

## Talep Tahmini ve Dinamik Fiyatlandırma İle Havayolu Bilet Fiyatlarının Belirlenmesi (Determination of Airline Ticket Pricing Based on Demand Forecast and Dynamic Pricing Policy)

Harun Reşit YAZGAN<sup>a</sup> Gökçe CANDAN<sup>b</sup> Merve ATAMAN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye. [yazgan@sakarya.edu.tr](mailto:yazgan@sakarya.edu.tr)

<sup>b</sup> Sakarya Üniversitesi, Ekonometri Bölümü, Sakarya, Türkiye. [gcandan@sakarya.edu.tr](mailto:gcandan@sakarya.edu.tr)

<sup>c</sup> Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye. [atamanmerve96@gmail.com](mailto:atamanmerve96@gmail.com)

MAKALE BİLGİSİ	ÖZET
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Dinamik fiyatlandırma Talep tahmini Havayolu işletmeciliği  Gönderme Tarihi 2 Ocak 2019 Revizyon Tarihi 3 Nisan 2019 Kabul Tarihi 4 Mayıs 2019  <b>Makale Kategorisi:</b> Araştırma Makalesi	<b>Amaç</b> – Havayolu şirketine ait müşteri taleplerini tahmin ederek kapasite kısıtları altında geliri en çok yapan en iyi (optimal) bilet fiyat değerlerinin bulunmasıdır. <b>Yöntem</b> – Havayolu şirketinin yolcularının tahmin edilmesinde; en küçük kareler yöntemi, Poisson regresyon denklemi ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılmıştır. İki yerel ve üç tane de global rota belirlenmiş ve bu rotaların haftalık ve günlük talep verileri, koltuk satış fiyatı ve uçak kapasitesi parametreleri göz önünde bulundurularak talep modelleri elde edilmiştir. Elde edilen talep değerleri, hata kareleri ortalamasının karekökü (HKOK) ve ortalama mutlak sapma (MAD) hata kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Ardından, en iyi talep tahmin yöntemlerine göre gelir fonksiyonları oluşturulmuştur. <b>Bulgular</b> – Talebe bağlı gelir fonksiyonları amaç fonksiyonu olarak alınmış ve bunlara kapasite kısıtları eklenerek, doğrusal olmayan bir gelir modeli elde edilmiştir. Sonucunda ise, geliri en çok yapacak dinamik koltuk satış fiyatları bulunmuştur. <b>Tartışma</b> – Çalışmada, stoklanamayan ürünlerin dinamik fiyatlandırması kapsamında talep tahmini, istatistik, makine öğrenmesi ve yöneylem araştırması konularını bir araya getirilerek dinamik bilet fiyatları geliştirme konusuna yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak; stoklanamayan ürünlerde dinamik fiyatlandırma problemi, gelirin talebe bağlı olarak tanımlandığı, aynı zamanda da kapasite kısıtlı ve dinamik fiyat esasına dayalı yeni bir doğrusal olmayan (nonlinear) bir model geliştirilmiştir.
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Keywords:</b> Dynamic pricing Demand forecast Airline management  Received 2 January 2019 Revised 3 April 2019 Accepted 4 May 2019  <b>Article Classification:</b> Research Article	<b>Purpose</b> – Revenue management maximizes revenue using the diversification of the sales price. The issue of dynamic pricing and revenue management have gained importance because of an increasing appreciation of the airline in recent years. <b>Design/methodology/approach</b> – The aim of this study was to find an optimal dynamic ticket price based on forecasting customer demand, which maximizes an airline company's revenue under capacity constraints. The least squares method, Poisson regression equation and support vector machine were used to analyse the demand structure of the airline. <b>Findings</b> – Demand models were obtained by considering weekly and daily demand data, seat sales price and aircraft capacity parameters for two local and three global routes. Then, the demand results were compared according to the square root of mean error (mean value of error) and mean absolute deviation (MAD). So, revenue functions were created based on demand functions for each route. Thus, revenue functions expressed according to demand used as objective function of a nonlinear programming and capacity constraints were added. Optimal dynamic ticket sales price which maximize the airline company's revenue was found. <b>Discussion</b> – In addition, a new approach was proposed in the price policy development by combining demand forecasting, statistics, machine learning and operations research within the scope of dynamic pricing of non-stocked products. In this way, we believe that we have done a considerable contribution on determination of the dynamic ticket pricing for airline companies.

### Önerilen Atıf/ Suggested Citation:

Yazgan, H.R., Candan, G., Ataman, M. (2019). Talep Tahmini ve Dinamik Fiyatlandırma İle Havayolu Bilet Fiyatlarının Belirlenmesi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11 (2), 732-742.

## GİRİŞ

İşletmeler varlıklarını sürdürebilmek ve gelirlerini artırabilmek için farklı fiyat politikaları uygularlar. Belli bir dönem kar sağlamanın yanı sıra karlılığı sürekli hale getirmek işletmelerin en önemli amaçlarından biridir. Ürün fiyatı, işletmelerin kendi politikalarını belirlemek için kullandığı araçların en önemlilerindedir. Fiyat üzerine stratejiler geliştirmek tüm işletmelerde olduğu gibi havayolu işletmelerinde de önemini korumaktadır.

