir. Amaç merkezler tarafından karşılanacak talebin maksimize edilmesidir. Rath ve Gutjahr (2014), afet çalışmaları kapsamında, malzeme depolarının kurulması ve dağıtım üzerine yaptıkları çalışmalarında üç amaçlı karma tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemde epsilon kısıtı kullanılarak problem tek amaca indirilmiş ve ele alınan model sezgisel bir algoritma ile çözülmüştür. Yi ve Özdamar (2007) afet acil durumları için dağıtım ve yer seçim problemini ele almışlardır. Çalışmada beklenen olası bir İstanbul depremi için iki ayrı senaryo üretilmiştir. Önerilen model sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüştür.

Hong vd. (2015) çalışmalarında talep ve taşıma kapasitesi belirsizlikleri altında bir afet öncesi yardım ağı tasarımı problemi için stokastik bir model önermiştir. Problem afet yardım faaliyetlerinin etkinliğini artırmak için tesislerinin yerini ve yardım malzemelerinin konumlandırılmasını belirlemektedir. Rennemo vd. (2014) afet esnasında yardım malzemelerinin dağıtılması için üç aşamalı karma tam sayılı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. İlk aşamada tesislerin açılması ve merkez tesisten açılan tesislere malzeme dağıtımının yapılması çalışılmıştır. İkinci aşamada malzemelerin dağıtılması için araç rotalaması planlanmıştır. Son aşamada ise model talep belirsizlikleri, araç filosunun kapasitesi ve alt yapı imkanları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Jia vd. (2007) büyük ölçekli afet durumlarında, malzemelerin depolanacağı tesislerin yetersizliğini ve belirsiz talep durumlarını inceleyen çalışmaları için maksimum kapsama modeli kullanmışlardır.

Tablo 3. Yapılan Çalışmalar

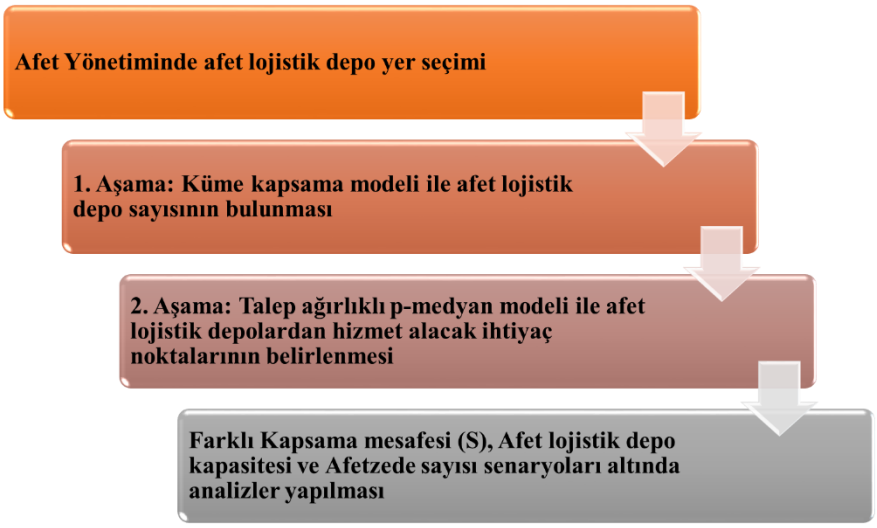
Yazar	Önerilen model
Kalaycı vd. (2014)	Karma tam sayılı programlama
Gözaydın ve Can (2013)	P-medyan & Maksimum kapsama modeli
Peker vd. (2016)	AHP & VIKOR
Rawls ve Turnquist (2011)	Stokastik karma tam sayılı programlama
Döyen vd. (2012);	Karma tam sayılı doğrusal programlama
Mohammadi vd. (2015)	Çok amaçlı stokastik programlama
Salman ve Yücel (2014)	Stokastik 0-1 tamsayılı doğrusal programlama
Görmez vd. (2011)	Tam sayılı programlama modeli
Liu vd. (2013)	Çok amaçlı karma tamsayılı programlama
Mete ve Zabinsky (2010)	Stokastik programlama
Balcik ve Beamon (2008)	Maksimum kapsama alanı modeli
Rath ve Gutjahr (2014)	Karma tam sayılı programlama
Yi ve Özdamar (2007)	Karma tam sayılı programlama
Hong vd. (2015)	Stokastik programlama
Rennemo vd. (2014)	Karma tam sayılı stokastik programlama
Jia vd. (2007)	Maksimum kapsama modeli

Literatür taraması neticesinde bu çalışma kapsamında afet öncesi hazırlık kategorisine girmekte olan afet lojistik depo yer seçim problemi üzerine odaklanılmıştır. Bu süreçte literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. Modelin ilk aşamasında ele alınan bölgedeki tüm talep noktalarını kapsayacak şekilde minimum sayıda depo açılmasını sağlamak için küme kapsama modeli geliştirilmiştir. Bu şekilde ilk aşama sonucunda elde edilen minimum depo sayısını gösteren p karar değişkeni ikinci aşamadaki p-medyan modelindeki açılması istenen minimum afet lojistik depo sayısını gösteren bir parametre olarak modele girdi şeklinde sunulmuştur. Bu hali ile geliştirilen bütünleşik model afet lojistiği depo yer seçim problemi literatüründe bildiğimiz kadarıyla ilk defa kullanılmaktadır. Ayrıca önemli bir deprem bölgesinde bulunan ve önümüzdeki 30 yıl içerisinde büyük bir deprem beklenen İstanbul'un kalabalık nüfusa sahip büyük ilçelerinden biri olan Maltepe'de böyle bir çalışma ilk defa yapılmaktadır. Bu açıdan çalışmanın yerel yöneticilere afet yönetimi kapsamındaki kararlarda destek vereceği umulmaktadır. Önerilen bütünleşik modelin literatüre bu açılardan katkı sağladığı düşünülmektedir.

3. Problemin Tanımlanması ve Metodoloji

Bu çalışmada ele alınacak konu deprem sonrasında dağıtılacak acil yardım malzemelerinin depolanacağı lojistik depoları için uygun konum tespitini sağlayacak matematiksel modelin kurulmasıdır. Ele alınan problem iki aşamalı olarak modellenmiştir (Bkz. Şekil 2). İlk aşamada farklı kapsama mesafeleri altında, küme kapsama problemi ile kurulacak minimum depo sayısı tespit edilmiştir. Burada en önemli olan parametre kabul edilebilir maksimum hizmet seviyesi olarak da belirtilen açılması düşünülen tesisin kapsama mesafesidir (S). Açılması düşünülen afet lojistik depoların hangi mahallelere hizmet vereceği açılacak olan deponun ne kadarlık bir mesafeyi kapsayacağı ile ilgilidir. Bu açıdan bakıldığında kabul edilebilir maksimum hizmet seviyesi lojistik deponun ne kadarlık mesafedeki mahallelere hizmet vereceğini göstermektedir. Çalışmada bu değer farklı senaryolarla ifade edilmiştir. İkinci aşama iki alt senaryoya ayrılmaktadır. Birinci senaryoya göre ilk aşamanın sonuçları p-medyan problemine girdi olarak verilerek talep ağırlıklı

mesafe minimizasyonu yapılmış ve atamalar gerçekleştirilmiştir. İkinci senaryo için de bu sefer depoların kapasiteli olduğu varsayılarak kapasiteli p-medyan problemi modellenmiş ve bu model üzerinden mesafe, afetzede sayısı ve kapasite analizleri ile farklı senaryolar oluşturulmuştur. Geliştirilen model İstanbul ilinin Maltepe ilçesine uygulanmıştır.



Şekil 2. Problem Akış Şeması

3.1. Önerilen Küme Kapsama ile Bütünleşik P-Medyan Modeli

Küme kapsama problem, talep noktalarını belirli bir hizmet seviyesi altında kapsayacak en az sayıdaki tesisin belirlemesini hedeflemektedir. Aynı zamanda tesis yerleştirme maliyetini, belli bir hizmet seviyesini karşılayacak şekilde minimize etmeyi amaçlar (Farahani vd. 2012). P-medyan problem ise n adet talep noktasına hizmet edecek olan p adet tesisin sistemin ağırlıklı maliyetini minimum yapacak şekilde şebeke üzerinde yerleştirilmesidir (Hakimi 1965; Rolland vd. 1997). Problem tesislerden hizmet alacak talep noktalarının en yakın tesise atanmasını durumunu da içermektedir (Bastı 2012). Bu çalışma kapsamında deprem sırasında ihtiyaç duyulan noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılması için kurulacak afet lojistik depolarının yer seçimi problemi için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada talep noktalarının ihtiyaçlarını belirli bir hizmet düzeyinde karşılanabilmesi için minimum sayıda afet lojistik depolarının sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli önerilmiştir. Modelin ikinci aşamasında geliştirilen p-medyan modeli ise ilk aşamanın çıktısı olan tesis sayısını parametre olarak almakta ve talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amacını gerçekleştirecek uygun tesis yerlerini tespit etmektedir.
Bu çalışmada önerilen küme kapsama modeli ile bütünleşik p-medyan modelinin matematiksel formülasyonu çalışmada kullanılacak notasyonlarla birlikte aşağıdaki gibidir

Indisler
i: Talep noktalarının indisi (Maltepe ilçesi mahalleleri)
j: Tesislerin indisi (Afet lojistik depo)
Parametreler
n: Potansiyel tesis sayısı (Aday afet lojistik depo sayısı)
S: Açılması düşünülen tesislerin kapsama mesafesi (km)
a_{ij}: i talep noktası ve j tesisi arasındaki mesafe S'den küçük veya S'ye eşitse 1, değilse 0.
w_i = i. talep noktasının talebi
d_{ij} = i. Talep noktası ile j. tesis (afet lojistik depo) arasındaki minimum mesafe
p = Hizmet edecek tesis sayısı (afet lojistik depo)
Q_j= j tesisinin (afet lojistik depo) kapasitesi
Karar değişkenleri
x_j: j noktasında bir tesis kurulmuşsa 1, değilse 0
z_{ij}= i talep noktası j tesisine (afet lojistik depo) atanmışsa 1, değilse 0
y_j= j noktasında bir tesis (afet lojistik depo) açılmışsa 1, değilse 0

1.Aşama: Amaç fonksiyonu $\text{enk } z = \sum_{j=1}^{n} x_j$ (1)
Kısıtlar

$$\sum_{j\in J} a_{ij}.x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (i = 1, \dots, m) \qquad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j=1,\dots,n) \qquad (3)$$

2.Aşama: Amaç fonksiyonu $\text{Enk } z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i . d_{ij} . z_{ij}$ (4)

Kısıtlar

$\sum_{j=1} z_{ij} = 1 \quad \forall i \quad i = 1, \dots, n$ (5)

$z_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j$ (6)

$\sum_{j=1}^{n} y_j = p$ (7)

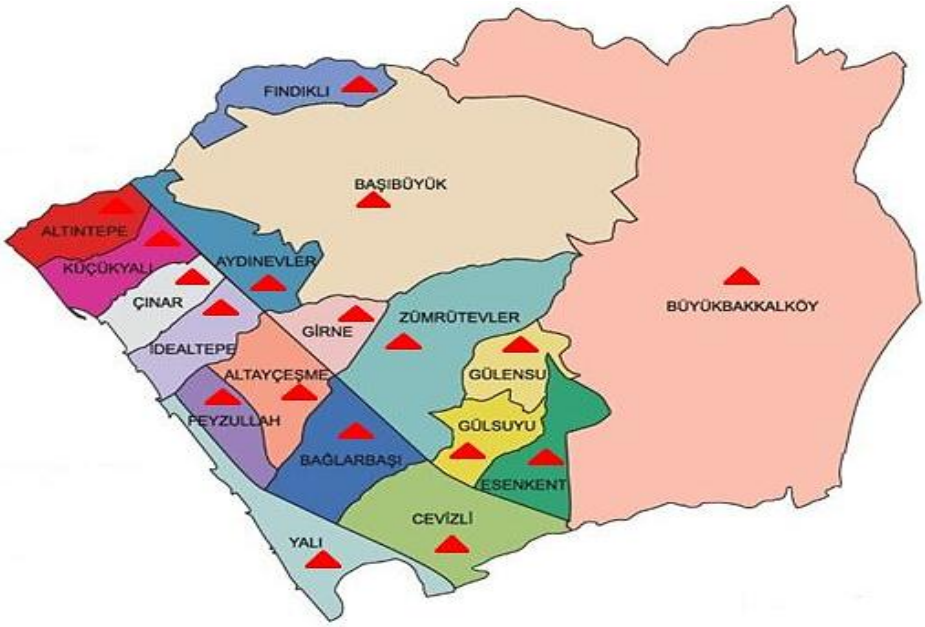
$\sum_{i=1} w_i . z_{ij} = Q_j . y_j \quad \forall j$ (8)

$z_{ij}, y_j \in \{0,1\}$ (9)

Eşitlik (1) ile gösterilen amaç fonksiyonu ile açılan tesislerin maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Eşitlik (2), her talep noktasının, hizmet şartını sağlayan en az 1 tesis tarafından kapsanması gerektiğini ortaya koyar. Eşitlik (3) karar değişkeninin 0-1 tamsayı olma kısıtıdır. Eşitlik (4) hizmet veren tesisler (afet lojistik depo) ile talep noktaları arasında oluşan toplam maliyetin minimum olmasını hedeflemektedir. Eşitlik (5) her talep noktasının yalnız bir tesisten (afet lojistik depo) hizmet almasını sağlar. Eşitlik (6) açık olmayan tesise (afet lojistik depo) talep noktası atanmamasını sağlar. Eşitlik (7) p adet tesisin (afet lojistik depo) açılmasını sağlamaktadır**.** Kapasiteli p-medyan modelinde yer alan Eşitlik (8), her bir tesis (afet lojistik depo) için ilgili tesisten (afet lojistik depo) hizmet alacak talep noktalarını önceden belirlenmiş bir kapasite değeri ile sınırlandırmaktadır. Eşitlik (9) tüm karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olma kısıtıdır.

3.2. Uygulama

Çalışmada önerilen bütünleşik küme kapsama ve p-ortanca modeli İstanbul'un Maltepe ilçesinde afet lojistik depo yer seçim problemine uygulanmıştır. Maltepe ilçesi on sekiz mahalleden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3). Her mahalle birer talep noktası, aynı zamanda da birer potansiyel lojistik deposu olarak düşünülmüştür.



Şekil 3. Maltepe İlçe Haritası

Kaynak: Maltepe Belediyesi (2016)

Her bir talep noktası ve aday afet lojistik deposunun koordinatı Google Maps'den elde edilmiştir. Talep noktaları ve aday depolar arasındaki mesafeler Durak ve Yıldız (2015)'in çalışmasındaki hesaplama yöntemine göre Öklid mesafe formulü kullanılarak hesaplanmıştır. Modelde kullanılmak üzere mahallelere ait nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumundan alınmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Japon Uluslararası İş Birliği Ajansının 2002 yılında ortak hazırladığı rapordaki C senaryosu baz alınarak, acil durum ilk yardım hizmetleri için hesaplanan yaralı sayısı nüfusun %5'i olarak belirlenmiştir (JICA ve İBB, 2002).

Önerilen bütünleşik küme kapsama ve p-medyan modelinin çözümünde GAMS 23.5 paket programı kullanılmıştır. Modelin birinci aşaması olan küme kapsama modelinde, talep noktaları ve afet lojistik depo noktaları arasındaki kapsama mesafesi (S) sırayla 1,2,3,4 ve 5 km alınarak beş farklı senaryo altında çözümler elde edilmiştir (Bkz. Tablo 6). Bu şekilde önerilen iki aşamalı modelin birinci aşamasının sonuçları olan açılacak afet lojistik depo sayısı (p) ve konumları önerilen bütünleşik modelin ikinci aşamasında girdi olarak kullanılmak üzere elde edilmiştir.

