



Araştırma Makalesi • Research Article

Türkiye'deki Hava Taşımacılığı Üzerine Bir Tahminleme Çalışması

A Forecasting Study on Air Transportation in Turkey

Çiğdem Kalathilparmbil,^{a*} Özlem Şahin^b^a Öğr. Gör. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26210, Eskişehir/Türkiye.
ORCID: 0000-0002-6910-1008^b Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü, 26470, Eskişehir/Türkiye.
ORCID: 0000-0002-9632-5533

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 10 Ağustos 2018
Düzeltilme tarihi: 03 Aralık 2018
Kabul tarihi: 02 Ocak 2019

Anahtar Kelimeler:

Hava Taşımacılığı
Uçak Trafikliği
Yolcu Trafikliği
Yük Trafikliği
Eğri Uydurma

ÖZ

Planlama ve kontrol işlemlerinde tahminleme önemli bir araçtır. Gelecekteki belirsizliklerin aydınlanması, değerlendirilmesi, önlemlerin alınması açısından tahmin yani öngörü, kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle hava taşımacılığı gibi sürekli büyüyen bir sektörde de gelecek için öngörünün yapılarak planlamanın gerçekleştirilmesi her açıdan önemlidir. Bu nedenle öncelikle Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI)'nin Türkiye genelindeki havalimanları için yayımladığı istatistikler doğrultusunda 2002-2017 yıllarına ait iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere uçak, yolcu ve yük trafiğinden oluşan bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri seti yardımıyla çalışmada, hızla büyüyen hava taşımacılığı için 2018-2023 yılları arasındaki uçak, yolcu ve yük trafik sayılarının eğri uydurma yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen tahmin sonuçları 2019 ve 2020 yılları için DHMI'nin tahminleri ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 august 2018
Received in revised form 03 December 2018
Accepted 02 January 2019

Keywords:

Air Transportation
Flight Traffic
Passenger Traffic
Freight Traffic
Curve Fitting

ABSTRACT

Forecasting is a significant tool for planning and controlling processes. It plays a critical role in enlightening, evaluating, and taking measures for future uncertainties. It is also important in every respect to realize the planning for the future in a continuously growing air transportation industry. In this study, a data set; including domestic, international and total aircraft movements, passenger and freight is prepared by using the published statistics of General Directorate of State Airport Authority for the years between 2002-2017. By using the curve fitting method, forecasting the number of the domestic, international and total aircraft movements, passenger and freight, between 2018-2023, is aimed. The obtained forecasting results are compared to DHMI's forecasting results. The close results are observed.

1. Giriş

Havayolu taşımacılığı, ulaştırma sistemi içerisinde emniyetli, güvenilir, hızlı ve hizmet kalitesi açısından daha memnun edici olması nedeniyle insanlar için giderek daha fazla tercih edilmektedir. Özellikle iş amacıyla çıkılan seyahatlerde daha da önem kazanmaktadır. Yolcu talebinin giderek artması ile operasyondaki uçak sayısı da eş zamanlı

olarak artış göstermektedir. Her yıl giderek büyüyen hava taşımacılığı için gelecekte karşılaşılabilecek her türlü sorun ve talep önceden belirlenmelidir. Gelecekteki belirsizlikler için yapılacak en iyi tahminleme yani öngörü ile bundan sonraki adımların ihtiyaçlara yönelik olarak daha iyi şekilde planlanması sağlanabilecektir. Planlamanın yapılabilmesi

** Sorumlu yazar/Corresponding author
e-posta: cgiriftinoglu@eskisehir.edu.tr

için de geleceğin en doğru şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir.

Ülkemiz, coğrafi konumunun getirmiş olduğu üstünlük sayesinde hava taşımacılık sektöründe giderek artan hava trafiği sayısı ile önem kazanmaktadır. Hem transit uçuşlara imkan tanıyan coğrafi konumu hem de havayolu ulaşımına talebin en çok arttığı bölgeye yakın olması nedeniyle hava taşımacılık sektöründe göz önündedir. Dünyada 2016 yılındaki havalimanı yolcu trafiğine göre 11. sırada, Avrupa da ise 5. sırada yer almaktadır. Ayrıca Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (ICAO-International Civil Aviation Organization) 2016 yıllık raporuna göre, dünyada, ücretli yolcu-kilometre sıralamasında 10., ücretli ton-kilometre sıralamasında 11., yük ton-kilometre sıralamasında ise 14. sırada yerini almaktadır. Havayolu Yolcu Taşıma Kapasitesi ile Küresel Rekabetçilik Raporu'na göre 138 ülke arasında da 16. sıradadır.

Eurocontrol'ün 2018-2024 yılları için yapmış olduğu istatistikî çalışmada, Avrupa'daki uçuş operasyon sayısının yıllık % 2,3 oranında büyümesi tahmin edilmektedir. Aynı çalışmada, Türkiye'nin uçuş operasyon sayısının 2017 yılına kıyasla, kısa vadede ortalama % 6 oranında, orta vadede ise yaklaşık % 4,9 oranında yıllık büyüme göstermesi beklenmektedir. Hava taşımacılığı açısından öneme sahip olan ülkemizin, iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere yolcu, uçak ve yük sayısına ilişkin doğru tahminlemenin yapılması ve böylece gelecek için öngörünün sağlanması önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, birçok farklı tahmin yönteminin kullanıldığı görülmektedir.

Önder ve Hasgöl (2009), klasik zaman serisi analizinden Box-Jenkins modeli ile yapay sinir ağları tahmin yöntemlerini kullanarak 2008-2010 yılları için Türkiye'ye gelen yabancı turist sayısı için bir araştırma yapmıştır. Aylık zaman serisi verileri dikkate alındığında, Winter'in mevsimsel üstel düzeltme tekniği ile yapay sinir ağları yönteminin iki başarılı tahmin yöntemi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Phyoe ve ark. (2016), Singapur uçuş bilgi bölgesi için 2015 yılına ait verileri kullanarak üç farklı tahmin yöntemi; üstel trend, ARIMA ve ARIMAX ile gelecek 15 yıl için beklenen hava trafik sayısını öngörmüş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

Dantas ve ark. (2016), hava taşımacılık endüstrisine daha doğru ve kesin talep tahmini elde etmek için Bagging (Bootstrap aggregating) ve Holt Winters yöntemlerini birleştirerek kullanmıştır. Önerilen yaklaşım 14 ülkeden alınan veriler üzerinde test edilmiş ve sonuçlar SARIMA, Holt Winters gibi toplam 5 yöntem ile ortalama mutlak yüzdelik hata kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bagging Holt Winters yöntemi ile elde edilen sonuçların daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Nai ve ark (2017), Çin'deki artan hava trafiği için EMD-SARIMA'ya dayalı bir tahmin modeli yaklaşımı önermiştir. Diğer kullanılan yaygın tahmin yöntemleri ile karşılaştırılmış ve önerilen model yaklaşımının avantajları kanıtlanmıştır.