Hizmet sektöründe yer alan havayolu işletmeleri, üretim işletmelerinden daha farklı politikalar belirlemelidirler. Örneğin, bir havayolu işletmesinde, hizmet çıktısını stoklayamadıkları için zamanında satılamayan bir koltuk işletmenin gelir kaybına neden olmaktadır. Buna ilaveten havayolu işletmelerinde risk faktörü de önemli bir konudur. Bu işletmeler yüksek sabit maliyetler ve taleplerden etkilenmektedirler. Talebin ve kapasitenin yönetimi de havayolu işletmeleri için önem arz etmektedir. Havayolu işletmelerinin de tüm bu sebepleri göz önüne alarak en iyi gelir yönetimi politikaları geliştirmeleri uygun olacaktır (Hacıoğlu, 2011). Son yıllarda gelirin en iyilenmesi (optimal) için en uygun satış fiyatlarının belirlenmesine yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir. Emeksiz ve Akoğlan, 2002).

Bunların yanı sıra gelir yönetiminin en önemli konularından birisi de “dinamik fiyatlandırma” konusudur. Dinamik fiyatlandırma “Doğru ürünü, doğru müşteriye doğru zamanda satmak” olarak ifade edilebilir. Kısıtlı satış süresine sahip, kullanılmayan kapasitenin ortaya çıktığı ve talebin fiyata bağlı olarak belirlenmesinin geliri daha doğru olarak yönetmeye katkıda bulunacağı söylenebilir. Bitran ve Caltendey, 2003). Bundan dolayı dinamik fiyatlandırmada, fiyat ve miktarlar ile ilgili detaylı analizlerin yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Örnek olarak bir havayolu şirketinde uçuş koltuk bilet fiyatları düşünülün belirli bir planlama döneminde elde bulunan (stok) koltuk fiyatlarının, toplam geliri en çok yapacak şekilde dinamik olarak anlık olarak belirlenmesi çok daha uygun olacaktır (Monohan, 2002).

Bugün, gelir yönetim sistemleri ve bilişim teknolojileri; havayolları, oteller, araba kiralama işletmeleri ve diğer birçok endüstrinin başarılı olmasında kritik rol oynamaktadır. Dinamik fiyatlandırmanın uygulandığı endüstrilerin genel özellikleri, tükenir nitelikte kapasite ve fiyata duyarlı talep yapısıdır. Tükenir nitelikteki kapasiteye bir uçağın koltuklarının uçuş saatine kadar satılamaması sonucunda elde kalan biletlerin getiri değerini tamamıyla yitirmesi örnek olarak gösterilebilir.

## 1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde dinamik fiyatlandırma ve gelir yönetimi konuları ile ilgili yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir: Badinelli ve Olsen (1990) bir malın gelecekteki fiyatını belirlerken, bugünün fiyatlarını dikkate alma konusunu incelemiştir. Chatwin (2000) toptancının elindeki stoğun “son tüketim tarihi” geçmeden önce belirli bir aralıkta fiyatlandırmasını, perakendecilerin de buna bağlı olarak izin verilen fiyat aralığında kendi fiyatını dinamik olarak ayarlayabileceği ileri sürülmüştür. Bir başka çalışmada ise, Monohan (2002) dinamik fiyatlandırma problemini, geliri en çok yapmak için, bir planlama dönemi içinde fiyatın stok seviyesine göre belirlenmesi olarak tanımlamış bunun bazı hesaplama zorlukları içerdiğini belirtmiştir. Buna örnek olarak da havayolu firmasında, uçuşa ait koltukların fiyatlandırılmasını göstermiştir. Önceden uçağın uçuş zamanı belirlenmiş olsa dahi, koltukların fiyatı, uçağın kalkış anına kadar dinamik olarak değişebilmektedir. Kimes ve Wirtz (2003) çalışmalarında, gelir yönetimi uygulamalarında fiyat duyarlılığına sahip iki farklı müşteri grubunun olduğunu, ürüne rağbetin az olduğu durumda yalnızca yüksek fiyat duyarlılığına sahip müşterilerin satın aldığı, fakat fiyat duyarlılığı düşük olan müşterilerin ise, ürünün fiyatı yüksek olduğunda veya çok rağbet görürken dahi satın aldığını belirtmişlerdir. Çok işletmeyi de fiyat değişimi yapmaktan alıkoyan esas nedenin, müşterilerin yapılan fiyat değişiminden rahatsız olacağından korkulması olarak ifade etmişlerdir. Dinamik fiyatlandırma ile ilgili bir başka çalışmayı Anjos, (2005) yapmış, çalışmasında sınırlı arz miktarına sahip ürünlerin fiyatlarının gelen talep ve zamana göre yapılmasının uygun olacağını belirtmiştir. Shields ve Shelleman (2009) çalışmalarında bir firmanın gelir yönetim politikasının belirlenmesinde geliri en çok yapılacak ürün fiyatının dinamik olarak belirlenmesini, bunun icra aşamasında da müşteri talepleri, taleplerin detaylı analizi, arz ve talep dengesinin önemi üzerinde durmuşlardır. Yöneticilere de bu anlamda yol gösterecek bir “kontrol listesi” önermişlerdir.