Tablo 6. Önerilen Bürünleşik Modelin Aşama-1 için Sonuçları

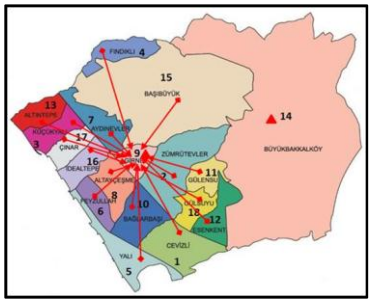
Senaryolar	Kapsama Mesafesi- S (km)	Açılacak Afet Lojistik Depo Sayısı-p	Açılacak Lojistik depo no
Senaryo1	1	10	1,2,3,4,5,7,11,12,14,15
Senaryo2	2	6	1,4,7,8,9,14
Senaryo3	3	3	2,14,17
Senaryo4	4	2	9,14
Senaryo5	5	1	15

Tablo 6'daki sonuçlara göre Maltepe ilçesi için kapsama mesafesi (S) arttıkça açılacak afet lojistik depo sayısının azaldığı görülmektedir. İkinci aşamada ilk olarak kapasitesiz p-medyan problemi çözülmüştür. İlk aşamadan gelen p değeri ve afet lojistik depo konumları girdi olarak modele dahil edilmiştir. Sonuçlar Tablo 7 ve Şekil 4,5,6,7,8'de gösterilmiştir.

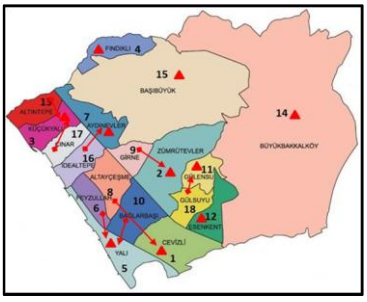
Kapasitesiz P-Medyan modelinin sonuçları ve farklı kapsama mesafeleri için analizler:

Tablo 7. Önerilen Bürünleşik Modelin Aşama-2 Kapasitesiz P-Medyan modeli sonuçları (Farklı Kapsama Mesafesi Senaryolarına göre)

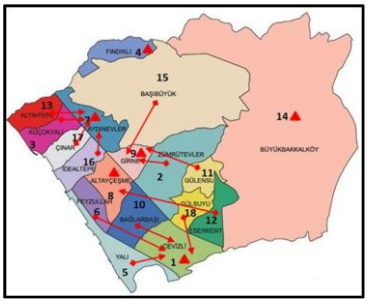
Senaryolar (kapsama mesafeleri)	**Amaç fonksiyonu**	**Afet Lojistik Depo no.**	**Hizmet edilecek talep noktası**
Senaryo1 (S=1 km)	7.156,19	1	1,8
		2	2,9
		3	3,13,17
		4	4
		5	5,6,10
		7	7,16
		11	11,18
		12	12
		14	14
		15	15
Senaryo2 (S=2 km)	21.777,83	1	1,5,6,10,18
		4	4
		7	3,7,13,16,17
		8	8,12
		9	2,9,11,15
		14	14
Senaryo3 (S=3 km)	34.374,24	2	1,2,5,6,8,9,10,11,12,15,18
		14	14
		17	3,4,7,13,16,17
Senaryo4 (S=4 km)	53.612,11	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18
		14	14
Senaryo5 (S=5 km)	79.296,06	15	Hepsi



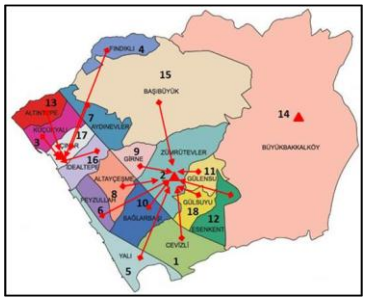
Şekil 4. Aşama-2 Senaryo1



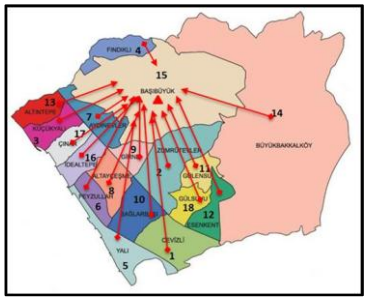
Şekil 5. Aşama-2 Senaryo2



Şekil 6. Aşama-2 Senaryo3



Şekil 7. Aşama-2 Senaryo4



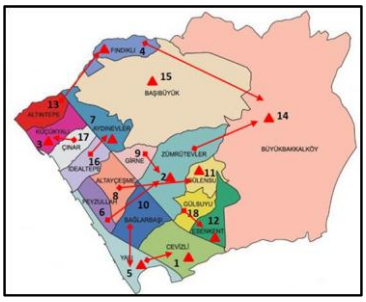
Şekil 8. Aşama-2 Senaryo5

Kapasite kısıtlı P-Medyan Modelinin farklı kapsama mesafelerine göre çözümü:

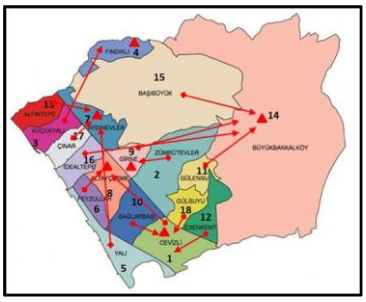
İkinci aşamanın kapasiteli p-medyan modelinin çözümünde de bir önceki modelde olduğu gibi birinci aşamanın sonuçları kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 8 ve Şekil 9,10,11,12,13'teki gibidir.

Tablo 8. Önerilen Bütünleşik Modelin Aşama-2 Kapasiteli *P*-Medyan Modeli Sonuçları (Farklı kapsama mesafesi senaryolarına göre)

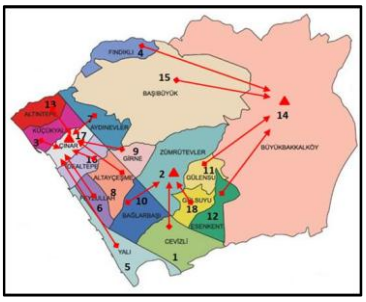
Senaryolar	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo1 (S=1 km)	2500	54.482,43	1	1,5
			2	6,9
			3	3,17
			4	13
			5	10
			7	7,16
			11	8,11
			12	12,18
			14	2,4,14
			15	15
Senaryo2 (S=2 km)	4500	33.257,83	1	10,12,18
			4	3,4
			7	5,7,13,17
			8	1,6,8
			9	2
			14	9,11,14,15,16
Senaryo3 (S=3 km)	8500	62.032,71	2	1,2,10,18
			14	4,8,11,12,14,15
			17	3,5,6,7,9,13,16,17
Senaryo4 (S=4 km)	12500	95.814,68	9	2,3,6,7,9,10,13,16
			14	1,4,5,8,11,12,14,15,17,18
Senaryo5 (S=5 km)	25000	79.293,65	15	Hepsi



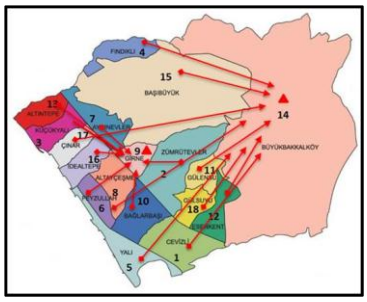
Şekil 9. Aşama-2 Kap.li Senaryo1

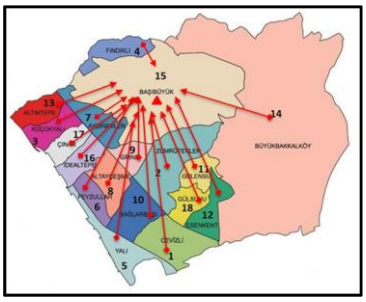


Şekil 10. Aşama-2 Kap.li Senaryo2



Şekil 11. Aşama-2 Kap.li Senaryo3





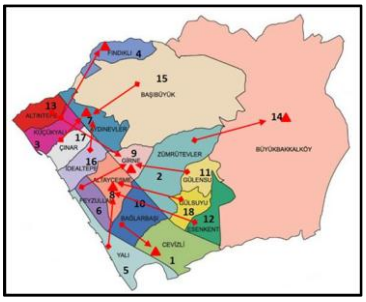
Şekil 12. Aşama-2 Kap.li Senaryo4 Şekil 13. Aşama-2 Kap.li Senaryo5

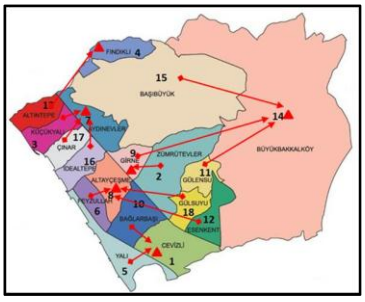
Farklı afetzede sayısı senaryolarına göre kapasiteli P-Medyan modeli çözümleri:

Problemin bu aşamasında kapsama mesafesi 2 km olarak sabit tutulup, %5 kabul edilen afetzede sayısı sırasıyla toplam ilçe nüfusunun % 3, % 5, % 7 ve % 9'u olarak alınarak probleme yeni senaryolar eklenmiştir. Sonuçlar Tablo 9 ve Şekil 14,15,16,17'de gösterildiği gibidir.

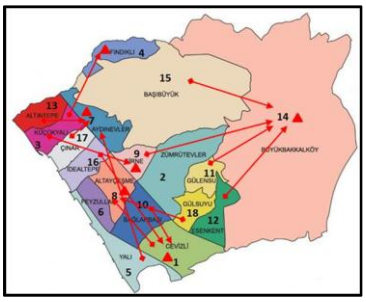
Tablo 9. Farklı Afetzede Sayısı Senaryolarına Göre Aşama-2 Kapasiteli P-Medyan Modeli Çözümleri

Senaryolar	Afetzede oranı	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo5	%3	2500	27.598,79	1	10,1
				4	3,4
				7	7,15,16,17
				8	5,8,12,18
				9	6,9,11,13
				14	2,14
Senaryo6	%5	4500	33.258,89	1	1,5,10
				4	4,13
				7	3,7,16,17
				8	6,8,12,18
				9	2
				14	9,11,14,15
Senaryo7	%7	6000	58.931,01	1	6,10,16
				4	3,4
				7	5,7,13,17
				8	1,8,18
				9	3
				14	9,11,12,14,15
Senaryo8	%9	7500	82.796,36	1	10,1
				4	3,4
				7	7,15,16,17
				8	5,8,12,18
				9	6,9,11,13
				14	2,14

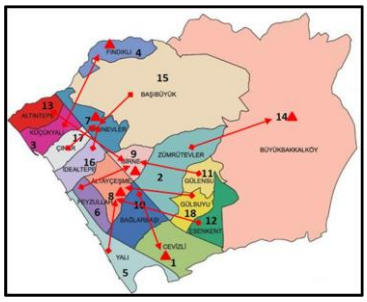




Şekil 14. Senaryo5 Şekil 15. Senaryo6



Şekil 16. Senaryo7



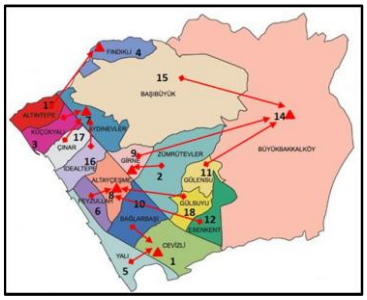
Şekil 17. Senaryo8

Kapasiteli p-medyan modeli için kapasite analizi:

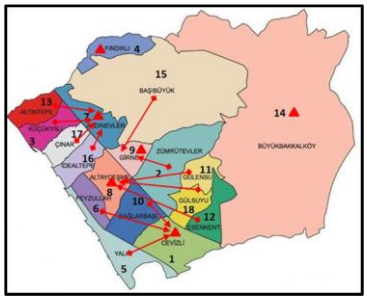
Çalışmada son olarak kapasite analizi gerçekleştirilmiştir. Kapsama mesafesi 2 km, afetzede nüfusu oranı %5 kabul edilerek kapasite parametresinde değişimler yapılıp, sonuçlar gözlenmiştir. Sonuçlar Tablo 10 ve Şekil 18,19,20'de gösterildiği gibidir. 7500 birim kapasiteden fazlası aynı sonucu vermektedir.

Tablo 10. Afet Lojistik Depo Kapasite Senaryoları

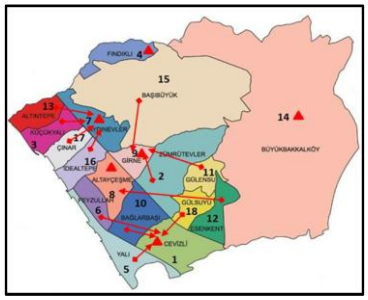
Senaryolar	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo9	4500	33.258,89	1	1,5,10
			4	4,13
			7	3,7,16,17
			8	6,8,12,18
			9	2
			14	9,11,14,15
Senaryo10	6000	22.363,18	1	1,5,6,10
			4	4
			7	3,7,13,16,17
			8	8,11,12,18
			9	2,9,15
			14	14
Senaryo11	7500	21.777,83	1	1,5,6,10,18
			4	4
			7	3,7,13,16,17
			8	8,12
			9	2,9,11,15
			14	14



Şekil 18. Senaryo9



Şekil 19. Senaryo10



Şekil 20. Senaryo11

4. Sonuç ve Değerlendirme

Gerek insan gerekse doğal kaynaklar meydana gelip canlı yaşamı ve faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyen olaylar afet olarak ifade edilmektedir. Ülkemizde ise afet denilince akla ilk olarak deprem gelmektedir. Afet yönetimi, afet öncesi, afet esnası ve sonrasında yapılması gereken faaliyetlerin planlanması ve koordine edilmesini içeren bir süreçtir. Afet yönetimi kavramı; risk ve zarar azaltma aşaması, hazırlık aşaması, müdahale aşaması ve iyileştirme aşaması olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır.

Bu çalışmada afet öncesi hazırlık aşamasına ait faliyetlerden olan afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamadan oluşan bütünleşik bir model önerilmiştir. Modelin ilk aşamasında küme kapsama problemi ile talep noktalarını kapsayacak minimum sayıdaki depo sayısı ve lokasyonu bulunmuş; ikinci aşamada *p*-medyan problemi ile talep noktalarının açılan depolara atanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca p-medyan modeli tesislerin kısıtlı kapasiteye sahip olması durumu dikkate alınarak farklı tesis kapasitesi senaryoları için çalıştırılmıştır. Önerilen bütünleşik model Istanbul Maltepe ilçesi afet lojistik depo yer seçim problemine uygulanmıştır. Sonuçlar, afet yönetiminin önemli bir aşaması olan ilk yardım malzemelerinin depolanacağı yerlerin etkin ve etkili bir şekilde tespit edilmesini sağlayarak bu konuda yerel idareler için karar alma aşamasını kolaylaştırmaktadır. Istanbul Maltepe ilçesi uygulaması için elde edilen çözümlerde modelin ilk aşamasında afet lojistik deponun sırasıyla 1,2,3,4 ve 5 km mesafedeki mahalleleri kapsaması/ hizmet vermesi senaryolarına göre tüm ilçeyi kapsayan ve maliyetleri minimize eden depo sayısı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, önerilen bütünleşik modelin ikinci aşaması olan p-medyan modelinin kapasite kısıtı altında farklı kapsama mesafesi, afetzede sayısı ve kapasite değerlerine göre de çözümleri yapılarak farklı seneryolar için analizler yapılmıştır.

Ileriki çalışmalarda, depo kapasitesi, afetten etkilenecek insan sayısı gibi parametrelerin belirsiz alınarak stokastik bir model geliştirilebilir. Bunun yanında p-medyan probleminde amaç fonksiyonundaki ağırlık parametresi afetten etkilenme indeksi adı altında çok kriterli karar verme teknikleri yardımıyla hesaplanabilir.

KAYNAKÇA

AFAD. 2014. "Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü.", https://aats.afad.gov.tr/,(Erişim tarihi:30.09.2016)

Balcik, Burcu, ve Benita M. Beamon. 2008. "Facility Location in Humanitarian Relief." International Journal of Logistics: Research & Applications 11 (2): 101–21. doi:10.1080/13675560701561789.

Bastı, Mehmet. 2012. "P-Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları." Online Academic Journal of Information Technology 3 (7): 47–75. doi:10.5824/1309-1581.2012.2.004.x.