Madhwal ve Avdeeva (2017) ise yaptıkları çalışmada, bölgesel yolcu trafiği ve gerekli uçak sayısını tahmin etmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bölgesel

olarak ihtiyaç duyulan uçak sayısı ile birlikte, havayolu şirketlerinin uçak filolarını oluştururken hangi uçak modellerinin (geniş, dar, küçük gövdeli) o bölgenin ihtiyacını karşılayabileceği yönünde tahminler yaparak öneriler getirmişlerdir.

Yumakoğulları ve ark. tarafından Türkiye'deki havayolu yolcu ve kargo trafiğinin 11 yıllık bir periyottaki büyümesi araştırılmıştır. Bu büyüme durumunda ihtiyaç duyulacak uçak sayısı, modelleri ve bu uçaklara hizmet verecek bakım onarım merkezlerinin kapasitesi ve bu merkezlerin çevre ülkelerle birlikte piyasa potansiyeli analiz edilmiştir.

Kuzu ve Yıldırım (2017) ise, Türkiye'de havayolu ulaşım talebinin tahmini üzerine yaptıkları çalışmada zaman seri analizi tekniklerinden Box-Jenkins ve gri tahmin yöntemlerini kullanılmıştır. Belirledikleri modeller ile elde edilen tahminleri, gözlenen değerler ile modellerinin sağlıklı tahminlerde bulunduğunu göstermişlerdir.

Havacılık sektöründe yolcu talebi tahmini için bir diğer çalışma da Efendigil ve Eminler (2017) tarafından yapılmıştır. Çalışmada yapay zekâ teknikleri ile ekonometrik bir model olan regresyon tekniği karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yolcu tahmini için en başarılı ve güvenilir sonuçları "yapay sinir ağları" tekniğinin verdiği bulunmuştur.

Yapılan çalışmalara bakıldığında, planlama ve kontrol işlemlerinde önemli bir araç olan tahminlemenin havacılık sektöründeki tartışılmaz önemi de vurgulanmaktadır. Tahminleme ya da diğer bir deyişle öngörü, gelecek ile ilgili belirsizliklerin aydınlanması, değerlendirilmesi açısından da kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada da, havayolu taşımacılığında önemi büyük olan ülkemizin iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere uçak, yolcu ve yük sayılarının 2018-2023 yılları için eğri uydurma yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada farklı eğri uydurma yöntemleri denenmiş ve uygulanabilirlikleri araştırılmıştır.

2. Yöntem

2.1. Eğri Uydurma Yöntemi

Mühendislik başta olmak üzere sosyal bilimler ve havacılık gibi birçok alanda iki değişken arasındaki ilişkiyi bulmaya yönelik problemler görülmektedir. Havacılıkta özellikle havayolu ulaşım talebi, yolcu, trafik, yük tahmini, meteorolojik şartların tahminlenmesi ve bu durumdan etkilenen uçuş operasyon gecikmelerinin, yakıt tüketimi, emisyon ve maliyet tahminlenmesi gibi bir çok çalışma yer almaktadır (Kuzu&Yıldırım, 2016; Lee&Zhong 2015, Qin&Yu, 2015, Yong vd. 2017).

Eğri uydurma yöntemi, verilerin $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ şeklinde nokta çiftleri olarak elde edilmesi durumunda, bu değerler kullanılarak ortaya konan bir fonksiyona en yakın başka bir fonksiyonun belirlenmesi süreci olarak tanımlanır. Daha genel bir ifadeyle eğri uydurma yöntemi, herhangi iki değişken x ve y arasındaki ilişki ya da kuralın, verilen gözlem değerlerinden oluşan veri seti kullanılarak bulunmasıdır. Kısacası, iki değişken arasındaki ilişkinin cebirsel denklemlerle gösterilmesi anlamına gelir. Eğri uydurma için literatürde bulunan yöntemler, grafik yöntemi, grup ortalamaları yöntemi, momentler yöntemi ve

en küçük kareler yöntemi olmak üzere dört başlık altında toplanabilir.

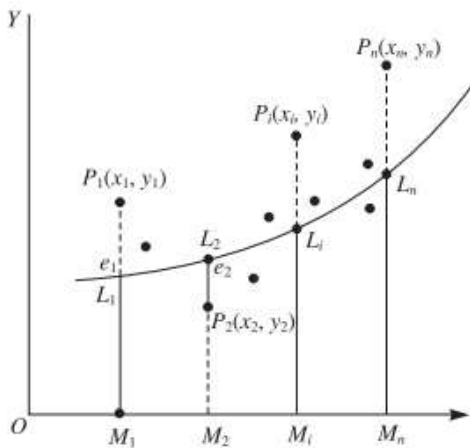
Bu çalışmada; bu dört yöntemden, tek bir çözüm kümesi veren ve sistematik bir prosedür olması nedeniyle de literatürde en çok yer alan yöntemlerden birisi olan En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi'nin kullanılması amaçlanmıştır.

En küçük kareler yöntemini kısaca ifade edebilmek için Şekil 1 ile verilen grafiği ele alalım (Gangwar, 2015). Farz edelim, verilen $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ veri setine uydurulmak istenen eğri,

$$y = a + bx + cx^2 + \dots + kx^m$$

olsun. Aşağıdaki Şekil 1'de görüldüğü gibi herhangi bir $(x = x_i)$ 'deki gözlenmiş değerlerin ordinatı $y_i = P_i M_i$, buna karşılık fit edilen eğri üzerindeki uygun değer (beklenen ya da hesaplanan değer) ise $a + bx_i + cx_i^2 + \dots + kx_i^m = L_i M_i$ 'dir. Dolayısıyla gözlemlenmiş değer ile beklenen değer arasındaki $P_i M_i - L_i M_i$ farkı $(x = x_i)$ 'deki hata olarak ifade edilir ve e_i ile gösterilir.

Şekil 1. En Küçük Kareler Prensibi



Açıkça görülmektedir ki bu hataların bazıları pozitif, bazıları ise negatif değer alacaklardır. Dolayısıyla toplam hatadan söz edebilmek için her birinin karesi alınarak hata kareler toplamı yani $S = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2$ dikkate alınır. Bu durumda veriyle en iyi uyuşan eğri, e_i (hatalar) 'leri mümkün olduğunca küçük olan, bir başka deyişle hataların kareleri toplamı S 'i minimum yapan eğridir. Hata kareler toplamını minimize etmeyi amaçlayan bu yöntem, "en küçük kareler yöntemi" olarak bilinir.