Bu çalışmalara ilaveten Kara (2008) ise dinamik fiyatlandırma konusunu otel ve havayolu örneği üzerinde incelemiştir. Hacıoğlu (2011) gelir yönetiminin tanımlanması üzerinde çalışmış ve Türkiye’deki havayolu

işletmelerinin gelir yönetimi uygulamaları hakkında bilgi toplamayı hedeflemiştir. Bilişik (2011) fiyata bağlı gelir fonksiyonları üzerinde çalışma yapmıştır. Çalışmasında, talep tahmini için ise istatistiksel öğrenmeye dayanan destek vektör makinesi ile çoklu regresyon yöntemlerini karşılaştırmıştır. Buna ilaveten kapasite kısıtlı/kısıtsız şartlar altında geliri en çok yapacak dinamik fiyatın bulunması konusunu incelemiştir. Sonucunda geliştirdiği yöntemin perakende sektörü için uygun olduğunu ifade etmektedir. Rahimi (2014) raf ömrü bulunan tüketim ürünleri (dayanıksız) için rassal ve zamana bağlı talep ve periyodik kontrol altında eşgüdümlü stok yönetimi ve dinamik fiyatlandırma üzerinde çalışmıştır. En iyi fiyat ve en iyi stok ve sipariş zamanını vermede model oluşturmuş, bunu ise dinamik programlama ile fiyatın sabit ve değişken varsayımları altında çözmüştür. Özbay (2015) geliri en çok yapacak talep tabanlı dinamik fiyat elde edilmesi üzerinde çalışma yapmıştır. Bu kapsamda, sekiz farklı tek bacaklı yerel rotaları inceleyerek, talep tahmininde zaman serileri ile doğrusal regresyon metotlarını kullanmıştır. Her bir rota için en iyi uyum sağlayan talep modelini sonrasında ise buna uygun en uygun fiyatı belirlemiştir. Bir başka çalışmada ise, Yıldız (2015) talebin rassal, çok dönemli ve sınırlı bir ortamda fiyat koruması olan tedarik zinciri modelini incelemiştir. Satış periyodunda belirli miktarda başlangıç envanteri olan bir üretici ve bir perakendeci modelinde, üreticinin perakende satış fiyatına karar verdiği durumu incelemiştir. Üreticinin amacı her periyodun başında kendi karını en çok yapacak satış fiyatını belirlerken kendisinde ve dahi perakendecide kalan envanter miktarlarını göz önünde bulunduran en iyi fiyat ve gelir üzerindeki etkilerini incelenmiştir.

## 2. ELE ALINAN PROBLEM

Bu çalışmada temel amaç, uçuşa hazır koltuk fiyatlarının talebe bağlı ve dinamik olarak bulunmasıdır. Stoklanamayan ürünlerde dinamik fiyatlandırma problemi, gelirin talebe bağlı olarak tanımlandığı, aynı zamanda da kapasite kısıtlı ve dinamik fiyat esasına dayalı yeni bir doğrusal olmayan (nonlinear) bir model geliştirilmiştir. Talep tahmininde ise, en küçük kareler, Poisson regresyon denklemi ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılmıştır. Geliştirilen model yerel ve global rotalar üzerinde uygulanmış ve elde kalan koltuk sayına bağlı olarak (talep), koltuk bilet fiyatlarının (dinamik) olarak belirlenme süreci üzerinde çalışılmıştır.

## 3. YÖNTEM

Çalışma kapsamında öncelikle bir havayolu şirketinin talep yapısının analiz edilmesinde en küçük kareler yöntemi, Poisson regresyon denklemi ve destek vektör makinesinden yararlanılarak doğrusal olmayan bir model önerilmiştir. Bu modelde amaç fonksiyonu (gelir) talebe bağlı olarak geliştirilmiştir. Modele ayrıca kapasite kısıt denklemleri de ilave edilmiştir. Elde edilen doğrusal modelin çözümü ile gelirin en çok olmasını sağlayan en uygun dinamik koltuk satış fiyatları bulunması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler şu şekilde açıklanabilir:

### 3.1 Destek Vektör Makinesi

Destek vektör makinesi, veriyi sadeleştirmek, kestirim yapmak amacıyla gruplama yapılan ve regresyon analizi için kullanılan veriyi inceleyip analiz eden bağımlı öğrenme algoritmalarıyla kontrollü öğrenme modelleridir. Destek vektör makinesi, ilk kez Vladimir Vapnik ve Kernel Trick-Busor, Guyon tarafından 1992 COLT (Computational Learning Theory) konferansında önerilmiş olup, son kullanılan güncel şeklini Corinna Cortes ve Vladimir Vapnik tarafından 1995 yılında almıştır (Cortes ve Vapnik, 1995). 1997 yılında ise, destek vektör makinesi algoritması yine Vapnik ve arkadaşları ile birlikte regresyon çalışmalarını da kapsayacak şekilde geliştirilmiştir (Drucker ve diğ., 1997). Bu tarihten itibaren son yıllarda ilerleyen bilgisayar teknolojisiyle birlikte artarak kullanılmaya başlanmıştır.

DeneySEL olarak gözlenmiş yanıtlar ile kestirimleri arasında mümkün olan en küçük sapmaya sahip  $f(x)$  fonksiyonunun belirlenmesi işlemleri klasik regresyon çözümlemesi olarak açıklanır. Elde edilecek performans geliştirilmesi için destek vektör regresyonunun ana özelliklerinden biri, gözlemlenmiş eğitim hatasının en küçük yapılması yerine, genelleştirilmiş hata sınırının en küçük yapılmaya çalışılmasıdır. Burada bahsedilen genelleştirilmiş hata sınırı, eğitim hatasının ve fonksiyonlar kümesinin karmaşıklığını denetleyen bir düzenleme teriminin birleşimi ile belirlenir (Başer, 2013).