Döyen, Alper, Necati Aras, ve Gülay Barbarosoğlu. 2012. "A Two-Echelon Stochastic Facility Location Model for Humanitarian Relief Logistics." Optimization Letters 6 (6): 1123–45. doi:10.1007/s11590-011-0421-0.

Durak, İsmail, ve Mehmet Selami Yıldız. 2015. "P- Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi : Bir Uygulama." Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi 7 (2): 43–64.

Farahani, Reza Zanjirani, Nasrin Asgari, Nooshin Heidari, Mahtab Hosseininia, and Mark Goh. 2012. "Covering Problems in Facility Location: A Review." Computers and Industrial Engineering 62 (1). Elsevier Ltd: 368–407. doi:10.1016/j.cie.2011.08.020.

Görmez, Nihan, Koksalan, Murat ve Sibel Salman. 2011. "Locating Disaster Response Facilities in İstanbul." Journal of the Operational Research Society 62: 1239–52. doi:10.1057/jors.2010.67.

Gözaydın, Orhan, ve Tuncay Can. 2013. "Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği." Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 6 (2): 17–31.

Hakimi, S. L. 1965. "Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems." Operations Research 13 (3): 462–75.

Hong, Xing, Miguel A Lejeune, ve Nilay Noyan. 2015. "Stochastic Network Design for Disaster Preparedness." IIE Transactions 47 (4): 329–57.

Jia, Hongzhong, Fernando Ordonez, and Maged M. Dessouky. 2007. "Solution Approaches for Facility Location of Medical Supplies for Large-Scale Emergencies." Computers & Industrial Engineering 52: 257–76. doi:10.1016/j.cie.2006.12.007.

JICA, ve İBB. 2002. "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması." Vol. 5.

Kadıoğlu, Mikdat. 2011. Afet Yönetimi. T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını. İstanbul, 2011

Kalaycı, Seda, Ayfer Aybulut, Mesude Gürkan, ve Alaattin Genç. 2014. "Afet Lojistiği: Ulusal Malzeme Depolama Kurulum Yerlerinin Seçimi, Depo Iç Tasarımı ve Malzeme Akış Planı Modeli," no. 1: 1–5. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Kalkınma Bakanlığı, TC. 2014. "Afet Yönetiminde Etkinlik." Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara 2014,

Liu, Cheng, Ze Hui Chen, ve Yu Yan Gong. 2013. "Site Selection of Emergency Material Warehouse under Fuzzy Environment." Journal of Central South University 20 (6): 1610–15. doi:10.1007/s11771-013-1653-1.

Maltepe Belediyesi Afet Bilgi Sistemi (MBABS), http://webgis.maltepe.bel.tr/keos/Map5.aspx?WorkSpaceName=AFETHRT

Mete, Huseyin Onur, ve Zelda B. Zabinsky. 2010. "Stochastic Optimization of Medical Supply Location and Distribution in Disaster Management." International Journal of Production Economics 126 (1). Elsevier: 76–84. doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004.

Mohammadi, Reza, S.M.T. Fatemi Ghomi, ve F. Jolai. 2015. "Pre-Positioning Emergency Supplies for Earthquake Response: A New Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm." Applied Mathematical Modelling. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.apm.2015.10.022.

Önsüz, M.Fatih, ve Burcu Işıktekin Atalay. 2015. "Afet Lojistiği." Osmangazi Tıp Dergisi 37 (3): 1–6.

Peker, İskender, Selçuk Korucuk, Şule Ulutaş, Burcu Sayın Okatan, ve Firdevs Yaşar. 2016. "Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi Ile Belirlenmesi: Erzincan Ili Örneği." Önetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi 14 (1): 82–103. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

Rath, Stefan, ve Walter J. Gutjahr. 2014. "A Math-Heuristic for the Warehouse Location-Routing Problem in Disaster Relief." Computers and Operations Research 42. Elsevier: 25–39. doi:10.1016/j.cor.2011.07.016.

Rawls, Carmen G., ve Mark A. Turnquist. 2011. "Pre-Positioning Planning for Emergency Response with Service Quality Constraints." OR Spectrum 33 (3): 481–98. doi:10.1007/s00291-011-0248-1.

Rennemo, Sigrid, Kristina Fougner, Lars Magnus Hvattum ve Gregorio Tirado. 2014. "A Three-Stage Stochastic Facility Routing Model for Disaster Response Planning." Transportatıon Research Part E 62. Elsevier Ltd: 116–35. doi:10.1016/j.tre.2013.12.006.

Rolland, Erik, David a. Schilling, ve John R. Current. 1997. "An Efficient Tabu Search Procedure for the P-Median Problem." European Journal of Operational Research 96 (2): 329–42. doi:10.1016/S0377-2217(96)00141-5.

Salman, F. Sibel, ve Eda Yücel. 2014. "Emergency Facility Location under Random Network Damage: Insights from the Istanbul Case." Computers and Operations Research 62. Elsevier: 266–81. doi:10.1016/j.cor.2014.07.015.

Şahin, Necmettin. 2009. "Afet Yöetimi ve Acil Yardım Planları." In TMMOB İZMİR KENT SEMPOZYUMU, 131–42.

Tanyaş, Mehmet, Yavuz Günalay, Levent Aksoy, ve Burak Küçük. 2013a. "Afet Lojistik Yönetiminde Rize İline Yönelik Yeni Model Önerisi." In II. Rize Kalkınma Sempozyumu.

Tanyaş, Mehmet, Yavuz Günalay, Levent Aksoy, ve Burak Küçük. 2013b. "İstanbul İli Afet Lojistik Planı Klavuzu."

Yi, Wei, ve Linet Özdamar. 2007. "A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities." European Journal of Operational Research 179 (3): 1177–93. doi:10.1016/j.ejor.2005.03.077.

Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

İSTANBUL İÇİN ACİL SERVİS BİRİMLERİNİN ETKİNLİĞİNİN KATEGORİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATING EFFICIENCY OF EMERGENCY DEPARTMENTS USING CATEGORICAL DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR ISTANBUL

Melis Almula KARADAYI, İstanbul Bilgi Üniversitesi, melis.karadayi@bilgi.edu.tr
Yeliz EKİNCİ, İstanbul Bilgi Üniversitesi, yeliz.ekinci@bilgi.edu.tr
Can AKKAN, Sabancı Üniversitesi, canakkan@sabanciuniv.edu
Füsun ÜLENGİN, Sabancı Üniversitesi, fulengin@sabanciuniv.edu

Öz: Son zamanlarda, Türkiye birçok ülkede olduğu gibi yüksek oranda kamu ve özel kaynaklarını sağlık sektörüne harcamaktadır. Bu nedenle sağlık sektöründe etkinlik analizi birçok paydaş için önem taşımaktadır. İstatistiksel göstergeler acil servis birimlerinin sağlık hizmeti yükünün çok önemli bir bölümünü üstlendiğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında Beyoğlu Kamu Hastaneleri Birliği Kapsamındaki hastanelerin acil servis birimlerinin etkinliği kategorik veri zarflama analizi (VZA) ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında sunulan sağlık hizmeti yönünden etkin olan ve olmayan acil servis birimleri tespit edilecektir.

Anahtar Sözcükler: Acil Servis,Etkinlik Analizi, Performans Değerlendirme, Veri Zarflama Analizi

Abstract: Recently, Turkey as well as many other countries, spends a high portion of its public and private resources on the health sector. Thus, efficiency analysis is crucial for many of the stakeholders in the health sector. The statistical indicators showed that emergency departments undertook a very important part of the health care burden. In this study, efficiencies of emergency departments of general hospitals run by Istanbul's Beyoglu State Hospitals Association have been analyzed using categorical data envelopment analysis (DEA). In the light of the findings, efficient and inefficient emergency departments in terms of healthcare will be determined.

Keywords: Emergency Service ,Efficiency Analysis, Performance Evaluation, Data Envelopment Analysis

1. Giriş

Türkiye'de sağlık sektörü yükselen beklentiler, teknolojik gelişmeler ve talebin artması doğrultusunda kamu ve özel kaynaklarının aktarımının kritik önemde olduğu bir sektör haline gelmiştir. Bu nedenle; etkinlik analizi sağlık sektöründe kaynak kullanımının temel performans göstergeleri olarak öncelikle ele alınmalıdır.

Türkiye'de sağlık sektörü 2003 yılında başlayan Sağlıkta Dönüşüm Programı ile önemli bir değişim geçirmektedir. Acil sağlık hizmetlerinin tüm sağlık harcamaları arasındaki oranı %0.3'den %1.8'e yükselmiştir (Türkiye Sağlıkta Dönüşüm Programı Değerlendirme Raporu, 2012). Bununla birlikte, Türkiye'de 2013 yılında Sağlık Bakanlığı'na bağlı hastanelere toplam 274.200.691 başvuru yapıldığı ve bunun 84.778.686 adedinin (%30,92) acil servislere yapılan başvurulardan oluştuğu göz önüne alındığında acil servislerin sağlık hizmeti yükünün çok önemli bir bölümünü üstlendiği ortaya çıkmaktadır (Sağlık Bakanlığı İstatistik, Analiz ve Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı). Ayrıca, acil birimlere gelen vakaların arasında doğal olarak çok sayıda kritik durumda olan hasta olması bu birimlerin etkinlik analizinin yapılmasını desteklemiştir.

Sağlık sektöründe etkinliği ölçmeye yönelik olarak yapılan çalışmaların çoğunda Doğrusal Programlamaya dayanan, çoklu girdi ve çoklu çıktı içeren olan karar verme birimlerinin (KVB) bağıl etkinliğini ölçen VZA'nın kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, sağlık alanında etkinlik ölçümüne ilişkin olarak yapılan akademik yayınların büyük çoğunluğunda KVB olarak hastanenin bütününün ele alındığı tespit edilmiştir. Hastaneler, içindeki birimlerinin ortak kaynak kullandığı, ortak kullanılan bu girdilerin her bir birime nasıl paylaştırılacağını saptanmasının güç olduğu, çok sayıda heterojen çıktısı ile son derece karmaşık bir hizmet sistemidir. Bu nedenle hastanenin tümüne ilişkin genel bir etkinlik ölçümü son derece zordur. Bu çalışmada KVB olarak hastanelerin bir birimine odaklanılmış ve etkinlik ölçümüne dayalı çok sınırlı çalışmanın yapıldığı Acil Birimler seçilmiştir.

Klasik VZA'da tüm değişkenler kontrol edilebilir ve homojendir. Kategorik VZA ise kontrol edilemeyen değişkenlerin kategorik olması durumunda göreceli etkinlik analizi yapılmasına imkan sağlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında Beyoğlu Kamu Hastaneleri Birliği kapsamındaki hastanelerin acil servis birimlerinin performans değerlendirilmesi Kategorik VZA ile yapılmıştır. Kategorik VZA modeli ile aynı acil servis basamağında olan hastaneler aynı kategoride değerlendirilerek daha homojen hale getirilen KVB'ler ile etkin olan acil servisler ile etkin olmayan acil servisler tespit edilecek ve acil servis birimleri etkinlik skorlarına göre sıralanacaktır. Bu amaçlarla, çalışmanın ikinci bölümünde sağlık kuruluşlarında gerçekleştirilen VZA uygulamalarını özetleyen bir literatür çalışması, üçüncü bölümünde kategorik VZA'yı teorik olarak anlatımı yer almaktadır. Dördüncü bölümde uygulama sunulmakta olup, beşinci bölümde sonuç ve öneriler verilmektedir.

2. Sağlık Kuruluşlarında Veri Zarflama Analizi Çalışmaları

Sağlık kuruluşlarının performans değerlendirilmesinde VZA'nın kullanıldığı yerli ve yabancı birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Sağlık sektöründe ilk VZA kullanımı, 1982 yılında yayınlanmıştır (Wilson ve Jadlow, 1982). Amerikan hastaneleri için yapılan ilk çalışmada Nunamaker (1983) hemşire hizmetlerinin etkinliğini analiz etmiştir. Ülkemizde ise VZA yöntemi kullanılarak hastanelerin etkinlik analizinin yapıldığı çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: Ersoy vd. (1997) Sağlık Bakanlığı'na bağlı 573 hastanenin etkinlik analizini 1994 yılına ait veriler ile girdi yönelimli VZA yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Şahin ve Özcan (2000) Sağlık Bakanlığı'na bağlı kamu hastanelerinin illere göre performans düzeylerini VZA yöntemi ile hesaplamış ve elde edilen etkinlik skorları ışığında verimsiz olan illerin verimsizlik kaynakları belirlenmiştir.Temür ve Bakırcı (2008) 2003-2006 yılları arasında 846 devlet hastanesinin iller ve bölgeler bazında etkinlik düzeylerini hesaplamıştır. Şahin (2008) Sağlıkta Dönüşüm programı kapsamında Sağlık Bakanlığı'na devredilen hastaneler ile birlikte toplam 50 hastanenin teknik verimliliklerini ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında VZA ile gerçekleştirmiştir. Çakmak vd. (2009) Sağlık Bakanlığı'na bağlı olarak hizmet veren 43 kadın doğum hastanesinin teknik verimlilik düzeylerini VZA yöntemi kullanarak ölçmüştür. Sezen ve Gök (2009) ölçeğe göre sabit ve ölçeğe göre değişken getirimi varsayımı altında girdi yönelimli VZA yöntemi kullanarak 360 devlet, 2 eğitim araştırma, 1 üniversite ve 183 özel hastanelerin arasındaki verimlilik farklarını tespit etmiştir. Çalışma hastanelerin performans değerlendirilmesi yapılırken sahipliklerine göre gruplandırılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Bayraktutan vd. (2010) sağlık bilgi sistemlerinin Türkiye'deki 21 göğüs hastalıkları hastanelerinin performansına etkilerini VZA yöntemi kullanarak belirlemeyi amaçlamıştır. Şahin vd. (2011) Sağlık Bakanlığı bünyesinde hizmet veren 352 devlet hastanesinin 2005-2008 yılları arası için etkinlik analizini ölçeğe göre sabit ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımlarını içeren VZA modellerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Atmaca vd. (2012) Ankara'da hizmet veren 21 Özel Hastanenin etkinliğini girdiye yönelik Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modeli ile değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında etkin olmayan hastaneler için hedeflenmesi gereken girdi değerleri hesaplanarak potansiyel iyileştirme önerileri yapılmıştır. Gülsevin ve Türkan (2012) Afyonkarahisar'da hizmet veren 15 hastanenin etkinlik skorlarını ölçeğe göre sabit getirimi varsayımına dayanan girdi yönelimli CCR modeli ile tespit etmiştir. Bal ve Bilge (2013) Sağlık Bakanlığı'na bağlı 35 eğitim ve araştırma hastanesinin toplam, teknik ve ölçek etkinliklerini VZA yaklaşımı ile incelemiştir. Gök ve Sezen (2013) Türkiye'deki kamu hastanelerinde verimlilik ve yapısal kalitenin hasta memnuniyeti üzerindeki etkilerini ampirik olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada hastane verimliliklerinin analizi için VZA yöntemi kullanılmış (toplam 348 hastane için) ve çoklu regresyon analizinde bağımlı değişkeninin hasta memnuniyeti, bağımlı değişkenlerin ise yapısal kalite, hastane verimliliği ve kurumsal faktörlerin olduğu bir model kurulmuştur. Çalışma sonunda yapısal kalite ve hasta memnuniyeti arasındaki ilişkide verimliliğin bir modere edici değişken olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca kalite ve verimlilik arasındaki ilişkinin yönünün hastane büyüklüğüne göre değiştiği bulunmuştur.