Bu çalışmada, Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMI) Türkiye geneli havalimanları için yayımladığı istatistiklerden yararlanarak elde edilmiş hava taşımacılığı verileri kullanılmıştır. Bu veri seti; 2002-2017 yıllarına ait, iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere uçak, yolcu ve yük trafiğinden oluşmaktadır (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3). Mevcut veriler incelendiğinde, zaman serisinin bir trend bileşenine sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle lineer, karesel, kübik, üstel vb. birçok eğri tahmin modelleri kullanılmıştır. Dolayısıyla da alt bölümde bu çalışmada kullanılan tüm modeller ve bunlardan bir kaçını için en küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilen eğri uydurma prosedürü gösterilecektir.

Tablo 1. İç Hat, Dış Hat ve Toplam Uçak Trafik Sayıları (2002-2017)

Yıl	Toplam	İç Hat	Dış Hat
2002	376579	157953	218626
2003	374987	156582	218405
2004	449493	196207	253286
2005	551980	265113	286867
2006	627401	341262	286139
2007	688468	365177	323291
2008	741765	385764	356001
2009	788469	419422	369047
2010	919411	497862	421549
2011	1042369	579488	462881
2012	1093047	600818	492229
2013	1223795	682685	541110
2014	1345954	754259	591695
2015	1456673	832958	623715
2016	1452995	886228	566767
2017	1535568	903617	629892

Tablo 2. İç Hat, Dış Hat ve Toplam Yolcu Sayıları (2002-2017)

Yıl	Toplam	İç Hat	Dış Hat
2002	33783892	8729279	25054613
2003	34443655	9147439	25296216
2004	45057371	14460864	30596507
2005	55572426	20529469	35042957
2006	61655659	28774857	32880802
2007	70296532	31949341	38347191
2008	79438289	35832776	43605513
2009	85508508	41226959	44281549
2010	102800392	50575426	52224966
2011	117620469	58258324	59362145
2012	130351620	64721316	65630304
2013	149430421	76148526	73281895
2014	165720234	85416166	80304068
2015	181074531	97041210	84033321
2016	173743537	102499358	71244179
2017	190268438	105024785	85243652

Tablo 3. İç Hat, Dış Hat ve Toplam Yük Trafik Sayıları (2002-2017)

Yıl	Toplam	İç Hat	Dış Hat
2002	896865	181262	715603
2003	964080	188979	775101
2004	1164349	26279	901559
2005	1304241	324597	979644
2006	1360550	389206	971344
2007	1546184	414294	1131890
2008	1644014	424555	1219459
2009	1726345	484833	1241512
2010	2021076	554710	1466366
2011	2249473	617834	1631639
2012	2249133	633076	1616057
2013	2595317	744028	1851289
2014	2893000	810858	2082142
2015	3072831	871327	2201504
2016	3076914	857335	2219579
2017	3270670	922677	2347992

2.2. Lineer Model ve Eğri (Doğru) Uydurma Prosedürü

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ veri setine uydurulan lineer model

$$y = a + bx \quad (1)$$

şeklinde gösterilsin. Dolayısıyla x_1 değerine karşılık gelen teorik değer bir başka değişle tahmini değer y_{λ_1} ile işaret edildiğinde gerçekleşen hata değeri $e_1 = y_1 - y_{\lambda_1}$ olacaktır. Böylece,

$$e_1 = y_1 - (a + bx_1)$$

$$e_1^2 = (y_1 - a - bx_1)^2$$

:

$$e_n^2 = (y_n - a - bx_n)^2$$

olmak üzere, hata kareler toplamı S

$$S = e_1^2 + e_1^2 + \dots + e_n^2$$

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

şeklinde elde edilir. En küçük kareler prensibine göre de hata kareler toplamı olan S 'nin minimizasyonunu sağlayan a ve b katsayılarını bulabilmek için,

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 \quad (3)$$

(2) ve (3) eşitliklerinin çözümü ile

$$\sum y = na + \sum x \quad (4)$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2 \quad (5)$$

denklemleri elde edilir. (4) ve (5) denklemleri "normal denklemler" olarak ifade edilir ve bu denklemlerin çözümünden a ve b katsayılarına ulaşılmış olur. Bu katsayıları (1)'de yerine koyduğumuzda da veriye en iyi uyan doğru denklemi elde edilmiş olur.

2.3. Karesel Model ve Eğri Uydurma Prosedürü

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ veri setine fit edilen (uydurulan) model,

$$y = a + bx + cx^2 \quad (6)$$

şeklinde ikinci dereceden bir parabol ile gösterilsin. Dolayısıyla x_1 değerine karşılık gelen teorik değer bir başka değişle tahmini değer y_{λ_1} ile işaret edildiğinde değeri $e_1 = y_1 - y_{\lambda_1}$ olacaktır. Böylece,

$$e_1 = y_1 - (a + bx_1 + cx_1^2)$$

$$e_1^2 = (y_1 - a - bx_1 - cx_1^2)^2$$

:

$$e_n^2 = (y_n - a - bx_n - cx_n^2)^2$$

olmak üzere, hata kareler toplamı S

$$S = e_1^2 + e_1^2 + \dots + e_n^2$$

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)^2$$

şeklinde elde edilir. En küçük kareler prensibine göre de hata kareler toplamı olan S 'nin minimizasyonunu sağlayan a ve b katsayılarını bulabilmek için, $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$ ve $\frac{\partial S}{\partial c} = 0$ eşitliklerinin çözümü ile

$$\sum y = na + b \sum x + c \sum x^2 \quad (7)$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3 \quad (8)$$

$$\sum x^2 y = a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4 \quad (9)$$

denklemleri elde edilir. (7), (8) ve (9) denklemlerinin çözümünden a , b ve c katsayılarına ulaşılmış olur. Bu katsayıları (6)'da yerine koyduğumuzda da veriye en iyi uyan parabol denklemi elde edilmiş olur. 2.4. Üstel Model ve Eğri Uydurma Prosedürü

Veriye fit edilmek istenen üstel model

$$y = ae^{bx}$$

şeklinde olsun. Her iki tarafın logaritmasını almak suretiyle,

$$\log_{10} y = \log_{10} a + bx \log_{10} e$$

$$Y = A + Bx \quad (10)$$

şeklinde lineer modele dönüşmüş olur. Burada $Y = \log_{10} y$, $A = \log_{10} a$ ve $B = b \log_{10} e$ 'dir. Böylece (10) denklemi için normal denklemler,

$$\sum Y = nA + \sum x$$

$$\sum xY = A \sum x + B \sum x^2$$

şeklinde olur ve bu iki denklemin çözümünden elde edilen A ve B değerlerinden,

$$a = \text{antilog} A \quad \text{ve} \quad b = \frac{B}{\log_{10} e}$$

katsayılarına ulaşılır (Gangwar, 2015).