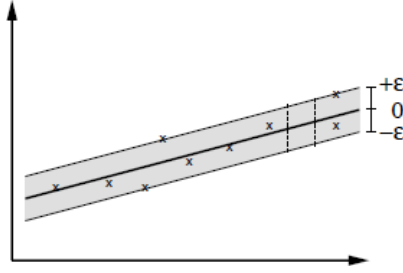
Destek vektör makinesi ile ilgili ilk çalışmalar yapıldıkça regresyon uygulamalarında ve zaman serilerinin tahmininde çok başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Aşağıda, destek vektör makinesinin regresyon uyarlamasına ilişkin genel bilgiler bulunmaktadır.

$D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_l, y_l)\}$  den oluşan bir eğitim seti için; burada  $x_i$  N-boyutlu girdi değişkenlerinin her biri,  $y_i$  ise çıktı değişkeni olmak üzere;

$f(x) = \langle w, x \rangle + b$  fonksiyonunun elde edilmesi amaçlanıyor. Burada da  $w$  normal vektör olarak isimlendirilirken,  $x$  ise girdi vektörü olarak bilinmektedir ve eş boyutlu vektörel bir çarpım söz konusudur.

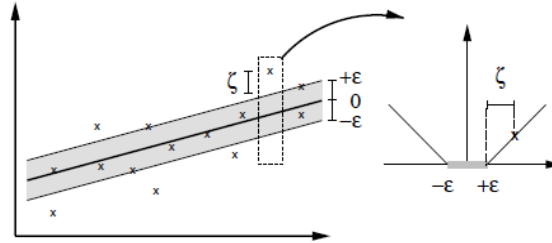
Tüm eğitim verisi için elde edilen gerçek  $y_i$  hedeflerinden en çok  $\varepsilon$  sapmaya sahip olacak bir  $f(x)$  fonksiyonunun bulunması destek vektör regresyonunun hedefidir (Başer, 2013).

Aşağıda, Şekil 1’de görüldüğü gibi  $f(x)$  fonksiyonu gerçek çıktı değerlerini  $\varepsilon$ ’a eşit ve daha düşük hata miktarları ile tahmin etmelidir.



Şekil 1: Gerçek çıktı değerlerinin  $\pm \varepsilon$  hata ile tahmin edilmesi (Smola and Schölkopf, 2004)

Ancak, yukarıda tanımlanmış olduğu gibi, tüm veri noktalarının  $\varepsilon$  hata ile tahmin edilememesi durumunda, fonksiyonun sadeliği ile  $\varepsilon$  hatadan fazla sapmaların uzlaşmasını belirleyen bir C karmaşıklık katsayısı kullanılır. Bu durumda,  $\varepsilon$  hatadan fazla sapmalar, Şekil 2’deki gibi cezalandırılır.



Şekil 2:  $\varepsilon$  hatadan fazla tahmin edilme durumu (Smola ve Schölkopf, 2004)

Problem matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:  $f(x)$  fonksiyonunun bulunabilmesi için enaz bir  $w$  vektörü aranır. Bunun içinde,  $w$  vektörünün normu enaz edilir. Problem, konveks optimizasyon problemi olarak yazılabilir.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2$$

Kısıtlar

$$y_i - \langle w, x_i \rangle - b \leq \varepsilon$$

$$\langle w, x_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon$$

Ancak yukarıda belirtilen kısıtlar dahilinde  $\varepsilon$  yaklaşık uygun bir problem çözümünün bulunamayabileceği belirtilmiştir. Bu sorunu gidermek için serbest değişkenler probleme eklenmiştir (Smola ve Schölkopf, 2004).

Buna göre problem aşağıdaki şekilde yeniden ifade edilmiştir.

$$\text{enaz } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\delta_i + \delta_{i*})$$

Kısıtlar;

$$y_i - \langle w, x_i \rangle - b \leq \varepsilon + \delta_i$$

$$\langle w, x_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon + \delta_{i*}$$

$$\delta_i, \delta_{i*} \leq 0$$

Burada, C sabiti, 0'dan büyük bir sayı olup,  $\varepsilon$  ' dan daha fazla sapmaların miktarı ile  $f(x)$  fonksiyonunun sadeliği arasındaki uzlaşmayı sağlar. Hesaplamalarda  $\varepsilon$  parametresi Weka kabul değeri olan 0,001 olarak alınmış olup, bu değer değişmesinin fonksiyon katsayıları ve tahmin performansı üzerinde duyarlı olmadığı gözlemlenmiştir.

Destek vektör makinesi yönteminin kullanılma amacı, yönteme ait talep fonksiyonu kestirimini elde etmektir.

### 3.2 Poisson Regresyon Modeli

Poisson regresyon modeli diğer adıyla log-lineer regresyon olarak da bilinmektedir. Poisson regresyonu üstel (exponential) dağılımı esas almaktadır. Ayrıca, normal dağılım varsayımlarını gerektirmediği için de yoğun olarak kullanım alanı bulmuştur (Frome ve diğ., 1973).