Gerçekleştirilen yazın taramasında sağlık sektöründe yapılan etkinlik analizi çalışmalarında çoğunlukla KVB olarak hastanelerin ele alındığı gözlemlenmiştir. Oysa ki, heterojen bir yapıda olan hastanenin tümüne ilişkin genel bir etkinlik ölçümü ve performans değerlendirmesi yapmak son derece zordur. Yazın taramasında tespit edilen bu eksiklik çalışmanın motivasyon kaynağı olmuştur. Çalışma kapsamında KVB olarak hastanelerin bir birimine odaklanılmış ve hastanelerden çok daha farklı bir yapıya sahip olan "Acil Birimleri" seçilmiştir. Hastane birimleri arasında en öncelikli olan ve en yoğun çalışan birim Acil Servis birimidir ve yapısının hastaneden farklı düşünülmesi gerekmektedir. Literatürdeki VZA ile ilgili gerek hastanelerle ilgili yapılan, gerekse farklı sektörlerde yapılan çalışmalar, KVB'lerin homojen hale getirilmesi için alt gruplara ayrılması gerektiğini vurgulamıştır (örneğin: Sezen ve Gök, 2009; Thomas vd., 2011; Eren Şenaras, 2016). Nitekim, Weng vd. (2011) yaptıkları çalışmada literatürde hastanelerin tek bir KVB olarak değerlendirilmesine eleştiri olarak VZA ile Tayvan'daki hastanelerin acil servis birimleri için optimum etkinlik atamalarını bulmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada, hastaların acil serviste geçirdikleri zaman azaltılırken hasta memnuniyetinin artırılabilmesi adına en uygun acil servis çalışma modelinin kesikli zaman simülasyonu ve VZA yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kesikli zaman simülasyonu kullanılarak farklı kaynak tahsislerine sahip 32 acil servis çalışma

senaryosu yaratılmıştır ve çalışmanın ikinci kısmında bu alternatiflerin operasyon etkinlikleri VZA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Önerilen yöntemde girdi değişkenleri olarak hekim sayısı, hemşire sayısı ve yatak sayısı kullanılırken; çıktı değişkenleri olarak ise ortalama kaynak kullanım yüzdesi ve ortalama hasta bekleme süresi kullanılmıştır.

3. Kategorik VZA

VZA çoklu girdi ve çıktının olduğu KVB'lerin bağıl etkinliklerini değerlendirmek için kullanılan bir doğrusal programlama yöntemidir. İlk kez 1957 yıllında Farrell'ın önermiş olduğu Sınır Üretim Fonksiyonu ile şekillenmiş, 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes'in geliştirdiği CCR modeli, etkinlik skorlarını hesaplarken sabit getiri varsayımına dayanarak, 1984 yılında Banker, Charnes, Cooper tarafından önerilen BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında etkinlik analizi yapmaktadır. BCC modeli denklem (1)'de verilmiştir. Modelde yer alan notasyonların açıklaması ve modelin primal gösterimi aşağıda verilmiştir:

Y_{rk} : KVB *k*'nın ürettiği *r*.çıktı miktarı,
X_{ik} : KVB *k*'nın kullandığı *i*.girdi miktarı,
Y_{rj} : KVB *j*'nin ürettiği *r*.çıktı miktarı,
X_{ij} : KVB *j*'nin kullandığı *i*.girdi miktarı,
λ_j : KVB *j*'nin yoğunluk değeri,
n : KVB sayısı
m : girdi sayısı,
n : çıktı sayısı.

$$Enk\ \theta_k$$

Öyle ki,

$$\theta_k X_{ik} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} \geq 0,\ i = 1,...,m,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{rk},\ r = 1,...,s, \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0$$

VZA tüm değişkenlerin KVB tarafından kontrol edilebildiğini ve homojen olduğunu varsaymaktadır. Ancak bu düşünce her durumda geçerli olmamaktadır. KVB'ler üzerinde yönetici tarafından kontrol edilemeyen dışsal değişkenlerin varlığı söz konusudur (Taşköprü, 2014). Banker ve Moorey (1986) Kategorik VZA'yı, kontrol edilemeyen değişkenleri kategorik değişken olarak ele alan bir VZA modeli olarak geliştirmişlerdir. Bu şekilde, etkinlik skorları hesaplanacak olan KVB'ler kategorik değişkene göre alt gruplara ayrılacaktır ve etkinlik analizleri bu alt homojen gruplar dikkate alınarak yapılacaktır.

VZA'da KVB'lerin benzer bir üretim yapısında olmaları; yani, aynı girdi-çıktı türlerine sahip olmaları gerekmektedir (Aydemir, 2002). Kategorik VZA yönteminin en büyük avantajlarından biri etkinliği değerlendirilecek karar verme birimlerinin salt kendi içinde değil diğer grupların da değerlerini dikkate alarak hesaplayabilmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus karar verme birimlerinin doğru şekilde homojen gruplara ayrılmasını sağlayacak kategorik değişkenlerin belirlenmesidir.

Araştırma kapsamında hastanelerin acil servis birimlerinin performans ölçümü yapılırken kategorik değişkenlerin de analize dahil olmasını sağlayan Kategorik VZA yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca acil servis birimlerinin etkinlik analizi

yapılırken çıktı değişkenlerinden çok girdi değişkenleri üzerinde kontrol sağlanabilmesinden dolayı bu çalışma kapsamında ölçeğe göre değişken getirili ve girdi yönelimli kategorik VZA uygulanmıştır.
Çalışma kapsamında girdiye yönelik, ölçeğe göre değişken getirili Kategorik VZA kullanılmıştır. *k* belli bir KVB olmak üzere, her bir *k* için denklem (2) çözülecektir (Erpolat, 2011).

Y_{rk} : KVB *k*'nın ürettiği *r*.çıktı miktarı,
X_{ik} : KVB *k*'nın kullandığı *i*.girdi miktarı,
Y_{rj} : KVB *j*'nin ürettiği *r*.çıktı miktarı,
X_{ij} : KVB *j*'nin kullandığı *i*.girdi miktarı,
λ_j : KVB *j*'nin yoğunluk değeri,
m : girdi sayısı,
s : çıktı sayısı,
D_f : *KVB k*'nın kategori sayısı kümesi $f = \{1, 2, ..., l\}$
L : Kategori sayısı.

$$Enk\ \theta_k$$

Öyle ki,

$$\theta_k X_{ik} - \sum_{j \in \bigcup_{f=1}^{l} D_f} \lambda_j X_{ij} \geq 0,\ i = 1,..,m,$$

$$\sum_{j \in \bigcup_{f=1}^{l} D_f} \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{rk},\ r = 1,...,s, \qquad (2)$$

$$\sum_{j \in \bigcup_{f=1}^{l} D_f} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0,\ \mathrm{j} \in \bigcup_{f=1}^{L} D_f.$$

4. Uygulama

Çalışma kapsamında İstanbul Beyoğlu Bölgesi Kamu Hastaneleri Birliği'ne bağlı 7 hastanenin acil servis biriminde sunulan sağlık hizmetlerinin etkinliği, kategorik VZA kullanılarak 2014 yılı için mevsimsel (bahar, yaz, sonbahar ve kış) olarak değerlendirilmiştir. Etkinlik analizi yapılan hastanalerin dört tanesi devlet hastanesi, 3 tanesi ise eğitim ve araştırma hastanesi olarak hizmet vermektedir. Analiz örnekleminde yer alan hastaneler ve çalışmada kullanılan kısaltmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Analiz örneklemi

KVB	***Kısaltma***
İstinye Devlet Hastanesi	*İDH*
Eyüp Devlet Hastanesi	*EDH*
Gaziosmanpaşa Eğitim ve Araştırma Hastanesi	*GEAH*

Kağıthane Devlet Hastanesi	*KDH*
Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi	*OEAH*
Sarıyer İsmail Akgün Devlet Hastanesi	*SİADH*
Şişli Hamidiye Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi	*ŞHEAH*

Konuyla ilgili yazın taraması yapıldıktan sonra çalışma kapsamında kullanılabilecek tüm girdi ve çıktı değişkenlerinin bir listesi çıkarılmıştır. Bu değişken listesi, aralarında doktorların ve sağlık alanında görev yapan yöneticilerin oluşturduğu uzman bir grup tarafından değerlendirilmiştir. Uzman değerlendirmesinin ardından VZA modeli için Beyoğlu Kamu Hastaneleri Birliği Bilgi İşlem birimi tarafından mevcut durumda saklanmakta olan verilerin çalışma kapsamında kullanılmasına karar verilmiştir (uzman grup tarafından belirlenen değişkenlerin çoğu mevcut durumda saklanmadığı için elenmek zorunda kalınmıştır). Sonuç olarak performans analizi yapılırken "acil seviyesi" ve "acil müşahade yatak sayısı", girdi değişkenleri olarak ele alınırken; "sarı alan hasta sayısı" ve "sevk sayısı" çıktı değişkenleri olarak modelde yer alacaktır. Ülkemizde acil serviste hastanın acilliği (acil seviyesi) 3 gruba ayrılmaktadır: yeşil (poliklinikte muayene olabilecek, acil durumu olmayan hasta), sarı (acil durumu olan hasta) ve kırmızı (çok acil/kritik durumu olan hasta). Kategorik değişken olarak yer alan acil seviyesi için hastanelerin acil servis basamağı derecelerinden faydalanılacaktır. Söz konusu acil servis basamağı derecelerinin Kategorik VZA'da kullanılabilmesi için "1. basamak acil hizmeti=1", "2. basamak acil hizmeti=2", "3. basamak acil ve 2. basamak çocuk acil hizmeti=3" ve "3. basamak ve 3. basamak çocuk acil hizmeti=4" rakamları verilerek kategorilere ayrılacaktır. Acil servis basamakları, hastanenin altyapı açısından ne kadar gelişmiş olduğunu göstermektedir (4 en gelişmiş olmak üzere). Çalışma kapsamında seçilen girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Araştırmada kullanılan değişkenler

Girdi Değişkenleri	***Açıklama***
Acil seviyesi	Acil servisin basamak sayısı
Yatak sayısı	Acil müşahade yatak sayısı
Çıktı Değişkenleri	***Açıklama***
Hasta sayısı	Sarı alanda muayene edilen toplam hasta sayısı
Sevk sayısı	Toplam sevk sayısı: iç sevk ve dış sevk sayısının toplamı

Çalışma kapsamında ölçeğe göre değişken getiri ve girdi yönelimli kategorik VZA yöntemi kullanılarak 2 farklı VZA modeli denenmiştir. Çıktı olarak sadece hasta sayısını içeren Model 1 ve hasta sayısı ve sevk sayısını içeren Model 2 incelenmiştir. Anlamlı/girdi çıktı kümesini oluşturmak için farklı bir çıktı kümesiyle nasıl sonuçlar elde edildiğine bakmak amacıyla iki tür model denenmiştir. Bu iki modelde girdi değişkenlerinde değişikliğe gidilmemesinin nedeni ise "acil seviyesi" kategorik değşkeninin birçok farklı değişkeni kapsayan bir değişken olmasıdır (örneğin; üst basamak acil servislerde yoğun bakım ünitesi vardır). Girdi değişkeni olarak sadece sarı alanda muayene edilen toplam hasta sayısının ele alınmasının nedeni; yeşil alan hasta sayısının gerçek acil servis hastası olmaması, kırmızı alanda muayene edilen hastanın ise yaşamsal tehdit altında olması ve sayısının da az olmasıdır. Çalışmada önerilen modellerin analizi ve değerlendirilmesi Excel tabanlı DEA-Solver-LV(V8) programı kullanılarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen performans analizi sonucunda Model 1 ve Model 2'den elde edilen etkinlik skorlarına sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'ye yer verilmiştir

Tablo 3. Model 1-Etkinlik skorları

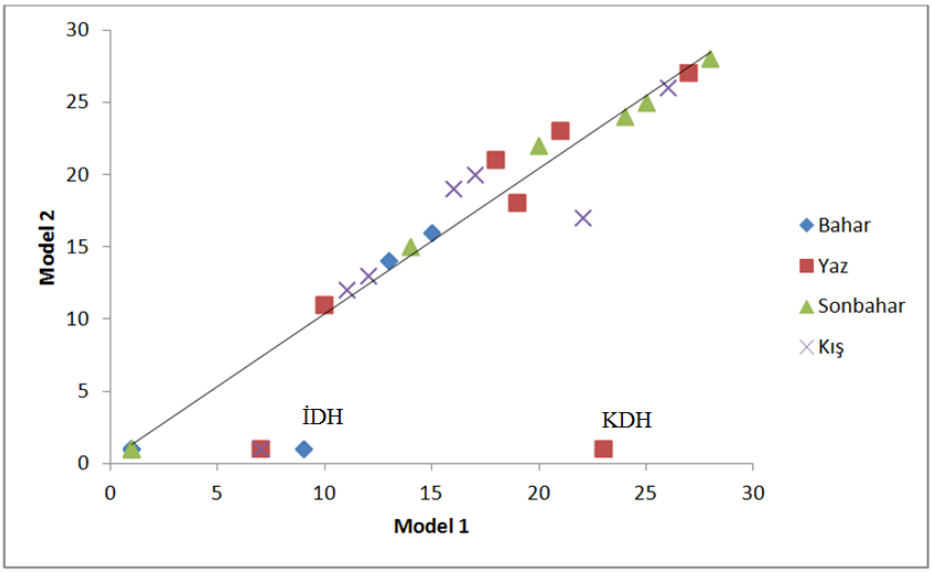
	İDH	*EDH*	*GEAH*	*KDH*	*OEAH*	*SİADH*	*ŞHEAH*
Bahar	0.931	0.990	0.883	0.842	1	1	1
Yaz	0.744	0.748	0.898	0.629	0.692	1	0.176
Sonbahar	0.522	0.725	0.861	1	0.417	1	0.112
Kış	0.688	1	0.653	0.956	0.845	1	0.212

Tablo 4. Model 2-Etkinlik skorları

	İDH	*EDH*	*GEAH*	*KDH*	*OEAH*	*SİADH*	*ŞHEAH*
Bahar	1	1	0.896	0.849	1	1	1
Yaz	0.787	0.756	0.919	1	0.692	1	0.176
Sonbahar	0.55	0.732	0.87	1	0.417	1	0.112
Kış	0.827	0.904	0.786	0.906	0.764	1	0.223

Elde edilen sonuçlar ışığında, Beyoğlu Bölgesinde yer alan hastanelerin, acil servis biriminde sunulan sağlık hizmeti yönünden genel olarak etkin olmadığı görülmüştür. Bahar dönemi, genel olarak etkinlik düzeyinin en yüksek olduğu sezon olarak gözlemlenmiştir, ve bu sezonda OEAH, SİADH ve ŞHEAH hastanelerinin acil servisleri her iki modelde de etkin bulunmuştur. Hatta bu sezonda; diğer üç sezonda da en düşük etkinliğe sahip olan ŞHEAH hastanesinin bile etkin olduğu görülmektedir. Yaz ve sonbahar dönemlerinde ise yüksek oranda sevk sayısına sahip lokal olarak hizmet veren KDH ve SİADH hastanelerinin acil servis hizmetleri etkin bulunmuştur. Sezonsal farklılıkların hangi nedenlerden kaynaklandığı hastane yöneticileriyle görüşülmesi ve farklılıkların pozitif yönde kapatılması için stratejiler geliştirilmesi gerektiği bir gerçek olarak önümüze çıkmaktadır. Hizmet veren yedi hastaneden sadece SİADH, acil servis biriminde sunulan sağlık hizmeti yönünden her sezonda ve her iki modelde de etkin bulunmuştur.