Çalışmada kullanılan modeller Lineer, Karesel ve Üstel modellerle sınırlı kalmayıp, söz konusu veriye aşağıdaki modeller de uydurulmuştur.

Logaritmik $Y = a + blnx$

Kübik $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$

Ters $Y = a + b/x$

Birleşik $Y = ab^x$

Kuvvet $Y = ax^b$

S $Y = \exp(a + b/x)$

Büyüme $Y = \exp(a + b^x)$

Çalışmada fit edilen 10 model arasında seçim yapabilmek, bir başka değişle öngörü yeteneklerini karşılaştırabilmek için model seçim kriterlerinden Hata Kareler Ortalaması (Mean Squared Error, MSE) ve Ortalama Mutlak Yüzdellik Hata (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) kullanılmıştır. Bu iki seçim kriteri, literatürde en çok kullanılanlardan olup, MSE ölçeğe bağlı iken MAPE değeri ölçekten bağımsızdır.

Ortalama Karesel Hata:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 = \frac{S}{n}$$

Ortalama Mutlak Yüzdellik Hata ise $p_i = \frac{|e_i|}{y_i}$ olmak üzere,

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 100 \cdot p_i$$

şeklinde hesaplanır.

Veriye uyan 10 farklı eğriden en düşük MAPE ya da MSE değerine sahip eğri seçilerek, ileriye dönük tahmin yapılır.

3. Bulgular ve Yorumlar

Bu çalışmada Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin Türkiye geneli havalimanları için yayımladığı istatistiklerden yararlanarak elde edilmiş hava taşımacılığı verileri kullanılmıştır. Bu veri seti; 2002-2017 yıllarına ait, iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere uçak, yolcu ve yük trafiğinden oluşmaktadır. Toplam uçak, yolcu ve yük sayısında transit uçuş, yolcu ve yük sayıları dahil edilmemiştir.

Çalışmada, eğri uydurmak bir başka deyişle 10 farklı modeli tahmin etmek, onlara uygun MSE ve MAPE değerlerini hesaplamak ve grafiklerini çizdirmek için Mathematica V11.3'te program yazılmıştır.

2018-2023 yılların ait uçak trafik, yolcu trafik ve yük trafik sayılarına ait elde edilen tahminler Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da toplam, iç hat ve dış hat olmak üzere verilmiştir.

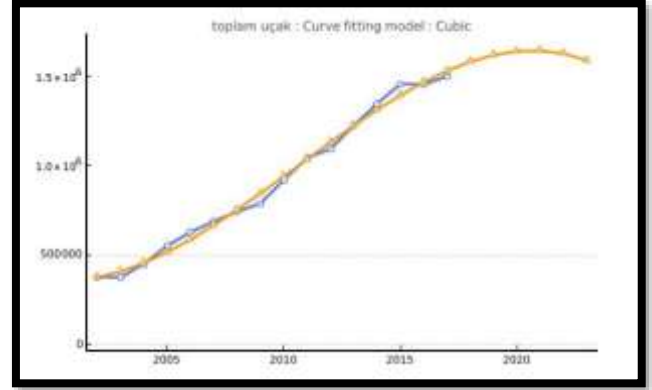
Tablo 4.

Toplam, İç Hat, Dış Hat Uçak Trafik Tahminleri (2018-2023)

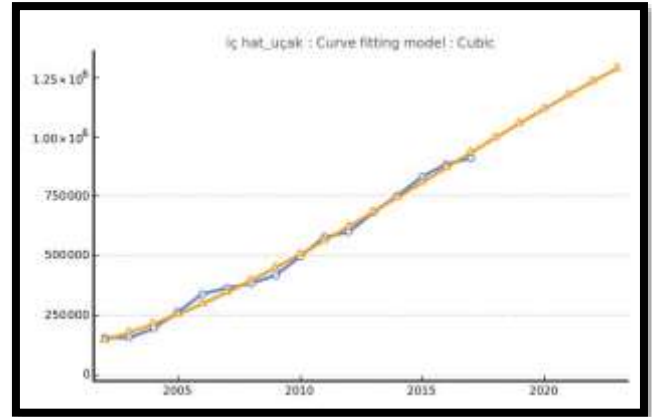
	Toplam	İç Hat	Dış Hat
Eğri Tahmin Modeli	Kübik	Kübik	Karesel
2018	1580999	995921	656290
2019	1618052	1057174	684416
2020	1639166	1117292	712437
2021	1642440	1175926	740353
2022	1625967	1232727	768165
2023	1587844	1287347	795872

Ayrıca uçak, yolcu ve yük trafiği için eğri tahmin modelleri, katsayıları ve model seçim kriterleri değerleri Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'te detaylı şekilde gösterilmektedir. Model seçim kriterlerinden MAPE ve MSE'si en düşük değere sahip olan modellerin seçilmesiyle, belirlenen eğriye uygun öngörü değerleri elde edilmiştir. Söz konusu 9 değişken için veriyle uyuşan 10 farklı eğriden, genellikle veriye en iyi uyan eğri kübik ve karesel modeller olmuştur. En iyi uyan bu eğri grafikleri ise Şekil 2 (a,b,c,d), Şekil 3 (a,b,c,d) ve Şekil 4 (a,b,c)'te verilmiştir.