Poisson regresyon analizi, bağımsız değişkenler ile sayma veriye dayalı olan bir bağlı değişken arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Sayma veri, herhangi bir olayın belli bir süreç içerisinde meydana gelme sayısı olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla, sayma veriler kesiklidir (0, 1, 2, 3,.. gibi). Bu tür veriler için; belli bir ilaç tedavisi sırasında meydana gelen yan etkilerin sayısı veya belli bir dönemde meydana gelen talep miktarı örnek olarak gösterilebilir. Sayma veri modelinde ilk gelişmeler; aktüeryal bilimler, biyoistatistik ve demografide gözlenmiştir. Ardından, ekonometricilerin de çok fazla dikkatini çekmiş ve özellikle mikroekonomide oldukça fazla kullanılmıştır (Bilişik, 2013).

Poisson Regresyon modelinde, doğrusal yapı bağımsız değişkenleri bağımlı değişkenlerin beklenen değerine bağlayan ilişki fonksiyonu, aşağıdaki gibi logaritmik dönüşüm ile yapılır (Frome, 1983).

Y bağlı değişken,  $x_i$  bağımsız değişkenler,  $C_i$  bağımsız değişkenlerin katsayıları olmak üzere; ilişki fonksiyonu:

$$\log_e(Y) = C_0 + C_1 * X_1 + \dots + C_N * X_N$$

Buradan;

$$Y = e^{C_0 + C_1 * X_1 + C_2 * X_2 + \dots + C_N * X_N} \text{ elde edilir.}$$

Benzer şekilde,

$$Y = e^{C_0} * e^{C_1 * X_1} * \dots * e^{C_N * X_N}$$

şeklinde de yazılabilir.

Sayma veriye dayalı bir bağlı değişkenin diğer bağımsız değişkenler ile arasındaki ilişkisini matematiksel olarak inceleyen Poisson Regresyonu, literatürde az sayıda gözlemlenen olayların analizinde kullanılmış ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Osgood, 2000).

### 3.3 Çoklu Regresyon Analizi

Çoklu Regresyonda birden fazla bağımsız değişken ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) ile bir bağımlı değişken ( $y$ ) arasındaki ilişki incelenmektedir.  $X$  ler bağımsız değişkeni  $y$  bağımsız değişkeni göstermek üzere çoklu regresyon denklemi aşağıdaki gibidir.

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n$$

Çoklu Regresyon, değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şeklini, biri bağımlı diğerleri bağımsız değişkenler olarak göstermekle kalmaz. Aynı zamanda değişkenlerden birinin değeri bilindiğinde diğerleri hakkında kestirim yapılmasını da sağlar.

### 3.4 Doğrusal Olmayan Programlama

Doğrusal olmayan programlama, amaç fonksiyonu veya kısıtlardan bazılarının doğrusal olmadığı, eşitlik ve eşitsizliklerden oluşan bir sistem içinde, amaç fonksiyonun en büyüklendiği veya en küçüklendiği bir çözüm aracıdır.

Eğer bir en iyileme problemi için amaç fonksiyonu konkav (iç bükey) ve kısıtlarla sınırlanmış çözüm bölgesi konveks veya bir en küçükleme problemi için amaç fonksiyonu konveks (dış bükey) ve kısıtlarla sınırlanmış çözüm bölgesi konveks ise, konveks optimizasyon yöntemleri kullanılabilir (Bilişik, 2013).

Doğrusal olmayan programlama modelinin genel yapısı;

- $X$  : Karar değişkenleri vektörü,  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$   
 $g_i(x)$  : i. Kısıtın ifadesi ( $i=1,2,\dots,m$ ),  
 $b_i$  : i. Kısıtın sağ taraf değeri ( $i=1,2,\dots,m$ ),  
 $f(X)$  : Amaç fonksiyonu

En az bir  $g_i(x)$  ve/veya  $f(X)$  doğrusal olmayan vektör fonksiyonları olmak üzere;

$$\begin{aligned} \text{En çok (veya en az)} \quad z &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &(\leq, = \text{ veya } \geq) b_1 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &(\leq, = \text{ veya } \geq) b_2 \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &(\leq, = \text{ veya } \geq) b_m \end{aligned}$$

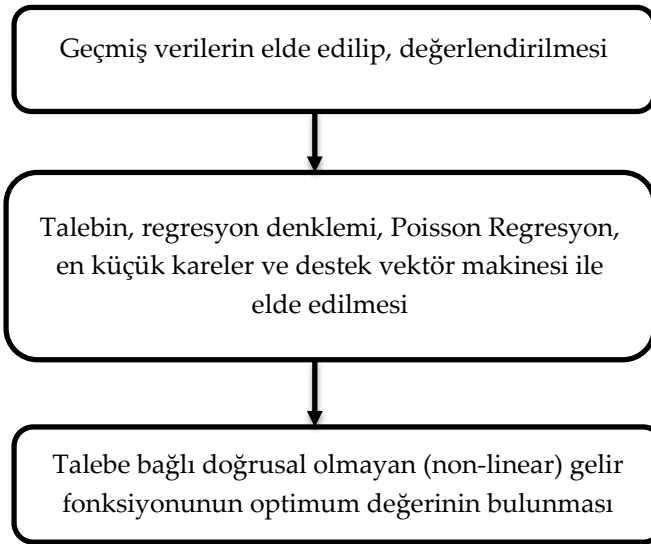
$f(X)$  fonksiyonunu eniyileyen  $X$  vektörünün bulunması amaçlanmaktadır.