Model 1 ve 2'den elde edilen sıralamalar bir grafik üzerinde Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde İDH ve KDH hastanelerinin acil servis birimlerinin (bu hastanelerin acil servis birimlerinin ortak özelliği lokal olarak hizmet veren küçük ölçekli hastaneler olmalarıdır) Model 1'de etkin değil iken, Model 2'de etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 1: Model 1 ve Model 2'den elde edilen sıralamalar

Elde edilen bulgular doğrultusunda, sevk sayısının çıktılara eklenmesinin etkisini araştırmak amacıyla hipotez testi yapılmasına karar verilmiştir. Sıfır hipotezi (H_0), iki modelin analizi sonucunda lokal hastanelerin acil servis birimleri için elde edilen etkinlik skorları arasında fark olmaması olarak tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen çift yönü t-testi sonuucunda p-değeri 0.00827 olarak bulunmuş olup, 0.05 anlamlılık düzeyi için sıfır hipotezi reddedilmiştir ve sevk sayısının acil servis birimlerinin etkinliğinin araştırılması çalışmalarında önemli bir çıktı değişkeni olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak, acil servis birimlerinin işleyişinde önemli bir yere sahip olan sevk yükünün modelde göz ardı edilmesi sevk sayısının fazla olduğu ve yeterli alt yapıya sahip olmayan lokal hastanelerin etkinliğinin doğru bir şekilde değerlendirilememesine, etkinlik skorlarının azımsanmasına yani gerekenden düşük çıkmasına yol açmaktadır. Oysa ki saha gözlemlerine bakıldığında "sevk" ön muayene ve kaynak kullanımı gerektiren bir işlemdir. İDH, KDH ve SİADH gibi lokal hizmet veren hastaneler bu şekilde en temel ve öncelikli sağlık hizmeti olan ilk müdahele ve teşhis görevini üstlenmektedirler. Örneğin; İDH'da 2014 yılı Şubat ayında sarı alanda muayene edilen toplam hasta sayısı 7351 iken toplam sevk edilen hasta sayısı 2380'dir. Bu hastaneler görüldüğü gibi sevk sayıları yüksek hastanelerdir ve sevk sayısının yüksek olması sağlık hizmetinin karşılandığı ve hastanenin misyonunu yerine getirdiği anlamına gelmektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada VZA yöntemi kullanılarak Beyoğlu Kamu Hastaneleri Birliği'ne bağlı yedi hastanenin acil servislerinin farklı mevsimlerdeki etkinlik skorları iki farklı girdi-çıktı kümesi kullanılarak hesaplanmış, ve bu skorlara dayanarak hangi mevsimde hangi acil birimlerin etkin olduğu belirtilmiştir. Önerilen çalışma literatürdeki acil servislerle ilgili etkinlik analizi alanındaki boşluğu doldurmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında farklı acil servis basamaklarında hizmet veren acil servis birimlerini homojen alt gruplara ayıran ve bu alt grupları da dikkate alarak performans değerlendirmesi yapan kategorik VZA yöntemi önerilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen etkinlik skorları ile acil servis birimlerinin etkinliğinin düşük olduğu (etkin olmadığı) tespit edilmiştir. Etkinliğin düşük olması, bu birimlerin kaynaklarını etkin kullanmadığını göstermektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında yüksek oranda sevk sayısına sahip lokal olarak hizmet veren uydu hastanelerin acil servis birimlerinin etkinlik analizi yapılırken *sevk sayısı* çıktı kümesine eklendiğinde etkin hale geldiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak özellikle sevk yükü fazla olan lokal olarak hizmet veren hastanelerin acil servis birimlerinin etkinliğinin azımsanmaması için, çıktı olarak muhakkak sevk değişkeninin çalışmalarda kullanılması gerektiği saptanmıştır. Etkin olmayan acil servisler için, kaynaklarının etkin kullanılmamasının nedenleri araştırılarak, hastanelerin bağlı olduğu İstanbul Beyoğlu Bölgesi Kamu Hastaneleri Birliği başta olmak üzere sağlık politikasını etkileyen kurumlar ile hastane yöneticilerinin, daha akılcı bir kaynak kullanımı için gerekli önlemleri almaları gerekmektedir.

Bu çalışmanın devamında İstanbul'da sağlık hizmeti veren diğer bölgelerde yer alan hastanelerin acil servis birimlerinin de etkinlik analizi yapılabilir ve bu şekilde acil servis birimleri arasında karşılaştırma yapılabilir. Böylece önerilen yöntem ile il ya da bölge bazında benzer çalışmalar uzmanlarca tekrarlanarak elde edilen sonuçlar ışığında hastane yöneticileri performans yöntemi ve değerlendirilmesi konusunda stratejik kararlar alabilirler.

KAYNAKÇA

Atmaca, E., Turan, F., Kartal, G., Çiğdem, E.S. 2012. "Ankara İli Özel Hastanelerinin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü." *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi* 16(2): 135-153.

Aydemir, Zeynep C., 2002, "Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması." DPT Uzmanlık Tezleri, Yayın No: 2664.

Banker, R.D.,Charnes, A., Cooper, W. 1984. "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management Science* 30(9): 1078-1092.

Banker, R.D., Morey, R.C. 1986. "The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis." *Management Science* 32(12): 1613-1627.

Bal, V., Bilge, H. 20103 "Eğitim ve Araştırma Hastanelerinde Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü." *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi* 2(6): 1-13.

Bayraktutan, Y., Arslan, İ., Bal, V. 2010. "Sağlık Bilgi Sistemlerinin Hastane Performanslarına Etkisinin Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi: Türkiye'deki Göğüs Hastalıkları Hastanelerinde Bir Uygulama." *Gaziantep Tıp Dergisi* 16(3): 13-18.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. 1978. "Measuring The Efficiency of Decision Making Units." *European Journal of Operational Research* 2(6):429-444.

Cooper, W., Seiford, L., Tone, K. 2007. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers.

Çakmak, M., Öktem, M.Kemal, Ömürgönülşen, U. 2009. "Türk Kamu Hastanelerinde Teknik Verimlilik Sorunu: Veri Zarflama Analizi Tekniği ile Sağlık Bakanlığı'na Bağlı Kadın Doğum Hastanelerinin Teknik Verimliliklerinin Ölçülmesi."*Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi* 12(1).

Eren Şenaras, A. 2016. "Improving Effectiveness in the Emergency Service by Using Data Envelopment Analysis." *UHBAB Dergisi 17*:35-58.

Erpolat, S. 2011. *Veri Zarflama Analizi*, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Ersoy, K., Kavuncubaşı, Ş., Özcan, Y.A., Haris M.J. (1997) "Technical Efficiency of Turkish Hospitals: DEA Approach." *Journal of Medical Systems* 21(2): 67–74.

Farrell, M.J. 1957. "The Measurement of Productive Efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120: 253-290.

Gök, M.Ş., Sezen, B. 2013. "Analyzing the Ambiguous Relationship between Efficiency, Quality and Patient Satisfaction in Healthcare Services: The Case of Public Hospitals in Turkey." *Health Policy* 111(3): 290-300.

Gülsevin, G., Türkan, A.H. 2012. "Afyonkarahisar Hastanelerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi." *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 12:1-8.

Nunamaker,T.R. 1983. "Measuring Routine Nursing Service Efficiency: A Comparison of Cost Per Patient Day and Data Envelopment Analysis Models." *Health Services Research* 18(2): 183-208.

Sağlık Bakanlığı,. 2012. Türkiye Sağlıkta Dönüşüm Programı Değerlendirme Raporu (2003-2011). Ankara.

Sağlık Bakanlığı İstatistik, Analiz ve Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı.2014. Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2013. Ankara.

Sezen, B., Gök, M.Ş. 2009. "Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Hastane Verimliliklerinin İncelenmesi." *ODTÜ Geliştirme Dergisi* : 383-403.

Şahin, I. 2008. "Sağlık Bakanlığı Genel Hastaneleri ve Sağlık Bakanlığı'na Devreden SSK Genel Hastanelerinin Teknik Verimliliklerinin Karşılaştırmalı Analizi." *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi* 11(1): 1-47.

Şahin, I.,Özcan, Y.A. 2000. "Public Sector Hospital Efficiency for Provincial Markets in Turkey." *Journal of Medical Systems* 24(6): 307-320.

Şahin, I., Özcan, Y.A., Ozgen, H. 2011. "Assessment of Hospital Efficiency Under Health Transformation Program in Turkey." *Central European Journal of Operations Research* 19: 19-37.

Taşköprü, V. 2014. Klasik Veri Zarflama Analizi ile Kategorik Veri Zarflama Analizi Modellerinin Enerji Verimliliği Üzerinde Karşılaştırmalı İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Üniversitesi Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Temür, Y., Bakırcı, F. 2008. "Türkiye'de Sağlık Kurumlarının Performans Analizi: Bir VZA Uygulaması." Sosyal Bilimler Dergisi 10(3): 261-280.

Thomas, V. J., Sharma, S., Jain, S. K. 2011. "Using patents and publications to assess R&D efficiency in the states of the USA." *World Patent Information* 33(1), 4-10.

Weng, S.J.,Wang,L.M., Tsai, B.S., Chang, C.Y., Gotcher, D. 2011. "Using Simulation and Data Envelopment Analysis in Optimal Healthcare Efficiency Allocations." Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference :1295-1305.

Wilson, G.W., Jadlow, J.M. 1982. "Competition Profit Incentives and Technical Efficiency in the Provision of Nuclear Medicine Services." *The Bell Journal of Economics* 13(2):472-482.

Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

TEDARİKÇİ SEÇİMİNDE BULANIK-AHP ve VIKOR YÖNTEMİNİN BAĞLANTI ELEMANLARI FİRMASINDA UYGULANMASI

APPLICATION OF FUZZY-AHP AND VIKOR METHODS FOR SUPPLIER SELECTION IN AN INTERCONNECT COMPANY

İlkay SARAÇOĞLU, İstanbul Gelişim Üniversitesi, isaracoglu@gelisim.edu.tr
Hakan Ayhan DAĞISTANLI, hakanayhand@gmail.com

Öz: Tedarikçi seçim kararı, son yıllarda artan rekabet ve daralan kar marjları nedeniyle şirketlerin rekabet üstünlüğü sağlayabilmeleri için önemli kararlardan biri haline gelmiştir. Doğru tedarikçilerle çalışmak ürünlerin istenilen kalitede, daha düşük maliyetle ve yüksek hızda üretilmesini ve dağıtımını sağlayacak en önemli unsurlardan biridir. Tedarikçi seçimini etkileyen pek çok nicel ve nitel faktörler bulunması nedeniyle yöneticilerin tedarikçi kararını vermesi zorlaşmaktadır. Bu çalışmada, savunma sanayisinden, telekom sektörüne kadar pek çok sektöre bağlantı elemanları temin eden bir firmanın tedarikçi seçimi problemi Bulanık-AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Yönetim, Servis, Ürün ve Dökümantasyon olarak belirlenen ana kriterlerin ve toplam 19 alt kriterin önem derecelerini bulmak için seçimi etkileyecek nitel kriterlerinde bulunması nedeniyle çok kriterli karar verme yöntemi olan Bulanık-AHP yöntemi kullanılmıştır. VIKOR yöntemi uygulanarak 12 tedarikçinin tercih sıralaması sağlanmıştır. Şirketlerde genellikle tedarikçi seçim kararları uzman görüşlerine dayalı sezgisel olarak alınmaktadır. Bu çalışma ile Bulanık-AHP ve VIKOR yöntemleri birlikte kullanılarak dünyanın en büyük bağlantı elemanları üreticilerinden biri olan bir firmaya tedarikçilerinin seçilmesi ve sıralanması konusunda yardımcı olunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi Seçimi, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, VIKOR, Çok Kriterli Karar Verme

Abstract: Supplier selection decision is a very important task to provide competitive advantage for the organization and its supply chain. Doing business with right suppliers is one of the most significant factors enabling to produce in desired quality, in lower cost, in higher speed and to distribute. Because of the fact that there are a number of qualitative and quantitative factors influencing the choice of supplier, it is increasingly becoming harder for the managers to select the supplier. In this study, the right supplier selection problem of a company which provides many companies ranging from defense industry to telecommunication sector with interconnect items have been solved by employing fuzzy AHP and VIKOR methods. In order to find out the degree of important of the main criteria and total 19 sub-criteria determined as management, service, product and documentation, since there are qualitative criteria, which may affect the selection, fuzzy AHP being a multi criteria decision making method has been used. By applying VIKOR method, 12 suppliers have been ranked in preference. In general, in companies the decision of supplier selection has been made heuristically based on experts views with this study, by using both fuzzy AHP and VIKOR methods together, the firm, one of the biggest companies producing interconnect items, has been assisted in ranking and selecting the suppliers.

Keywords:Supplier Selection, Fuzzy Analytic Hierarcy Processing, VIKOR, Multi Criteria Decision Making

1. Giriş

Günümüzde, daralan kar marjları ve artan rekabet koşulları altında, işletmelerin faaliyetlerini sürdürebilmeleri için tedarik sürelerinin kısalması, servis ve ürün kalitesinin istenen seviyede olmasına bağlıdır. Tedarik zinciri yönetiminde malzemenin tedarikçiden alınması, ürünün üretilmesi, ürünün sevkiyatı ve müşteriye ulaşmasına kadar olan sürecin başarıyla sürdürülmesi, satınalma bölümünün uygun tedarikçilerle çalışmasına bağlıdır. Dolayısıyla tedarikçi seçimi satınalma için önemli bir karar aşamasıdır. Öz ve Baykoç'a göre (2004) tedarikçilerin rekabette avantaj elde edebilmeleri için rakiplerine oranla gösterecekleri performansın durumu, ana firmanın müşterilerine göstereceği performans üzerinde doğrudan rol oynar. Kritik olmayan malzemeler veya ofis gereçleri için kullanılacak tedarikçi kararının kolay olması muhtemeldir. Ancak, önemli malzemeler için firmanın rekabet avantajını potansiyel olarak etkileyecek yetkili tedarikçiler grubunun seçim prosesi karmaşık ve pek çok kritere bağlı olabilir (Wisher ve arkadaşları, 2005).

Yıldız'e göre (2014) tedarikçi seçim sürecine birden fazla karar vericinin ve farklı ölçümlerle ifade edilen birden fazla ve birbirleriyle çelişkili nicel ve nitel kriterlerin söz konusu olduğu karmaşık bir süreç olduğundan bahsetmektedir ve Yıldız (2014) çalışmasında literatürde tedarikçi seçiminde bu gibi sorunlara çözüm olabilecek Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) (Saaty, 1980), Analitik Ağ Prosesi (ANP) (Saaty, 1996), Basit Toplamsal Ağırlık (SAW-Simple Additive Weigthing) (Fishburn, 1967), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (Hwang ve Yoon, 1981) ve VIKOR (Opricovic, 1998) yöntemlerini sıralamıştır. William, Xiaowei ve Prasanta (2010) 2000 ila 2008 yılları arasındaki 78 makaleyi incelemiş ve tedarikçi seçimi problemleri için önerilmiş bireysel olarak veya bütünleştirilmiş olarak kullanılan yaklaşımlar bulmuştur.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), icadından bugüne kadar karar vericiler ve araştırmacılar için en çok kullanılan çok kriterli karar verme aracı olmuştur (Omkarprasad ve Kumar, 2006). Literatürde tedarikçi seçimi problemleri için AHP metodu kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Tedarikçi seçiminde değişik kriterler ele alınarak değerlendirme yapılmaktadır ve bu kriterler firmadan firmaya değişiklik gösterebilmektedir. Weber ve arkadaşları (1991) 1966 ila 1991 yılları arasında çok kriterli karar verme üzerine yapılmış 74 çalışmayı gözden geçirmişler ve tedarikçi seçimi için kullanılan kriterlerin listesini çıkarmışlardır. Kalite, maliyet ve zamanında teslimat kriterlerinin en önemli 3 kriter olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Dickson (1966) 273 satınalma müdürünün anketi ile tedarikçi seçimini etkileyen 23 kriter tanımlamıştır. Jain ve arkadaşları (2009) tüm kriterleri fiyat, kalite, çevrim süresi, servis, bağlantılar ve organizasyonel profil olmak üzere 6 kategoride toplamıştır. Agarwal ve arkadaşları (2011) 2000 ila 2011 arasında yayınlanan 68 araştırma çalışmasını incelemiş ve çalışmaların %10'unun AHP, %15'inin bulanık tabanlı yaklaşımlar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kubler ve arkadaşları (2016) 2004 ila 2016 yılları arasındaki 190 uygulamalı araştırma çalışmasını gözden geçirmişler ve çalışmaları uygulama alanlarına göre sınıflandırmışlardır. Vaidya ve Kumar (2006) literatür tarama çalışmasında AHP'nin Mühendislik, Personel ve Sosyal kategorilerde kullanıldığını göstermiştir. Aynı zamanda Vaidya ve Kumar (2006) AHP metodunun en çok gelişen ülkeler olan Hindistan ve Çin'de artan bir trend olduğundan bahsetmektedirler. Bu trend Behzadien ve arkadaşları (2012) ve Mardani ve arkadaşları (2015) literatür tarama çalışmalarında da tespit edilmiştir. Çok kriterli karar verme metodlarının ve TOPSIS tekniğinin en çok uygulandığı ülkeler arasında Tayvan, Türkiye, İran, Çin ve Hindistan sayılmıştır.