Şekil 2a. Toplam Uçak Trafiği (Kübik) Tahmini

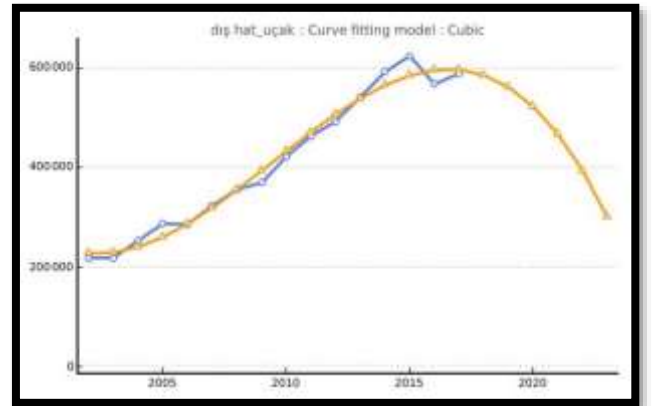


Şekil 2b. İç Hat Uçak Trafiği (Kübik) Tahmini



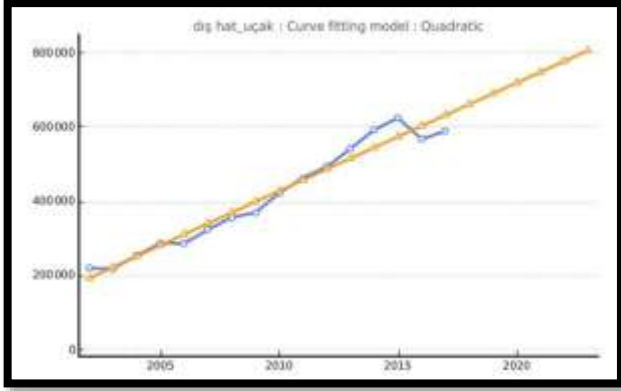
Toplam uçak ve iç hat uçak trafiği değişkenleri için uydurulan 10 eğriden en küçük MSE ve MAPE değerlerine sahip eğriler kübik olmuştur.

Şekil 2c. Dış Hat Uçak Trafiği (Kübik) Tahmini



Dış hat uçak trafiği için kübik formunun MAPE değerinin düşük olmasına rağmen 2018-2023 öngörü değerlerinin giderek azalacağı görülmüştür (Şekil 2c). Bu nedenle, kübikten sonra en düşük MAPE ve MSE değerine sahip karesel eğrinin öngörü değerlerinin kullanılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir (Şekil 2d).

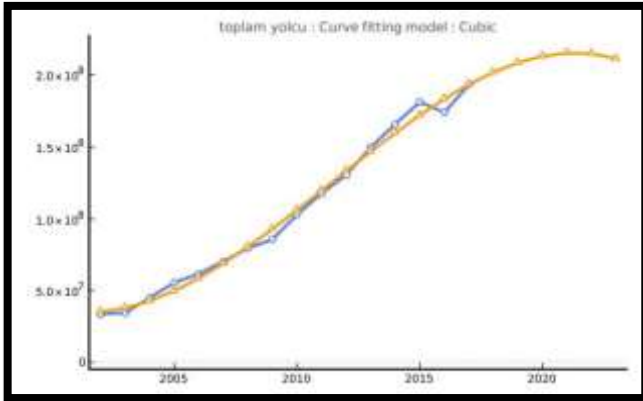
Şekil 2d. Dış Hat Uçak Trafikliği (Karesel) Tahmini



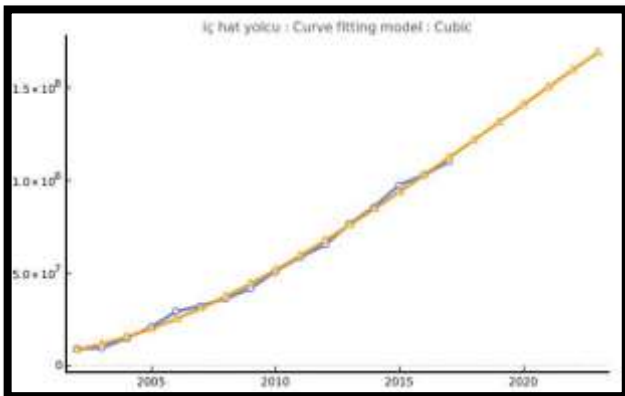
Tablo 5. Toplam, İç Hat, Dış Hat Yolcu Trafik Tahminleri (2018-2023)

	Toplam	İç Hat	Dış Hat
Eğri Tahmin Modeli	Kübik	Kübik	Karesel
2018	201732848	121240813	91736810
2019	208392218	130745930	96828549
2020	212945870	140265254	102005224
2021	215116267	149753336	107266832
2022	214625867	159164725	112613375
2023	211197133	168453974	118044853

Şekil 3a. Toplam Yolcu Trafikliği (Kübik) Tahmini

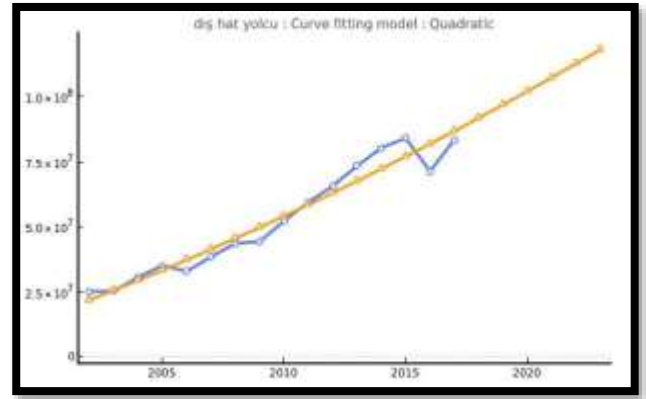
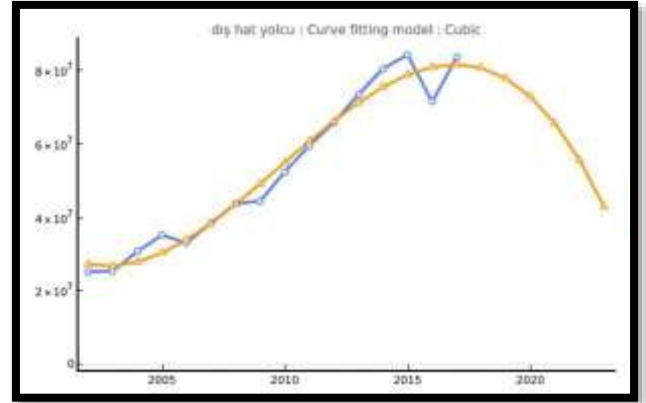


Şekil 3b. İç Hat Yolcu Trafikliği (Kübik) Tahmini



Toplam yolcu ve iç hat yolcu trafiği değişkenleri için uydurulan 10 eğriden en küçük MSE ve MAPE değerlerine sahip eğriler kübik olmuştur (Şekil 3a ve Şekil 3b).