Doğrusal olmayan programlama yöntemi, talebi daha iyi tahmin eden yönteme ait talep fonksiyonlarından elde edilen talebe göre düzenlenmiş gelir fonksiyonlarını kısıtlı kapasite koşulları altında analiz ederek optimal dinamik satış fiyatlarını bulmak için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında destek vektör makinesi, en küçük kareler ve poisson regresyon yöntemleri içerisinde, talebi diğer yöntemlere göre en iyi tahmin eden yönteme ait talep fonksiyonları kullanılarak, talebe bağımlı gelir fonksiyonlarına ulaşılmıştır. Ulaşılan bu gelir fonksiyonları da sınırlı kapasite kısıtları altında doğrusal olmayan programlama modeli kurularak, optimal dinamik satış fiyatları analiz edilmiştir.

## 4. BULGULAR

Hizmet sektöründe yer alan havayolu işletmelerinde, hizmetlerin çıktılarının stoklanamaması nedeniyle zamanında satılmayan bir koltuk işletmenin gelir kaybına neden olmaktadır. Bunun yanında havayolu işletmelerindeki risk faktörünün yüksek olma sebebi bu işletmelerde yüksek sabit maliyetlerin bulunması ve talepteki değişikliklerden hızlı ve kolay etkilenmeleridir.

Bu çalışmada bir havayolu firmasının gelirini en çok yapmak için dinamik fiyat ve talep tahmini esasına dayanan doğrusal olmayan bir gelir fonksiyonunun optimize problemi araştırılmıştır. Problemin çözümü için Şekil 3'teki aşamalar önerilmiştir.



Şekil 3: Problemin Çözüm Aşamaları

### 1.Aşama: Geçmiş Verilerin Elde Edilip, Değerlendirilmesi

Havayolu işletmesi satılan koltuk, koltuk fiyatı ve kapasite değerleri açısından iki ay süresince incelenmiş olup inceleme sırasında hafta içi, hafta sonu ve özel günlerdeki uçuş sayısı, koltuk fiyatı ve satılan koltuk sayısındaki değişimler dikkate alınmıştır. Elde edilen gözlem sonuçlarına göre yerel rotalar için 165 haftalık global rotalar için ise 365 günlük veriler oluşturulmuştur.

### 2. Aşama Regresyon Denklemlerinin Elde Edilmesi

Elde edilen hipotetik veriler ile yerel rotalar için; en küçük kareler Yöntemi ve Poisson Regresyon analizi ile, global rotalar için ise; en küçük kareler ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılarak talep modelleri elde edilmiştir. Denklemlerde gelir  $r$ , talep  $d$ , fiyat  $p$ , kapasite ise  $q$  ile gösterilmiştir.

Tablo 1: Yerel Rotalar İçin Elde Edilen Talep Modelleri

Rotalar	En Küçük Kareler Yöntemi	Poisson Regresyon Analizi
Ankara-İstanbul	$d = 3.5514 \times p + 1.0521 \times q - 2018.26$	$d = e^{0.00021 \times p + 0.00007 \times q + 8.46}$
Kayseri-İstanbul	$d = 2.073 \times p + 0,975 \times q - 1027.41$	$d = e^{0.00038 \times p + 0.00018 \times q + 7.39}$

Tablo 2:Global Rotalar İçin Elde Edilen Talep Modelleri

Rotalar	En Küçük Kareler Yöntemi	Destek Vektör Makinesi Yöntemi
İstanbul-Amsterdam	$d = 1.761 \times q + 0.0118 \times p - 157.202$	$d = 1.795 \times q + 0.012 \times p - 163.887$
İstanbul-Köln	$d = 2.240 \times q + 0.0227 \times p - 254.9$	$d = 2.049 \times q + 0.025 \times p - 221.065$
İstanbul-Paris	$d = 2.873 \times q + 0.0214 \times p - 377.305$	$d = 2.609 \times q + 0.034 \times p - 335.752$

Talebi en iyi tahmin eden modellerin bulunması için yerel rotalar için En Küçük Kareler ve Poisson Regresyon yöntemlerinin HKOK ve MAD hata kriterleri hesaplanmış ve en küçük hataya sahip olan model seçilmiştir. Global rotalarda ise En Küçük Kareler ve Destek Vektör Makinesi yöntemlerinin HKOK ve MAD hata kriterleri hesaplanmış ve en küçük hataya sahip olan model seçilmiştir.

Tablo 3'den görüldüğü gibi her bir rota için HKOK ve MAD hata kriterlerine göre En Küçük Kareler yönteminin tahmin doğruluğu Poisson Regresyon ve Destek Vektör Makinesi yöntemine göre daha iyi bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Tahmin Yöntemlerin Karşılaştırılması

<b>Rotalar</b>	<b>Yöntem</b>	<b>HKOK</b>	<b>MAD</b>
<b>Yerel Rotalar</b>	Kayseri-İstanbul	En Küçük Kareler Poisson Regresyon	142.19 144.22
	Ankara- İstanbul	En Küçük Kareler Poisson Regresyon	144.36 146.87
	İstanbul-Amsterdam	En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi	2.427 2.481
	İstanbul-Köln	En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi	4.04 4.14
<b>Global Rotalar</b>	İstanbul-Paris	En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi	5.78 5.94
			3.4 3.49
			2.02 2.06
			4.96 4.99

**3.Aşama: Gelir Fonksiyonlarının Optimize Edilmesi**

Talep fonksiyonundan fiyat fonksiyonu elde edilir. Gelir fonksiyonu ise fiyat ve talebin çarpımı sonucu elde edilir.