AHP metodu, karar vericilerin bilgilerini ele alsa da, karar vericiler ikili kıyaslamalarını, kesin ifadelerle yapmak yerine, bir aralık içerisinde ifade etmeyi tercih etmektedirler. Van Laarhoven ve Pedrytcz (1983) tarafından geliştirilen bulanık AHP yaklaşımı üçgen üyelik fonksiyonu kullanarak bulanık oranlar ile öncelikleri belirlemişlerdir. Kubler ve arkadaşlarının (2016) literatür taramasında Bulanık AHP metodunun daha çok Üretim, Endüstri ve Devlet kategorilerinde kullanıldığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada dünyanın en büyük bağlantı elemanları üreticilerinden olan bir firmanın tedarikçi seçimi problemi ele alınmıştır. Firmanın tedarikçi seçim problemi çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınarak Bulanık-AHP ve VIKOR yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Problemin çözümü için öncelikle Bulanık AHP ile kriterlerin ağırlıklarını belirlenmiş ve bu ağırlıklar kullanılarak VIKOR yöntemi ile alternatif tedarikçileri değerlendirecek tercih sıraları belirlenmiştir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı; firmanın çalışma sisteminin diğer firmaların tedarikçi seçim sisteminden farklı olması ve uygulanan kriterlerin farklılık göstermesidir. Firma bir şirketin Türkiye ve Ortadoğu Bölgesinden sorumlu "Merkez Pazarlama, Satış ve Koordinasyon Ofisi" konumunda çalışmaktadır. Şirketin değişik ülkelerde pek çok fabrikası ve bu fabrikalar ile müşteriler arasında koordinasyonu sağlayan, siparişleri yönlendiren pazarlama ofisleri bulunmaktadır. Firmanın amacı, müşterilerden gelen istek ve ihtiyaçları karşılayacak, yine aynı şirkete bağlı 12 alt üreticisinden (bu çalışmada tedarikçi olarak isimlendirilmiştir) en uygun olanının seçilmesini sağlayarak rekabette öne geçmektir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde AHP yönteminin öneminden ve literatürden örnekler verilmiştir. İkinci bölümde Bulanık AHP metodu ve adımları açıklanmaktadır. VIKOR metodu ve adımlarına üçüncü bölümde yer verilmektedir. Dördüncü bölümünde gerçek hayattan alınan tedarikçi seçim probleminin uygulaması anlatılmaktadır. Beşinci bölümde sonuçların yorumu ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalardan bahsedilmektedir.

2. Bulanık AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen geniş bir alanda kullanılan çok amaçlı karar verme metotlarından biridir. Dağdeviren ve arkadaşları (2004) çalışmalarında AHP yönteminin karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlarınıda dikkate aldığından ve bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermelerinin sağlandığından bahsetmektedirler. Ecer (2008)'e göre AHP yöntemi çok sayıda alternatif arasından seçim yapmayı sağlayabilen ve birden fazla karar vericinin süreçte yer alabildiği çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir ve seçim sürecinde yer alan kriterler nicel ya da nitel olabilir. Kuruüzüm ve Atsan (2001) AHP yönteminin aşamalarını karar verme problemini tanımlama, kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin alt problemlere ayrıştırılması ile hiyerarşik yapının oluşturulması ve hiyerarşinin en altında karar alternatiflerinin seçilmesi olarak özetlemektedirler.

Kahraman'a göre (2003) AHP yöntemi, uzman görüşüne önem verse de, tam olarak insanların duygusal düşüncelerini tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bu nedenle net kıyaslama puanlarının kullanıldığı AHP'den farklı olarak dilsel değişkenliği de dikkate alan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) karşılaştırma oranları bir ölçek aralığında verilmektedir. Böylece karar verme sürecinde meydana gelen belirsiz durumların üstesinden gelmek daha kolay bir hal almaktadır (Karakaşoğlu, 2008). Zadeh (1965) tarafından geliştirilen Bulanık küme teorisi verileri kesin hatlar ile değil aralıklarla sınıflandırır veya gruplandırır. Geleneksel kümenin üyeleri doğru-yanlış, evet-hayır, 0-1 gibi ikili esasa dayanırken bulanık küme teorisinde "büyük", "orta" ve "küçük" olarak veriler belirlenir (Kahraman ve

arkadaşları, 2004). Van Laarhoven ve Pedrcyz (1983), Saaty (1980)'nin önerdiği klasik AHP yönteminde karşılaştırma matrisinde üçgen üyelik fonksiyonunu kullanan Bulanık AHP yöntemi geliştirmişlerdir. Buckley (1985) ise yamuk üyelik fonksiyonları ile karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirlemiştir. Chang (1996) üçgen bulanık sayılar ile karşılaştırmaları yapmış ve ikili karşılaştırmalar için genişletme analizi yöntemini önermiştir. Bulanık kümeler teorisinde dilsel değişkenler ve bulanık sayılar kullanılarak değerlendirme yapılmaktadır. Bu ifadeler daha sonra bulanık sayılara dönüştürülmektedir. Kriterlerin karşılaştırılmasında Saaty'nin önem derecesi ve Chang (1996)'da kullanılan bulanık dilsel değişken karşılıkları Tablo 1'de verilmiştir. Üçgensel bulanık sayılara göre örneğin Kriter 1. Kriter 2'den mutlak derecede önemli ise üçgensel bulanık derecesi (7, 9, 9) olacaktır. Bunun karşıt değeri yani Kriter 2'yi Kriter 1'le karşılaştırma değeri (1/9, 1/9, 1/7) olacaktır.

Tablo 1. Karşılaştırmalarda kullanılacak dilsel değerler ve bulanık sayı karşılığı

Saaty'nin Önem Derecesi	Tanım	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
1	Eşit Derecede Önemli	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
3	Orta Derecede Önemli	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
5	Kuvvetli Derecede Önemli	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
9	Mutlak Derecede Önemli	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)
2	Ara Değerleri Temsil Etmektedir	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1/1)
4		(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
6		(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
8		(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Kaynak :D.Y. Chang, "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", European Journal of Operational Research, 95, 1996, 650.

Adım 1. Belirlenen kriterler için karşılaştırma yapılarak kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini gösteren karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matriste gösterilen $\widetilde{d_{ij}^{k}}$ k. karar vericinin i.kriterin j.kriter üzerindeki karşılaştırma değerini bulanık üçgensel sayı olarak göstermektedir. Burada "yaklaşık" işareti üçgen sayıları göstermektedir ve bu durum için örnek olarak $\widetilde{d_{12}^{1}}$ 1.karar vericinin 1.kriterin 2.kritere göre gösterdiği önem derecesini vermektedir.

$$\widetilde{A^{k}} = \begin{bmatrix} \widetilde{d_{11}^{k}} & \cdots & \widetilde{d_{1n}^{k}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{d_{n1}^{k}} & \cdots & \widetilde{d_{nn}^{k}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2.Eğer birden fazla karar verici mevcutsa, herbir karar vericinin $\widetilde{d_{ij}^{k}}$ değerlerinin ortalaması aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\widetilde{d_{ij}} = \frac{\sum_{k}^{K} \widetilde{d_{ij}^{k}}}{K} \quad (2)$$

Adım 3. Karar vericilerin ortalama değerleri hesaplandıktan sonra karşılaştırma matrisi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\widetilde{A} = \begin{bmatrix} \widetilde{d_{11}} & \cdots & \widetilde{d_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{d_{n1}} & \cdots & \widetilde{d_{nn}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 4. Buckley (1985)'e göre bulanık karşılaştırmalı değerlerin geometrik ortalama değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\widetilde{r_i} = \left(\prod_{j=1}^{n} \widetilde{d_{ij}}\right)^{1/n} \quad , i = 1.2. \ldots . n \tag{4}$$

Adım 5. Her bir kriter için bulanık ağırlıklar aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\widetilde{w_i} = \widetilde{r_i} \otimes (\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \ldots \oplus \widetilde{r_n})^{-1} \tag{5}$$

$$= (lw_i, mw_i, uw_i)$$

Adım 6. Her bir $\widetilde{r_i}$ için toplam vektörü bulunur ve (-1) kuvveti alınır.

Adım 7. i.kriterin bulanık ağırlığını ($\widetilde{w_i}$) bulmak için herbir $\widetilde{r_i}$ ters vektör ile çarpılır.

Adım 8. $\widetilde{w_i}$ hala bulanık üçgensel sayı olduğundan Chou ve Chang (2008) tarafından önerilen metod ile bulanık olmayan sayıya dönüştürülürler. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \tag{6}$$

Adım 9. M_i bulanık olmayan bir sayıdır. Fakat aşağıdaki eşitlik kullanılarak normalize edilmesi gerekmektedir.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \tag{7}$$

Bu 9 adım hem kriterler hem de alternatifler için normalize edilmiş ağırlıkların bulunması için yürütülür. Bu çalışmada yukarıda tanımlanan adımlar uygulanarak her bir kriterin ağırlıkları hesaplanmış ve VIKOR metodunda kullanılarak alternatiflerin öncelik sıraları belirlenmiştir.

3. VIKOR Yöntemi

Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm yöntemi olan VIKOR yöntemi Opricovic (1998) tarafından geliştirilmiştir. Opricovic ve Tzeng (2007) çalışması ile literatürde çok kriterli karar verme yöntemi olarak geçmeye başlamıştır (Kara ve Ecer, 2016). VIKOR yöntemi, birbirleri ile çelişen kriterler olduğunda seçenekler arasından uzlaşık sıralama listesine, uzlaşık çözüme karar verir. Yıldız (2014) çalışmasında VIKOR yöntemini maksimum grup faydası ve minimum bireysel pişmanlığı sağlayacak optimal uzlaşık bir çözüm olarak tanımlamaktadır. Her alternatif her bir kritere göre karar vericiler tarafından değerlendirilerek satırları (i=1,2, …,m) alternatifleri sütunları (j=1, 2, …, n) ise kriterleri göstermek üzere karar matrisi oluşturulur. VIKOR' un uzlaşık sıralama algoritması aşağıdaki adımları izler:

Adım 1. En iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi

Karar matrisi oluşturulduktan sonra her bir kriter için en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerleri belirlenir.

Eğer kriter fayda özelliklerine sahip ise:

$$f_j^* = max_{ij} \qquad f_j^- = min_{ij}$$

Eğer kriter bir maliyet ifade ediyorsa:

$$f_j^* = min_{ij} \qquad f_j^- = max_{ij}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Adım 2. Normalizasyon İşlemi ve Normalizasyon Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisini oluşturan kriter değerlerini birimlerden arındırmak için normalizayon işlemi yapılır. m alternatif ve n kriterlerden oluşan bir karar problemine ait karar matrisi, en iyi ve en kötü değere göre normalizasyon işlemi yapılarak mxn boyutlarında R normalizasyon matrisine dönüştürülür. Normalizasyon işlemi aşağıdaki şekilde yapılır.

r_{ij}=(f_i^* - x_{ij})/(f_i^*- f_i^-) (8)

Adım 3. Normalize Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması

$w_j$kriter ağırlıklarını göstermek üzere, normalize karar matrisinde kriterlerin ilgili ağırlıklarla çarpılması ile V ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (9)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Adım 4. $S_i$veR_i Değerlerinin Hesaplanması

i. Alternatifin en iyi değere olan uzaklığın toplamı, S_i; i. Alternatifin en iyi değere olan uzaklığın toplamını, R_i göstermektedir .

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} \quad (11)$$

$$R_i = max_j v_{ij} \quad (12)$$

Adım 5. Q_i Değerlerinin Hesaplanması

Q_i değerlerinin hesaplanmasında kullanılan 'q' parametresi ise kriterlerin çoğunluğunun ağırlığını (maksimum grup faydasını) göstermektedir. 'q' değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, (1- q) ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade eder.

$$Q_i = q.(S_i - S^*)/(S^- - S^*) + (1- q).(R_i - R^*)/(R^- - R^*) \quad (13)$$

Bu eşitlikte kullanılan S^*, S^-, R^* ve R^- değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$S^* = min_i S_i$ $\quad$ $S^- = mak_i S_i$ $\quad$ $R^* = min_i R_i$ $\quad$ $R^- = mak_i R_i$

Adım 6. Alternatiflerin sıralanması ve koşulların denetlenmesi

S_i, $R_i$ve Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanarak alternatifler arasındaki sıralamanın belirlendiği üç sıralama listesi elde edilir. Sıralama işleminin ardından sıralamanın doğruluğunu sınamak üzere minimum Q_i değerine sahip alternatifin aşağıdaki iki koşulu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Adım 7. Uzlaştırıcı çözümün belirlenmesi. Eğer aşağıdaki iki koşul sağlanırsa, Q_i indeksi kullanılarak belirlenen çözüm, uzlaştırıcı çözümdür.

- *Kabul edilebilir avantaj*

Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralandığı durumda ilk sırada yer alan alternatif A^1 ve ikinci sırada yer alan alternatif A^2 olarak gösterildiğinde, kabul edilebilir avantaj,

$Q(A^2)$- $Q(A^1) \geq DQ$ koşuluna bağlıdır.

DQ parametresi alternatif sayısına bağlı olup, m alternatif sayısını göstermek üzere,

DQ=1/(m-1) eşitliği ile hesaplanır.

- *Kabul edilebilir istikrar koşulu*

Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralandığı durumda ilk sırada yer alan A^1 alternatifi, S ve/veya R değerlerine göre küçükten büyüğe yapılan sıralamada da minimum değere sahip en iyi alternatiftir. Bu durumda uzlaşık çözüm karar verme sürecinde istikrarlıdır. Eğer kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmıyor ise A^1 ve A^2 alternatiflerinin her ikisi de uzlaşık ortak çözüm olarak kabul edilir. Burada üst sınır değeri olan maksimum M, $Q(A^m)$- $Q(A^1)<DQ$ ilişkisine göre belirlenir. Q değerlerine göre sıralanan en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir (Yıldız, 2014; Opricovic ve Tzeng, 2007).