Şekil 3c. Dış Hat Yolcu Trafikliği (Kübik) Tahmini



Şekil 3d. Dış Hat Yolcu Trafikliği (Karesel) Tahmini

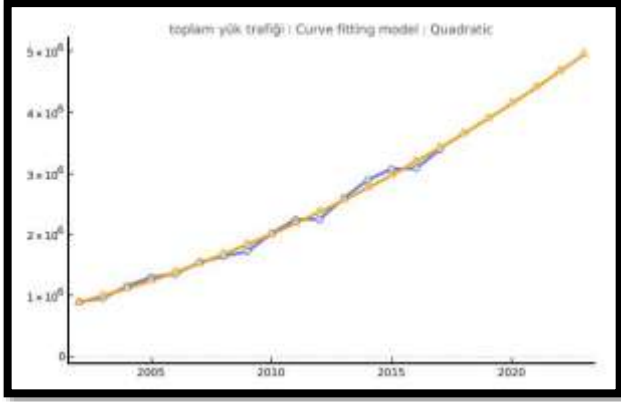
Görüldüğü gibi dış hat uçak trafiği ile aynı durum dış hat yolcu trafiği için de geçerli olmuş, kübik eğrinin MSE ve MAPE değerleri daha düşük olmasına rağmen, karesel eğrinin daha iyi uyduğu gözlenmiştir. Söz konusu seçilen kübik ve karesel modellerle yapılan tahminler Şekil 3c ve Şekil 3d ile gösterilmiştir.

Tablo 6. Toplam, İç Hat, Dış Hat Yük Trafik Tahminleri (2018-2023)

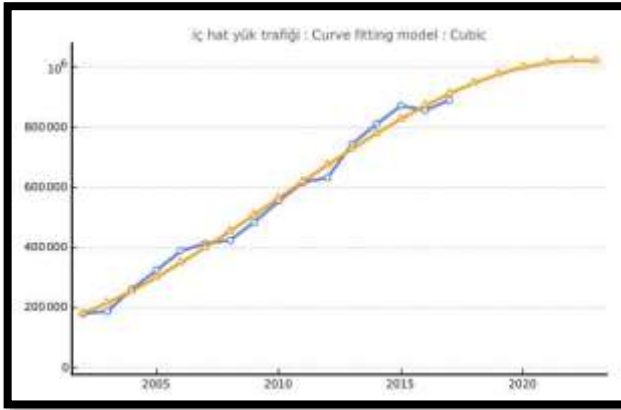
	Toplam	İç Hat	Dış Hat
Eğri Tahmin Modeli	Karesel	Kübik	Karesel
2018	3648461	947445	2665622
2019	3890617	976653	2853589
2020	4140994	999282	3049413
2021	4399590	1014604	3253096
2022	4666407	1021886	3464638
2023	4941445	1020399	3684038

Şekil 4a, Şekil 4b ve Şekil 4c de ise, toplam, iç ve dış hat yük trafiği değişkenleri için 10 eğriden veriye en iyi uyan, en küçük MSE ve MAPE değerlerine sahip eğriler gösterilmiştir.

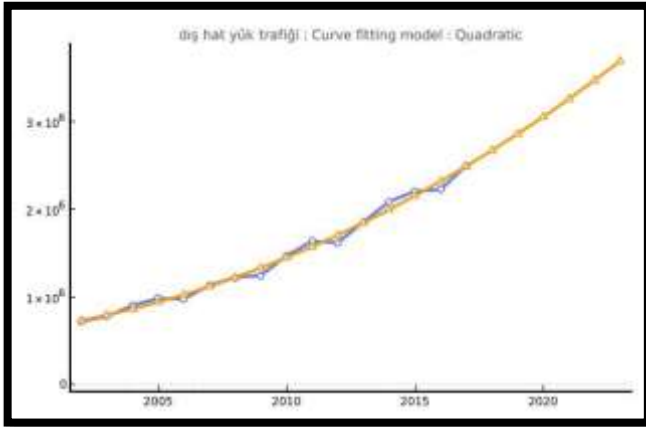
Şekil 4a. Toplam Yük Trafığı (Karesel) Tahmini



Şekil 4b. İç Hat Yük Trafığı (Kübik) Tahmini



Şekil 4c. Dış Hat Yük Trafığı (Karesel) Tahmini



Tablo 7’de DHMİ’nin 2019 ve 2020 yılları için yapmış olduğu tahminler ile bu çalışma sonucunda elde edilen tahminler karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen değerlerin DHMİ’nin yapmış olduğu tahmini değerlere yakınlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada 2019 yılı için elde edilen tahminler, DHMİ’nin tahminlerine göre toplam uçak trafiği için % 4, toplam yolcu trafiği için %10,6 ve toplam yük trafiği için %1,21 fark göstermektedir. 2020 yılı için ise, % 6, % 13,5 ve % 0,2 sırasıyla toplam uçak, yolcu ve yük trafiği için gözlenen farklardır. Ayrıca iç hat ve dış hat uçak, yolcu ve yük trafikleri için fark değerleri Tablo 4’te verilmiştir. DHMİ istatistiklerinde sadece 2019 ve 2020 yılı tahminlerinin bulunması nedeniyle karşılaştırma

bu yıllar için yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının, DHMİ’nin tahminleri ile yakınlık göstermesi, çalışmanın doğruluk ve geçerliliğinin pekiştirilmesi açısından önem kazanmıştır.

Tablo 4. 2019 ve 2020 Yılları için DHMİ Tahminleri ile Çalışma Tahminlerinin Karşılaştırılması

	2019/2020	DHMİ	EĞRİ UYDURMA	FARK (%)
UÇAK TRAFİĞİ	Toplam	1.692,689	1.618,052	4,41
	İç Hat	1.010,899	1.057,174	-4,58
	Dış Hat	671.790	684.416	-1,88
YOLCU TRAFİĞİ	Toplam	233.161,291	208.392,218	10,62
	İç Hat	129.599,780	130.745,930	-0,88
	Dış Hat	103.561,511	968.285,49	6,50
YÜK TRAFİĞİ	Toplam	4.149,730	4.140,994	0,21
	İç Hat	1.088,418	976.653	10,27
	Dış Hat	2.849,937	2.853,589	-0,13

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada DHMI’nin 2002-2017 yıllarına ait, iç hat, dış hat ve toplam olmak üzere uçak, yolcu ve yük trafiği için yayımladığı veriler kullanılmıştır. Çalışmada eğri uydurma yöntemi uygulanmıştır. 10 farklı modeli tahmin etmek, onlara uygun MSE ve MAPE değerlerini hesaplamak ve grafiklerini çizdirmek için Mathematica V11.3’te program yazılmıştır.

Çalışmada toplam uçak trafiğinde 2019 yılı için %2,34; 2020 yılında %1,30; 2021 yılında ise %0,2 oranında artış görülmesi beklenirken; 2022 ve 2023 yıllarında bir önceki yıllara göre ortalama % 1,5 oranında azalma olacağı tahmin edilmiştir. Toplam yolcu sayısında ise 2019 yılında %3,3, 2020 yılında %2,18; 2021 yılında %1 oranında artış olması beklenirken; 2022 yılında %0,2 ve 2023 yılında %1,6 oranında azalma öngörülmüştür. Toplam yük trafiğinin ise son beş yıl içinde ortalama %6 oranında artış göstermesi beklenmektedir.