**Tablo 4:** Gelir Fonksiyonu

<b>Rotalar</b>	<b>Gelir Fonksiyonu</b>
Ankara-İstanbul	$r(q) = d * ((d - 1.0521 * q + 2018.26)/3.5514)$
Kayseri-İstanbul	$r(q) = d * ((d - 0.975 * q + 1027.41)/2.073)$
İstanbul-Amsterdam	$r(q) = d * ((d - 1.761 * q + 157.202)/0.0118)$
İstanbul-Köln	$r(q) = d * ((d - 2.240 * q + 254.927)/0.022)$
İstanbul-Paris	$r(q) = d * ((d - 2.873 * q + 377.305)/0.021)$

Yapılan gözlemler sonucunda yerel rotalar için kısıtlar; en fazla uçuş sayısı ve uçağın sahip olduğu en fazla koltuk sayısı çarpımından elde edilen maksimum kapasite kısıtı ve kapasitenin talep ile arasındaki ilişki kısıtı göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Global rotalarda ise; uçağın farklı koltuk kapasite durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Uçağın kapasite kısıtı ve kapasitenin talep ile arasındaki ilişkisi göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Kısıt Fonksiyonları Tablo 5 de verilmiştir.

**Tablo 5:** Kısıt Fonksiyonu

<b>Rotalar</b>	<b>Kısıt Fonksiyonu</b>
Ankara-İstanbul	$q \leq 17388$ $d = 0.987 * q - 2241.01$
Kayseri-İstanbul	$q \leq 6615$ $d = 1.108 * q - 581.73$
İstanbul-Amsterdam	$d = 2.389 * q - 265.340$
İstanbul-Köln	$d = 3.2 * q - 418.678$
İstanbul-Paris	$d = 3.501 * q - 480.818$



Elde edilen yerel rotaların optimum değerleri Tablo 6 verilmiştir.

**Tablo 6:** Yerel Rotaların Optimum Değerleri

Değişkenler	Ankara	Kayseri
Talep	17025	5947
Kapasite	17388	6615
Fiyat (TL)	210,97	253,28
Gelir (TL)	3591744	1506356

Global rotalar ise, Tablo 7'den görüldüğü gibi havayolları üç farklı kapasite durumunda incelenmiştir. Havayolu şirketlerinin yolcu talebinin fazla olduğu durumlarda fazla kapasiteye sahip uçakları kullandığı, yolcu trafiğinin daha az olduğu durumlarında ise daha az kapasiteye sahip uçakları kullandığı gözlemlenmiştir. İncelenen üç farklı rotada her kapasite durumu için tahmin edilen talebe dayalı geliri en iyileyen optimal fiyatlar elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Global Rotalar İçin Farklı Kapasite Durumlarında Optimum Değerler

Kapasite	Değişkenler	Amsterdam	Köln	Paris
180	Talep	165	157	149
	Fiyat (TL)	383	384	422
	Gelir (TL)	68,216	62,526	66,361
186	Talep	179	177	170
	Fiyat (TL)	772	677	647
	Gelir (TL)	131,098	114,862	105,646
189	Talep	186	186	181
	Fiyat (TL)	966	809	760
	Gelir (TL)	165,958	144,677	128,057

## SONUÇ

Gelir yönetimi, firmaların kaynaklarını etkin biçimde yöneterek gelirlerini en üst düzeye çıkarmayı hedefledikleri bir strateji planlamasıdır. Nispeten sabit kapasiteye sahip birçok sektörde uygulanmasıyla birlikte havayolu taşımacılığı bu sistemin uygulanabilmesi için oldukça elverişlidir. Havayolu şirketlerinin sundukları ürün bir uçuş hizmeti olarak değerlendirilebilir ve bu uçuş için kapasiteyi o uçuşa atanan uçak tipi belirler. Bir uçağa fazladan bir koltuk eklemek veya bir koltuk çıkarmak ek zaman ister ve ek maliyet oluşturur. Ancak havayolları gelirlerini en çok yapmak için uçaklarını daha sık uçurmayı tercih ederler. Çünkü duran bir uçak gelir kaybı ve fazladan maliyet oluşturacaktır. Dolayısıyla havayolunun kapasitede fiziksel değişiklik yapmak için zaman kaybetmesi düşünülebilir bir seçenek değildir.

Havayolu endüstrisi kapasite/koltuk kontrolü ve dinamik bilet fiyatlandırma açısından gelir yönetimi tekniklerinin kullanımına öncülük etmiştir. Bugün gelir yönetimi; perakendecilikte ürünlerin fiyatlandırılmasında, araba kiralama acenteleri, oteller, internet sağlayıcılar, elektrik tedariki sağlayan işletmeler gibi birçok endüstriye yayılmıştır. Bu endüstriler birçok açıdan farklılıklar taşımalarına rağmen; gelir yönetimi problemlerini temel özellikleri olan ürünlerinin eskimeye tabi olması, sınırlı satış dönemi ve fiyat duyarlılığı gibi talep özelliklerine sahiptirler.