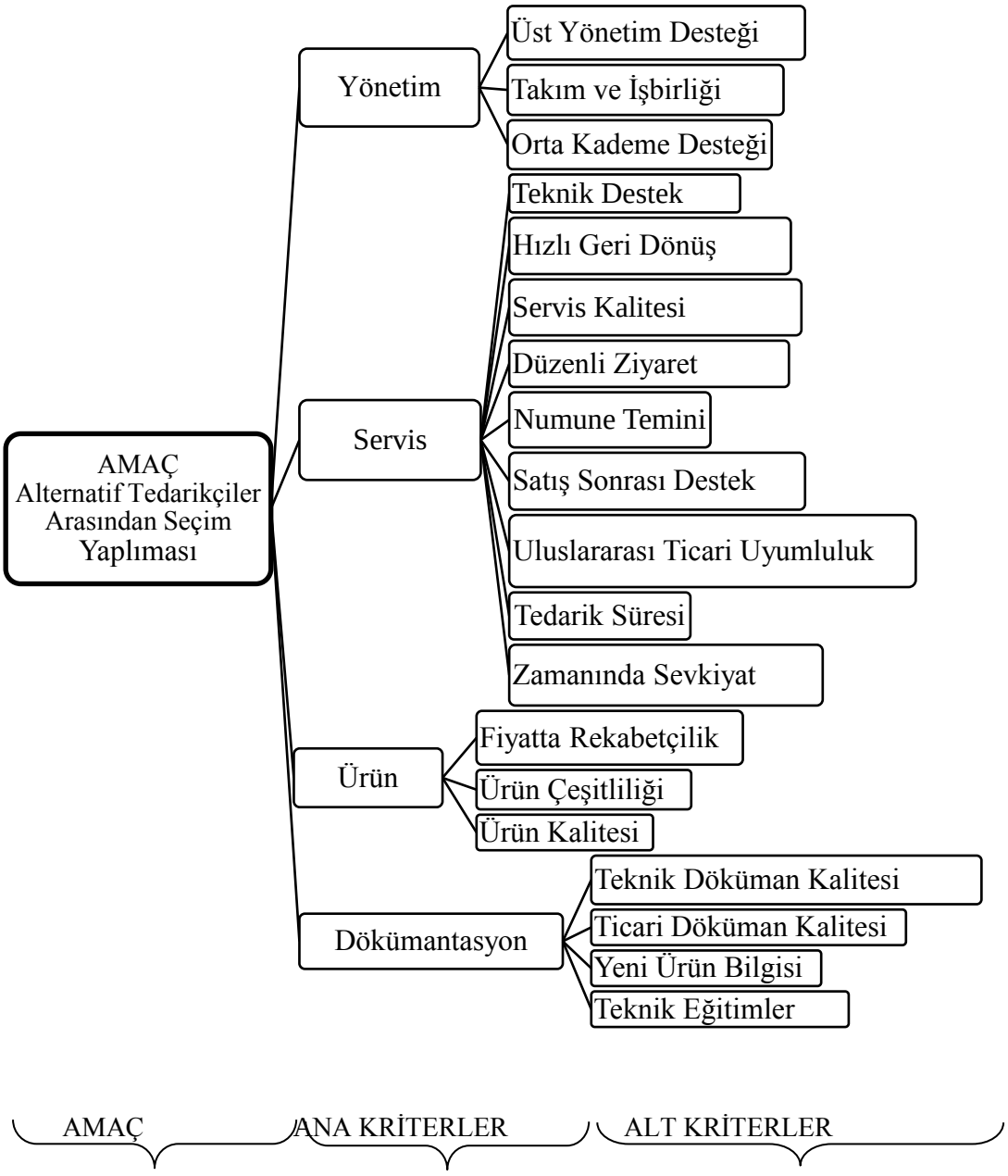
4. Uygulama

Bu çalışmanın amacı, dünyanın en büyük bağlantı elemanı üreticileri arasında olan bir şirketin tedarikçi seçimi problemi için Bulanık-AHP ve VIKOR yöntemlerini uygulayarak şirket yöneticisine tedarikçi seçimi kararında yardımcı olmaktır. Bu problemin çözümü için ilk önce firma yetkilileri ile görüşerek tedarikçi seçiminde etkili olan kriterler, alt kriterler belirlenmiştir. İş Geliştirme Müdürü pozisyonunda çalışan dört mühendis ve bu projenin bizzat oluşturulmasında etkili olan firmanın Genel Müdürü (dünyada 300'den fazla firma denetlemiş, 13 yıldır bu alanda tecrübesi olmak üzere toplam 28 yıllık iş deneyimi bulunmaktadır) ile yapılan görüşmeler sonucunda Şekil 1'de gösterildiği gibi 4 ana kriter ve 19 alt kriter elde edilmiştir. Her karar verici tüm alternatifler üzerinde eşit değerlendirme hakkına sahiptir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde 150'den fazla fabrikaya sahip olan şirketin Türkiye'de bulunan "Merkez Pazarlama, Satış ve Koordinasyon" ofisinin tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Firma telekom sektöründen askeri sektöre kadar pek çok sektöre ürün temin etmektedir. Bu ürünlerin temininde belirlenen kriterlere göre seçim yaparak üreticilerden müşterilerine ürün tedariğinde en iyi üreticiyi bulmaya çalışmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, diğer tedarikçi seçim problemlerinden farklı olarak kullanılan ana kriterler ve alt kriterler farklılık göstermektedir. Bu çalışmaya en yakın sektörde yapılmış Ar ve arkadaşları'nın (2015) kablo sektörü için tedarikçi seçiminde belirledikleri 5 ana kriter ve 17 alt kritere göre bu çalışmada ana farkın dökümantasyon ve yönetim desteği kriterleri ile olduğu görülmektedir.

Temel amacı, bağlantı elemanları tedarikçi seçimi sürecinin kolaylaştırılması olan bu çalışmanın uygulama noktasında sık başvurulan iki ana yöntemden faydalanılmıştır. Bu bağlamda asıl kriterlerin ve bunlara bağlı alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Bulanık AHP, tedarikçiler arasından seçim yapma aşamasında ise VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

Bulanık AHP ve VIKOR yöntemini kullanmak üzere dünyanın en büyük bağlantı üreticilerinden birinin şirket yetkilileriyle görüşülerek tedarikçilerden sağlaması beklenilen özellikler saptanmış ve bu özellikler ana kriter olarak belirlenmiştir. Ana kriterlerin içerdiği alt kriterler tanımlanmıştır.

Uygulama kısmında belirlenen alt ve ana kriterler üzerinde 12 alternatif tedarikçi üzerinden yapılan anket sonuçlarını kullanarak önce Bulanık AHP analizine ilişkin basamaklar ve basamakların sonuçları elde edilecek, ardından ise VIKOR yöntemine geçilerek Bulanık AHP analizinin çözümünde elde edilecek olan ağırlıklar kullanılarak VIKOR yöntemi basamaklarının uygulama işlemleri gösterilecektir. Yönetim, ürün, servis ve dökümantasyon olmak üzere 4 ana seçim kriteri ve bu kriterleri belirleyen toplam 19 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tedarikçilerin Tercih Edilme Sebeplerini Oluşturan Özelliklerin Belirlenmesine Ait AHP Hiyerarşisi

4.1. Bulanık AHP ile Seçim Kriterlerinin Ağırlıklarına Karar Verilmesi

Her bir kriterin ağırlıklarının hesaplanması için şirket yetkilileriyle görüşülerek kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılması için sorular sorularak Saaty (1980) 'nin önem derecesi kullanılarak karşılaştırmanın yapılması sağlanmıştır. Bu değerler dilsel değişkenleri içermesi amacıyla bulanıklaştırma işlemi için Tablo 1'deki Chang (1996)'in dönüştürme tablosu kullanılmıştır. Her bir kriter için yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen karşılaştırmalı tablolar aşağıda verilmiştir. Yönetim kriteri için belirlenen 3 alt kriter olan Üst Yönetim Desteği, Takım ve İşbirliği ve Orta Kademe Desteği için bulanık üçgensel sayılar "l" alt, "m" orta ve "u" üst olmak üzere (l, m, u) olarak ifade edilmiş karşılaştırmalı değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yönetim kriterinin karşılaştırma değerleri

Uzman Değerlendirmesi	Üst Yönetim Desteği	Takım ve İşbirliği	Orta Kademe Desteği
Üst Yönetim Desteği	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)
Takım ve İşbirliği	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,1,1)
Orta Kademe	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)

Üst Yönetim Desteği kriteri için bulanık karşılaştırmalı değerlerinin geometrik ortalama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$\widetilde{r_i}$ = [$(1*1/5*1)^{1/3}$; $(1*1/3*3)^{1/3}$; $(1*1*5)^{1/3}$)] = [0.58, 1.00, 1.71]

Yönetim kriterinin tüm alt kriterleri için belirlenen geometrik ortalama değerleri Tablo 3'de gösterilmektedir. Tabloda ayrıca toplam değerler ve (-1). kuvveti ve artan sıralamadaki değerleri verilmektedir.

Tablo 3. Yönetim Kriteri Geometrik ortalama değerleri

Yönetim Kriterleri	l	m	u
Üst Yönetim Desteği	0.58	1.00	1.71
Takım ve İşbirliği	1.00	1.44	1.71
Orta Kademe Desteği	0.58	0.69	1.00
Toplam	2.17	3.13	4.42
Ters değer (-1.kuvveti)	0.461	0.319	0.226
Artan sıralama	0.226	0.319	0.461

Yönetim kriterinin üst yönetim desteği için bulanık ağırlık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$\widetilde{w_1}$ = [(0.58*0.226); (1*0.319); (1.71*0.461)] = [0.132; 0.318; 0.788]

Üst yönetim desteği için bulanık olmayan ağırlık değeri M_1=(0.132+0.318+0.788)/3=0.413 olarak bulunur. Normalize edilmiş ağırlık değeri ise 0.413/(0.413+0.492+0.271)=0.351 olarak hesaplanır. Diğer Yönetim alt kriterleri için hesaplanmış ağırlık değerleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Yönetim kriterinin bulanık ağırlık değerleri ve normalize edilmiş ağırlık değerleri

Yönetim Kriteri	l	m	u	M_i	N_i
Üst Yönetim Desteği	0.132	0.318	0.788	0.413	0.351
Takım ve İşbirliği	0.226	0.461	0.788	0.492	0.418
Orta Kademe Desteği	0.132	0.221	0.461	0.271	0.231

Tablo 4'e göre yönetim kriterini etkileyen kriterler sırasıyla Takım ve İşbirliği, Üst Yönetim Desteği ve Orta Kademe Desteğidir. Diğer ana kriterler için karşılaştırmalı bulanık değerler ve hesaplanan ağırlık değerleri Tablo 5'ten Tablo 7'ye kadar verilmektedir.

Tablo 5. Ürün kriterinin bulanık karşılaştırmalı değerleri

Ürün Kriteri	Fiyatta Rekabetçilik	Ürün Çeşitliliği	Ürün Kalitesi	Mi	Ni
Fiyatta Rekabetçilik	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	0.152	0.118
Ürün Çeşitliliği	(1,3,5)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	0.365	0.285
Ürün Kalitesi	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.765	0.597

Ürün kriteri için Tablo 5'e göre sırasıyla Ürün Kalitesi, Ürün Çeşitliliği ve Fiyatta Rekabetçilik alt kriterlerinin önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Servis kriterinin alt kriter karşılaştırmalı bulanık değerleri ve normalize edilmiş ağırlık değerleri

Servis Kriteri	Teknik Destek	Hızlı geri dönüş	Servis Kalitesi	Düzenli Ziyaret	Numune Temini	Satış Sonrası Destek	Uluslararası Ticari Uyumluluk	tedarik süresi	zamanında sevkiyat	Mi	Ni
Teknik Destek	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(7,9,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.250	0.203
Hızlı geri dönüş	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.206	0.168
Servis Kalitesi	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.147	0.120
Düzenli Ziyaret	(1/9,1/7,1/7)	(1/9,1/7,1/7)	(1/9,1/7,1/7)	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/7)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)	0.018	0.015
Numune Temini	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(7,9,9)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	0.089	0.073
Satış Sonrası Destek	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.137	0.112
Uluslararası Ticari Uyumluluk	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	0.126	0.102
Tedarik Süresi	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1)	0.078	0.064
Zamanında Sevkiyat	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.177	0.144

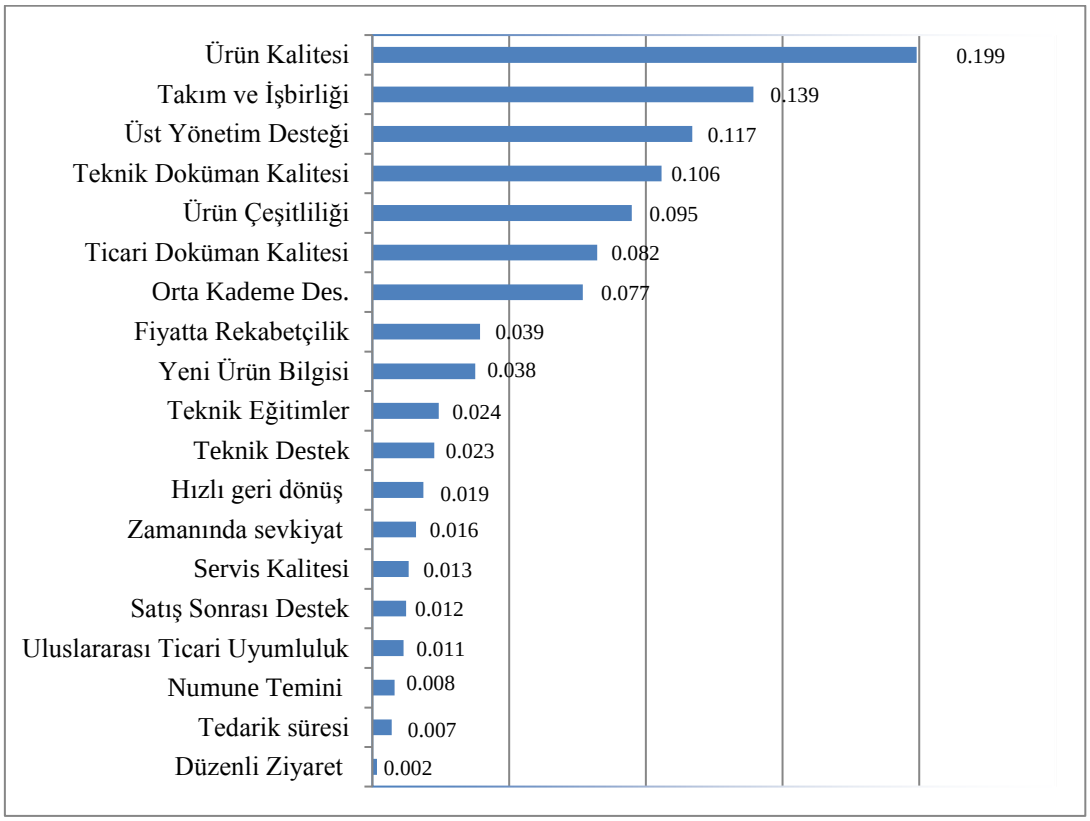
Servis kriteri için Tablo 6'ya göre en etkili alt kriterin Teknik Destek, en az etkiye sahip kriterin Düzenli Ziyaret olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Dökümantasyon kriteri alt kriterlerinin karşılaştırmalı bulanık değerleri ve ağırlık değerleri

Dökümantasyon kriteri	Teknik Doküman	Ticari Doküman	Yeni Ürün Bilgisi	Teknik Eğitimler	Mi	Ni
Teknik Doküman Kalitesi	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(3,5,7)	0.492	0.423
Ticari Doküman Kalitesi	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	0.383	0.329
Yeni Ürün Bilgisi	(1/7,1/5,1/3	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	0.175	0.151
Teknik Eğitimler	(1/7,1/5,1/3	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	0.113	0.097

Dökümantasyon kriteri için Tablo 7'ye göre en etkili alt kriterin Teknik Dökümantasyon Kalitesi, en az etkiye sahip kriterin Teknik Eğitimler olduğu görülmektedir.

Tüm kriterler birlikte değerlendirildiğinde hesaplanan "ağırlık değeri / ana kritere ait alt kriter sayısı" ile herbir kriterin ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Örneğin "Ürün kalitesi" kriteri için ürün ana kriterinin 3 alt kriteri olduğundan hesaplanan ağırlık değeri 0.597/3 olmak üzere 0.199 hesaplanmıştır. Bu ağırlıklara göre en etkiliden en etkisize göre sıralanmış olan kriterlerin ağırlıkları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bulanık AHP sonucunda Alt Kriterlerin Global ağırlık değerleri

Böylece tüm alt kriterlerle birlikte tedarikçi seçimini etkileyen en etkili kriterin Ürün Kalitesi, Takım ve İşbirliği, Üst Yönetim Desteği olduğu, en etkisiz son üç kriterin ise Numune Temini, Tedarik Süresi ve Düzenli Ziyaret olduğunu göstermektedir. Birinci aşama sonunda elde edilen kriter ağırlık değerlerine bağlı olarak VIKOR yönteminin uygulanacağı ikinci aşama ile alternatiflerin tercih sıralamaları elde edilecektir.