Literatür taramasında Kuzu&Yıldırım (2017) ve Efendigil&Eminler (2017)’in aynı veri setini kullanarak yaptıkları çalışmalar görülmektedir.

Kuzu&Yıldırım ‘ın çalışmasında Box Jenkins modelleri ile gri tahminleme yöntemleri kullanılmış ve sadece 2017 yılına ait öngörü yapılmıştır. Efendigil&Eminler ise, 2015 yılına kadar olan verileri kullanarak yapay sinir ağları tekniği ile elde edilen RMSE değerinin diğer tekniklere göre daha düşük değer verdiğini göstermiştir.

Bu çalışmada ise, aynı veri setini kullanan diğer iki çalışmadan farklı olarak 2019-2020 yıllarına ait öngörüler yapılmış ve DHMI’nin öngörülerini ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada 2019 yılı için elde edilen tahminler, DHMİ'nin tahminlerine göre toplam uçak trafiği için % 4, toplam yolcu trafiği için %10,6 ve toplam yük trafiği için %1,21 fark göstermektedir. 2020 yılı için ise, % 6, % 13,5 ve % 0,2 sırasıyla toplam uçak, yolcu ve yük trafiği için gözlenen farklardır. Çalışma sonuçlarının, DHMİ'nin tahminleri ile yakınlık göstermesi, çalışmanın doğruluk ve geçerliliğinin pekiştirilmesi açısından önem kazanmaktadır.

Kaynakça

- Dantas, TM., Oliveria FLC., & Rpolho HMV. (2017). Air transportation demand forecast through Bagging Holt Winters methods. *Journal of Air Transport Management*, (59), 116-123.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi Resmi websitesi, (Erişim: 10.07.2018), <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>
- Efendigil, T., & Eminler, Ö.M. (2017). Havacılık sektöründe talep tahmininin önemi: yolcu talebi üzerine bir tahmin modeli. *Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneyem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı*, 12 (özel sayı), 14-30.
- Eurocontrol Seven Year Forecast (2018-2024), Flight Movements and Service Units. (Erişim: 22.07.2018), <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/forecasts/seven-year-flights-service-units-forecast-2018-2024-Feb2018.pdf>
- Gangwar H.S. (2015). *Textbook of Engineering Mathematics-III*.(Erişim:25.06.2018), <https://www.newagepublishers.com/samplechapter/001938.pdf>
- International Civil Aviation Organization (2006). *Manual on Air Traffic Forecasting- Doc. 8991*, Third Edition.
- Kuzu, S., & Yıldırım, B.F., (2017). Box-Jenkins ve gri tahmin yöntemleri ile Türkiye'de hava yolu ulaşım talebinin tahmini. *Söke İşletme Fakültesi Priene Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 36-49.
- Lee, Y. X. & Zhong, Z.W. (2016). A study of the relationship between adverse weather conditions and flight delay. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 2(4), 113-117.
- Madhwal Y., & Avdeeva Z. (2017). Planning in aircraft industry based on prediction of air traffic. *Procedia Computer Science*, (122), 1047–1054.
- Murphy, C.M., Miller, B., and Sherry, L. (2015). Effects of Fuel Price on Total Fuel Burn and System Capacity- An Analysis of Advanced Engine and Airframe Technology and Airline Responses to Changes in Fuel Price, 5th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference.
- Nai, W., Liu, L., Wang S., & Dong, D. (2017). An EMD–SARIMA-Based Modeling Approach for Air Traffic Forecasting. *Algorithms*, 10 (4), 139. doi:10.3390/a10040139
- Önder, E., & Hasgöl, Ö. (2009). Yabancı ziyaretçi sayısının tahmininde box jenkins modeli, winters yöntemi ve yapay sinir ağlarıyla zaman serisi analizi. *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 20(62), 62-83.
- Önder E., & Kuzu, S. (2014). Forecasting air traffic volumes using smoothing techniques, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 7(1), 65-85.
- Phyoe, SM., Guo R., & Zhong ZW. (2016). An air traffic forecasting study and simulation, *International Journal of Science and Technology*, 2(3), 55-69.
- Qin, Q., & Yu, H. (2015). A Statistic Analysis of Flight Delays of Major US Airports: Illustrated by the Example of the JFK Airport, Proceedings of 4th International Conference on Logistics, Informatics and Service Science, 469-474.
- Tong, L., Ying, C., & Qian, W. (2017). A Curve Fitting Method for Evaluating Pilot Operation Quality. *International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics*, (2), 93-101.
- Ulaşan ve Erişen Türkiye (2017). *Havacılık ve Uzay Teknolojileri*.(Erişim:06.06.2012), <http://www.udhb.gov.tr/images/faaliyet/a5ec26a31a72281.pdf>
- Yumakoğulları, Ö., Aydemir R., & Güloğlu, B. (2015). The development of turkish air traffic fleet and mro market, *KOSBED*, (30), 31 – 50.

Ek 1. Uçak Trafikliği İçin Eğri Tahmin Modelleri, Katsayıları ve Model Seçim Kriter Değerleri

Eğri Tahmin Modelleri	Uçak Trafikliği		β_0	β_1	β_2	β_3	Ort. Mutlak Yüzdellik Hata (%) (MAPE)	Ort. Karesel Hata (MSE)
Lineer	$Y = \beta_0 + \beta_1 t$	Toplam	210689.6	82804.9			4.2	1989815084
		İç hat	46894.9	53545.1			6.3	852501284
		Dış hat	164794.6	29068.6			4.9	706527332
Logaritmik	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln t$	Toplam	39315	456557			19.4	2599347019
		İç Hat	-60849.6	293626			25.7	11440727628
		Dış Hat	101162.8	162084.7			13.8	3400117608
Ters	$Y = \beta_0 + \beta_1/t$	Toplam	1.15*10 ⁶	-1.13*10 ⁶			35.1	77392550212
		İç Hat	656090.8	-729130.4			46.1	32870123556
		Dış Hat	497717.5	-406254.3			25.6	9851459200
Karesel	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$	Toplam	265574.4	64510	1076		3.9	1576341088
		İç Hat	102575.4	34985	1091.8		5.1	426972515
		Dış Hat	162123.8	29958.9	-52.36		4.9	706426003
Kübik	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$	Toplam	357832.9	7796.6	9169	-317.3	3.2	100538864
		İç Hat	119497	24582.9	2576	-58.2	4.9	407761783
		Dış Hat	238336	-16890.5	6632.9	-262.2	3.5	325716968
Birleşik	$Y = \beta_0 \beta_1^t$	Toplam	398251	1.09			6.9	4378632853
		İç Hat	184948	1.1105			10.2	1548019098
		Dış Hat	219520	1.07			6.4	1149897722
Kuvvet	$Y = \beta_0 t^{\beta_1}$	Toplam	189419.6	0.747			7.9	4697447517
		İç Hat	68152	0.933			8.7	1206220543
		Dış Hat	136165	0.536			8.2	1312905778
S	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1/t)$	Toplam	424821	-418296			35.1	77392550212
		İç Hat	241362	-268232			46.1	3287012356
		Dış Hat	183100	-149452.6			25.6	9851459200
Büyüme	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1^t)$	Toplam	77508	30462			4.2	1989815084
		İç Hat	17251.7	19698			6.3	852501284
		Dış Hat	60624.6	10693.7			4.9	706527332
Üstel	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 t}$	Toplam	0.088	398251			6.9	4378632853
		İç Hat	0.104	184948			10.2	1548019098
		Dış Hat	0.068	219520			6.4	1149897722