Bu çalışmada geçmiş satış ve fiyat verileri kullanılarak, dinamik bilet fiyat belirleme konusunda Poisson Regresyon analizi, en küçük kareler ve destek vektör makinesi yöntemleri ile talep tahmin fonksiyonları ve bunlara bağlı olarak doğrusal olmayan gelir fonksiyonları elde edilmiştir. Gelir fonksiyonlarının çözümü ile en uygun bilet fiyatlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece farklı tahmin yöntemleri dikkate alınarak doğrusal olmayan gelir fonksiyonlarının optimize edilmesi ile dinamik fiyatlandırma politikalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Geliştirilen model ve çözüm yaklaşımı bir havayolu şirketinin verileri üzerinde uygulanmıştır. Çalışma dahilinde, tahmine dayalı modelleme ve optimizasyon yazılımlarından faydalanılarak önerilen model ve çözüm yaklaşımı bir havayolu şirketinin verileri üzerinde uygulanmıştır.

Sonuç olarak 165 haftalık ve 365 günlük ortalama fiyat, satılan koltuk sayısı ve uçak kapasitesi verileri kullanılarak Ankara-İstanbul, Kayseri-İstanbul, İstanbul-Amsterdam, İstanbul-Köln ve İstanbul-Paris rotaları için geliri en çok yapan optimal fiyat değerleri bulunmuştur. Bu fiyatlar, piyasa talebi potansiyeli ile ilgili olarak bir pozisyon alınmasını sağlayabilecek ve havayollarının farklı pazarlardaki geliri en üst düzeye çıkarmak için dinamik fiyatlar üretmesine yardımcı olabilecektir.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı; stoklanamayan ürünlerde dinamik fiyatlandırma problemi, gelirin talebe bağlı olarak tanımlandığı, aynı zamanda da kapasite kısıtlı ve dinamik fiyat esaslı yeni bir doğrusal olmayan (nonlinear) bir model geliştirilmiştir. Talep tahmininde ise, en küçük kareler, poisson regresyon denklemi ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılmıştır. Geliştirilen model yerel ve global rotalar üzerinde uygulanmış ve elde kalan koltuk sayına bağlı olarak (talep), koltuk bilet fiyatlarının (dinamik) olarak belirlenme süreci üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, elde ettiğimiz optimal bilet fiyatlarının, havayolu işletmeleri için bir uçuşa satılan bilet fiyatlarının ortalaması olacak şekilde bilet fiyatlarını belirlemeleri karlılarını en çok yapmakta en önemli faktör olacağı sonucuna varılmıştır. Böylece tahmin edilen talebe göre gelir en büyüklenmiş olacaktır. Böylece tahmin edilenden daha fazla talep olursa işletme kalan koltukların fiyatını kendi politikası doğrultusunda belirleyebilme esnekliğine sahip olabilecektir.

#### KAYNAKLAR

- Baş, M., (2008) Gelir yönetiminde dinamik kapasite yönetimi simülasyonu ve bir havayolu şirketinde uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Başer, F., (2013) Aktüeryal modellemede bulanık destek vektör makineleri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Bilişik, M.T ve O. Gürgen, (2012) Perakendecilikte mevsimsel talebe sahip ürünlerin gelir yönetimi için dinamik fiyatlandırma, Öneri Dergisi, 37, 111-119.
- Bilişik, M.T, (2015) Gelir yönetimi dinamik fiyatlandırma uygulamalarında gelir maksimizasyonuna karşılık katkı payı maksimizasyonu, Akademik Bakış Dergisi, 47.
- Dağlı, D., (2016) Havayolu şirketlerinde gelir yönetimi üzerine bir araştırma, Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Lisans Tezi, Kocaeli.
- Edward, D., (2004) Airline Price Competition: A Time Series Analysis of 'Low-Cost' Carriers, 44th Congress of the European Regional Science Association: "Regions and Fiscal Federalism", Portekiz, Ağustos.
- Dikmen, N., (2012) EKONOMETRİ: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Dora Yayınları, ISBN:978-605-4485-44-4, İstanbul, Türkiye.
- Elmaghraby, W., Keskinocak, P., (2003) Dynamic pricing in the presence of inventory considerations: Research overview, current practices, and future directions, Management Science, 1287-1309.
- Hacıoğlu İ., (2011) Gelir yönetimi ve Türkiye'deki havayolu işletmelerinde gelir yönetimi üzerine bir uygulama, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Kimes, S. E. ve J. Wirtz, (2003) Has Revenue management become acceptable? Findings from an international study on the perceived fairness of rate fences, Cornell University School of Hotel Administration the Scholarly Commons.
- Maglaras, C. ve J. Meissner, (2006) Dynamic pricing strategies for multiproduct revenue management problems, Manufacturing & Service Operations Management, 2, 136-148.
- Meterelliyöz, M ve A. Tan, (2014) Gelir yönetimi metotlarının Türkiye otelcilik sektörüne uygulanması, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 16/3, 85-110.
- Shields, J. ve J. Shelleman, (2009) Development of a revenue management checklist, Small Business Institute Journal, 3.
- Özbay, F., (2015) An application of demand forecasting and fare management for an airline company, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Rahimi, S., (2014) Periodic review inventory control and dynamic pricing for perishable products under uncertain and time dependent demand, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 7.
- Sevüktekin, M., ve M. Nargeleçekenler, (2010) Ekonometrik Zaman Serileri Analizi: Eviews Uygulamalı, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, ISBN:975-591-7551 Ankara, Türkiye.
- Yıldız, B., (2015 )Dynamic pricing under inventory considerations and price protection, İhsan Doğramacı Bilkent University, Institute of Engineering and Science, Master Thesis.