Tablo 8. Tedarikçilerin herbir alt kriter için karşılaştırmalı önem dereceleri

	Üst Yönetim Desteği	Takım ve İşbirliği	Orta Kademe Des.	Teknik Destek	Hızlı geri dönüş	Servis Kalitesi	Düzenli Ziyaret	Numune Temini	Satış Sonrası Destek	Uluslararası Ticari Uyumluluk	tedarik süresi	zamanında sevkiyat	Fiyatta Rekabetçilik	Ürün Çeşitliliği	Ürün Kalitesi	Teknik Doküman Kalitesi	Ticari Doküman Kalitesi	Yeni Ürün Bilgisi	Teknik Eğitimler
Global Ni	0.117	0.139	0.077	0.023	0.019	0.013	0.002	0.008	0.012	0.011	0.007	0.016	0.039	0.095	0.199	0.106	0.082	0.038	0.024
AAO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	9	5	7	7	5	5
ALB	9	7	9	7	7	7	9	9	3	7	5	7	5	3	9	7	9	9	9
SCX	9	7	9	7	7	7	9	3	5	7	5	5	5	3	7	7	9	7	9
LTD	5	5	5	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3
ALB D	5	3	5	3	5	3	3	7	5	3	7	5	5	3	7	3	3	3	3
IND	5	7	5	5	7	7	5	5	5	7	5	5	7	5	5	3	3	3	3
ACC	5	7	5	7	5	5	7	3	5	7	5	5	5	5	7	5	7	5	5
AFS	3	5	3	7	7	5	3	3	5	7	7	5	7	3	7	7	5	5	5
RF	3	3	3	3	3	5	1	3	5	5	5	5	5	5	7	3	3	3	3
SVM	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	7	5	3	5	5
TMS	3	1	3	3	3	5	1	1	5	5	5	5	5	5	7	3	3	1	1
INV	5	5	5	5	5	5	3	1	5	5	3	5	3	5	5	1	1	3	5
*fi**	9	7	9	7	7	7	9	9	5	7	7	7	7	9	9	7	9	9	9
fi-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	5	1	1	1	1

4.2. VIKOR ile tedarikçilerin tercih sıralamalarının bulunması

Çok kriterli karar verme tekniklerinden olan ve bu çalışmanın ikinci çözüm basamağını oluşturan VIKOR yönteminin uygulanmasında Bulanık AHP Analizi sonucunda elde edilen ağırlıklar w_i (Global N_i) değerlerini oluşturmaktadır. Opricovic ve Tzeng (2007) VIKOR yöntemini üç farklı çok kriterli karar verme problemi olan TOPSIS, PROMETHEE ve ELECTRE ile karşılaştırmışlardır. VIKOR yönteminin diğer yöntemlere göre herzaman ideale yakın sonuçlar vermesi, hem grup faydasını maksimize edip hem de bireysel pişmanlığı minimize edecek dengeyi kurabilen bir yöntem olması nedeniyle bu çalışmada tedarikçilerin sıralanması ve seçimi için kullanılmıştır.

Şirket yetkilileriyle yapılan görüşmeler ile alternatiflerin herbir kriter açısından değerlendirilmesi sonucu elde edilen karşılaştırma değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Alternatif üreticilerin kriterlere göre değerlendirilmesinde kesin sayılarla ifade edilebilmesi nedeniyle VIKOR yönetiminde bulanık sayılar kullanılmamıştır. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirme değerleri 1: Çok kötü; 3: Kötü; 5: Orta; 7: İyi; 9: Çok iyi olarak alınmıştır. VIKOR adımlarının uygulanması için en iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi işleminde kriterin maliyet veya fayda kriteri olması durumuna göre puanlandığı sütundaki en iyi ve en kötü değerlerde Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kriterler fayda kriteri olduğundan dolayı en iyi kriter değerleri maksimum puanları en kötü kriter değerleri ise minimum puanları ifade etmektedir.

Normalizasyon matrisinin değerleri (8) nolu eşitlikten faydalanılarak hesaplanmıştır. Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılmasında AHP Analizi sonucu bulunan kriterlerin global ağırlık değerleri (global N_i) ile ağırlıklandırma yapılmıştır. Her alternatif için S_i değerleri ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki o alternatifin satır değerleri toplamını, R_i değeri ise yine o alternatifin maksimum satır değerini ifade eder ve son aşamada Q_i değerleri ise Tablo 9'daki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 9. Alternatifler için hesaplanan Si, Ri ve Qi değerleri

			Qi				
	Si	Ri	(q=0)	(q=0.25)	(q=0.5)	(q=0.75)	(q=1)
AAO	0.715	0.199	1.000	0.994	0.987	0.981	0.974
ALB	0.123	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SCX	0.237	0.100	0.044	0.080	0.116	0.152	0.188
LTD	0.730	0.199	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ALB D	0.629	0.100	0.044	0.242	0.439	0.636	0.833
IND	0.558	0.199	1.000	0.929	0.858	0.787	0.716
ACC	0.391	0.100	0.044	0.144	0.243	0.342	0.441
AFSI	0.476	0.100	0.044	0.178	0.312	0.446	0.580
RF	0.651	0.100	0.044	0.250	0.457	0.663	0.869
SVM	0.491	0.100	0.044	0.185	0.325	0.465	0.606
TMS	0.715	0.139	0.427	0.564	0.701	0.837	0.974
INV	0.715	0.199	1.000	0.994	0.987	0.981	0.975
*S**	*0.123*	*S-*	*0.730*	*R**	*0.095*	*R-*	*0.199*

Tablo 10. Altenatiflerin Qi değerlerine göre sıralanması ve koşulların değerlendirilmesi

	Si	Ri	(q=0)	(q=0.25)	(q=0.5)	(q=0.75)	(q=1)
AAO	10	9	9	10	10	10	10
ALB	1	1	1	1	1	1	1
SCX	2	2	2	2	2	2	2
LTD	12	10	9	12	12	12	12
ALB D	7	3	2	6	6	6	7
IND	6	11	9	9	9	8	6
ACC	3	4	2	3	3	3	3
AFS	4	5	2	4	4	4	4
RF	8	6	2	7	7	7	8
SVM	5	7	2	5	5	5	5
TMS	9	8	8	8	8	9	9
INV	11	12	9	11	11	11	11
$Q(A^2)$			0.044	0.080	0.116	0.152	0.188

$Q(A^1)$			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$Q(A^2)$-$Q(A^1)$			0.044	0.080	0.116	0.152	0.188
DQ			0.091	0.091	0.091	0.091	0.091

VIKOR sonuçları için; maksimum faydayı bulmak için q değeri için duyarlılık analizi 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 1.00 ihtimallerine göre yapılmış ve alternatifler arasında minimum pişmanlığı sağlayacak değerler Tablo 10'da gösterilmiştir. Lixin, Ying ve Zhiguang (2008) q değeri olarak genelde 0.5'e bakıldığını belirtmektedirler. Kabul edilebilir avantaj (Koşul 1) q=0 ve q=0.25 de sağlanmamakta olup, Koşul 1, q=0.50, 0.75 ve 1.00 değerleri için sağlanmaktadır. İlk sırada yer alan ALB alternatifi hem S_i ve R_i değerlerinin sıralamasında da birinci sırada yer almaktadır ve Kabul edilebilir istikrar koşulu olan Koşul 2'yi sağlamaktadır. Tüm alternatifleri sıralamak için S_i, R_i ve Q_i değerlerinin sıralamasına bakıldığında q=1.00 değeri ile S_i değerlerinin sıralaması aynı olması nedeniyle q=1.00 değerine göre tedarikçilerin alternatif sıralaması Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Alternatiflerin VIKOR sonucunda sıralaması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ALB	**SCX**	**ACC**	**AFS**	**SVM**	**IND**	**ALB D**	**RF**	**TMS**	**AAO**	**INV**	**LTD**

Bulanık AHP ve VIKOR yöntemleri uygulanması sonucunda sırasıyla ALB, SCX, ACC tedarikçilerinin ilk üç sırada yer aldığı ve diğer alternatiflerinde puanlamalarıyla birlikte sıralamaları tespit edilmiştir. En son sırada ise LTD tedarikçisi yer almaktadır. Tedarikçi seçiminde en başta amaçlanan hedeflere ulaşılmış, çok kriterli karar verme problemlerinde en çok başvurulan Bulanık Mantık, AHP ve VIKOR yöntemlerinin tümünün etkin kullanımı ile şirket yöneticilerine ve karar vericilere, duygusal ve mantıksal kriterlerin sayısal olarak değerlendirilebilmesinde net olarak işaret edilen tedarikçilerin seçimi ile kolaylık sağlanmıştır.

5. Sonuç

Tedarik Zinciri Kavramı, rekabete dayalı kısa süreli ticaretin hakim olduğu anlayıştan öteye geçmiş ve uzun süreli ilişkilerin de ilerisine giderek stratejik ortaklık olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Dolayısıyla bu tür güvenilir ilişkilerin kurulacağı tedarikçileri seçmek yöneticiler için kritik bir karar sürecidir.

Bu çalışmada tedarikçinin değerlendirilebilmesi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesine ve VIKOR metoduna dayanan bir çözüm süreci sunulmuştur. Buna göre AHP aşamasında "Yönetim", "Servis", "Ürün", "Dökümantasyon" başlıkları altında 4 ana kriter ve bu ana kriterlere bağlı 19 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler üzerinden gerekli işlemler yapılmış ve alternatif tedarikçilerden ön plana çıkanlar belirlenmiştir. Bulanık AHP analizi sonucu elde edilen global ağırlıklar VIKOR yönteminde de kullanılarak gerekli işlemler yapılmış ve kabul edilebilir avantaj ve istikrar koşullarını sağlayan verilere ulaşılmıştır. Birbirini destekleyen bu süreçler sonucunda 12 alternatif tedarikçiden ALB, SCX ve ACC firmalarının ilk üç sırada yer aldığı net şekilde bir şekilde ortaya çıkmıştır. Çalışmanın her basamağı İş Geliştirme Departmanı ile koordineli bir şekilde yürütülmüş ve çalışma sonucunda departman müdürleri ve genel müdüre sunum yapılmıştır. Şirket yetkililerinin değerlendirmeleri ve bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılmış ve çalışma sonucunun aynen şirkette kullanılması öngörülmüştür.

Bu çalışmanın sonucunda firma ile yapılan görüşmede tüm üreticileri ile çalışmaları gerektiğini ve sonuçlara göre geleceğe yönelik hangi üreticilerle çalışabileceklerini, kendisini geliştirmesi ve eksiklerini gidermesi gereken üreticilerinin de ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Sonuçlar performansa yönelik kriterler dikkate alındığından performansı iyi olan üreticileri göstermekte olup çalışmaya finansal boyutun eklenmesi durumunda sıralamanın değişebileceğini belirtmişlerdir. Bunun nedeni ise performansları kötü olmasına rağmen ciroları çok daha yüksek olan üreticilerin son sıralarda çıkmasıdır. Bu üreticilerin müşteri tarafından yıllardır bilinmesi ve ürün çeşitliliğinin çok fazla olması olarak açıklanmıştır. Bu durumun yıllar geçtikçe değişeceği ve ilk sıralarda çıkan üreticilerin daha yüksek cirolara ulaşacakları ifade edilmiştir.

Bilindiği üzere günümüzde tedarikçi seçimi konusu bilgilerin belirsiz ve karmaşık olmasına dayalı olarak oldukça zor bir konu olarak anılmaktadır. Karar verme sürecinde AHP kullanılarak bu belirsizlik ve karmaşıklıklar en az seviyeye indirilmeye çalışılmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesi çözümü karmaşık olan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olup çözümü oldukça kolaylaştırmakta ve karar vericilerin doğru kararlar vermelerine olanak sağlamaktadır. Bulanık AHP uygulayarak da verilere dilsel değişkenler eklenmesi ile karşılaştırmalarda yapılacak hataların minimize edilmesi sağlanmıştır. Bu bulgularla çalışma, verilerin alındığı dünyanın en büyük bağlantı elemanları üreticisi olan firmaya, seçim konusunda kuvvetli verilerle yol gösterip, ilgili birim yöneticisinin karar verme sürecinde önemli bir kaynak olarak kullanmasını sağlamayı hedeflemektedir. VIKOR yöntemi ile de fikir ayrılıklarının çözüme ulaşması ve karar vericiye kolaylık sağlamak için ideal çözüme en yakın tedarikçiler belirlenmiştir. Bulanık AHP ve VIKOR çok kriterli karar verme

tekniklerinin bütünleşik olarak kullanımı ile firma yetkililerine belirledikleri kriterler altında alternatiflerin kantitatif değerlendirilebilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışma kapsamında firmanın 150 üreticisinden Türkiye ve Ortadoğu bölgesinde en fazla hareket gören 12 üreticisi ele alınmıştır. Üretici sayısı arttırılarak ve şirketin diğer pazarlama ofislerinin de değerlendirmeleri alınarak çalışma genişletilebilir. Bu genişletme çalışması hesaplamaların karmaşıklığını arttırabilir. Ayrıca tedarikçilerin seçimi ve sıralamasında performansa dayalı değerlendirme yapılmış ve ciro ile ilgili kriterlerinde eklenmesi gerektiğine karar verilmiştir.

Gelecek çalışmalarda bulanık sayıların bulanık olmayan sayılara dönüştürülmesi için simülasyon yöntemi uygulanarak karşılaştırma değerleri türetilebilir. ANP, TOPSIS, ELECTRE gibi çok kriterli karar verme yöntemleri gibi diğer metodlar ile de tedarikçi seçimi yapılarak bu çalışmada elde edilen değerler ile karşılaştırılması yapılabilir.

KAYNAKÇA

Ar, İ. M., Gökşen, H., Tuncer, M. A. (2015). Kablo Sektöründe Tedarikçi Seçimi için Bütünleşik DEMATEL-AAS-VIKOR Yönteminin Kullanılması. Ege Akademik Bakış, 15(2), 285-300.

Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., ve Ignatius, J. (2012). A State-of The-Art Survey of Topsis Applications. Expert Systems with Applications, 39(17), 13051-13069.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems, 17, 233-247.

Chang D.Y., (1996). Applications of The Extent Analysis Method of Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95, 649-655.

Charles A. Weber, John R. Current, ve W. C. Benton (1991). Vendor Selection Criteria and Methods. European Journal of Operational Research, 50 (1), 2-18.

Dağdeviren. M., D. Akay ve M. Kurt 2004. İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 19 (2): 131-138.

Dickson, G. (1966). An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions. Journal of Purchasing, 2(1), 5-17.

Ecer. F. (2008). Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(1), 355-369.

Fishburn, P. C. (1967). Methods of Additive Utilities. Management Science , 13, 435-453.

Hwang, C.L., ve Yoon, K., (1981). Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications. Springer, Berlin Heidelberg.

Kahraman, C., Cebeci U. ve Ulukan, Z. (2003). Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP. Logistics Information Management, 16 (6), 382–394.

Kahraman C., Cebeci, U., ve Ruan, D. (2004). Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. International Journal of Production Economics, 87, 171–184.

Kara ve Ecer (2016). AHP-VIKOR Entegre Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi: Tekstil Sektörü Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 18 (2), 255-272.

Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., ve Traon, Y.L. (2016). A State-of The-Art Survey & Testbed of Fuzzy AHP (FAHP) Applications. Expert Systems With Applications, 65, 398-422.

Kuruüzüm. A. ve N. Atsan (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 1(1): 83-105.

Laarhoven P. J. M. Van ve Pedrycz, W., (1983). A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. Fuzzy Sets and Systems, 11, 229-241.

Lixin, D. Ying, L., ve Zhiguang, Z. (2008). Selection of Logistic Service Provider Based on Analytic Network Process and VIKOR Algorithm. Network, Sensing and Control, ICNSC 2008. IEEE International Conference Proceedings, 2008, 1207-1210.

Mardani, A., Jusoh, A., ve Zavadskas, E. K., (2015). Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Techniques and Applications- Two Decades Review From 1994 To 2014. Expert Systems With Applications, 42(8), 4126-4148.

Omkarprasad. S. V. ve S. Kumar. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. European Journal of Operational Research 169, 1-29.

Opricovic, S. (1998). Multi-Criteria Optimization Of Civil Engineering Systems. Belgrade: Faculty of Civil Engineering.

Opricovic, S., ve Tzeng, G-H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. European Journal of Operational Research, 178, 514-529.

Öz, E., Baykoç, Ö.F. (2004). Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman Sistem Yaklaşımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(3), 275-286.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1996). The ANP for Decision Making with Dependence and Feedback, USA: RWS Publications.

Vaidya, O. S., Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. European Journal of Operational Research, 169, 1–29.

Yıldırım, B. F., Yeşilyurt, C. (2014). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yaklaşımı ile Proje Değerlendirme Kriterlerinin Önceliklendirilmesi: Kalkınma Ajansı Örneği, Atatürk İletişim Dergisi, 6, 23-50.

Yıldız, A. (2014). Bulanık VIKOR Yönetmini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14 (1), 115-128.

Weber, C. A., Current, J. R., ve Benton, W. C. (1991). Vender Selection Criteria and Methods. European Journal of Operational Research, 50, 2-18.

William, H., Xiaowei, X., ve Prasanta, K. D. (2010). Multi-Criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review. European Journal of Operational Research 202.pp 16–24.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control 8 , 338-383.