Ek 2. Yolcu Trafikliği İçin Eğri Tahmin Modelleri, Katsayıları ve Model Seçim Kriter Değerleri

Eğri Tahmin Modelleri	Yolcu Trafikliği		β_0	β_1	β_2	β_3	Ort. Mutlak Yüzdellik Hata (%) (MAPE)
Lineer	$Y = \beta_0 + \beta_1 t$	Toplam	8.3*10 ⁶	1.13*10 ⁷			8.5
		İç hat	-7.7*10 ⁶	7.04*10 ⁶			14.6
		Dış hat	1.60*10 ⁷	4.32*10 ⁶			7.8
Logaritmik	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln t$	Toplam	-1.355*10 ⁷	6.18*10 ⁷			28.1
		İç Hat	-2.077*10 ⁷	3.80*10 ⁷			48.6
		Dış Hat	7.21*10 ⁶	2.37*10 ⁷			18.4
Ters	$Y = \beta_0 + \beta_1/t$	Toplam	1.37*10 ⁸	-1.51*10 ⁸			47.8
		İç Hat	7.18*10 ⁷	-9.30*10 ⁷			80.5
		Dış Hat	6.52*10 ⁷	-5.87*10 ⁷			31.7
Karesel	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$	Toplam	2.183	6.86*10 ⁶	265453.9		4.6
		İç Hat	3.66*10 ⁶	3.25*10 ⁶	222986.7		5.4
		Dış Hat	1.81*10 ⁷	3.60*10 ⁷	42467		7.1
Kübik	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$	Toplam	3.52*10 ⁷	-1.40*10 ⁶	1.44*10 ⁶	-46256	4.3
		İç Hat	5.86*10 ⁶	1.90*10 ⁶	416145.5	-7574	4.9
		Dış Hat	2.94*10 ⁷	-3.30*10 ⁶	1.02*10 ⁶	-38681	5.6
Birleşik	$Y = \beta_0 \beta_1^t$	Toplam	3.80*10 ⁷	1.112			9.4
		İç Hat	1.43*10 ⁷	1.141			19.5
		Dış Hat	2.51*10 ⁷	1.083			8.0

Kuvvet	$Y = \beta_0 t^{\beta_1}$	Toplam	1.32*10 ⁷	0.963	10.8
		İç Hat	3.077*10 ⁶	1.291	9.7
		Dış Hat	1.336*10 ⁷	0.657	11.7
S	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1/t)$	Toplam	5.04*10 ⁷	-5.58*10 ⁷	47.8
		İç Hat	2.64*10 ⁷	-3.42*10 ⁷	80.5
		Dış Hat	2.39*10 ⁷	-2.16*10 ⁷	31.7
Büyüme	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 t)$	Toplam	3.05*10 ⁶	4.18*10 ⁶	8.5
		İç Hat	-2.83*10 ⁶	2.59*10 ⁶	14.6
		Dış Hat	5.88*10 ⁶	1.59*10 ⁶	7.8
Üstel	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 t}$	Toplam	0.106	3.80*10 ⁷	9.4
		İç Hat	0.132	1.43*10 ⁷	19.5
		Dış Hat	0.080	2.50*10 ⁷	8.0

Ek 3. Yük Trafik İçin Eğri Tahmin Modelleri, Katsayıları ve Model Seçim Kriter Değerleri

Eğri Tahmin Modelleri	Yük Trafik		β_0	β_1	β_2	β_3	Ort. Mutlak
							Yüzdelerik Hata (%) (MAPE)
Lineer	$Y = \beta_0 + \beta_1 t$	Toplam	579892.7	168173.6			5.2
		İç hat	107743.9	50933.3			4.8
		Dış hat	472148.8	117240.2			6.3
Logaritmik	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln t$	Toplam	247637.3	919008.4			17.7
		İç Hat	-7085.9	285741.2			19.2
		Dış Hat	254723.4	633267			17.4
Ters	$Y = \beta_0 + \beta_1/t$	Toplam	2.49*10 ⁶	-2.3*10 ⁶			30.1
		İç Hat	694849	-729649			37.0
		Dış Hat	1.79*10 ⁶	-1.6*10 ⁶			28.3
Karesel	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$	Toplam	789510.1	98301.1	4110.1		2.91
		İç Hat	116970.8	47857.7	180.9		4.7
		Dış Hat	672539	50443.4	3929.2		3.0
Küçük	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$	Toplam	844698.9	626101.4	8951.2	-189	2.96
		İç Hat	152362.8	26101.4	3285.4	-122	4.5
		Dış Hat	692336	38273.7	5665.8	-68.1	3.1
Birleşik	$Y = \beta_0 \beta_1 t$	Toplam	916748.5	1.087			4.2
		İç Hat	230651.3	1.095			10.5
		Dış Hat	688066.3	1.084			3.4
Kuvvet	$Y = \beta_0 t^{\beta_1}$	Toplam	483811.8	0.679			9.8
		İç Hat	106056.3	0.772			7.1
		Dış Hat	383614.2	0.642			11.0
S	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1/t)$	Toplam	917054	-841705.8			30.1
		İç Hat	255620.8	-268423.08			37.0
		Dış Hat	661433.2	-573282.6			28.3
Büyüme	$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 t)$	Toplam	213330.6	61867.6			5.2
		İç Hat	39636.8	18737.3			4.8
		Dış Hat	173693.9	43130.3			6.3
Üstel	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 t}$	Toplam	0.0838	916748.6			4.2
		İç Hat	0.0907	230651.3			10.5
		Dış Hat	0.0811	688066.3			3.4