

## KISA ÖMÜRLÜ ÜRÜNLER İÇİN KOORDİNELİ BİR STOK VE FİYAT YÖNETİMİ MODELİ

**Onur KAYA**

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada süt, yoğurt, yumurta, ekmek, taze meyve-sebze gibi kısa ömürlü dayanıksız ürünler için, zamana bağlı bir talep fonksiyonu gözetilerek, koordineli stok yönetimi ve fiyatlandırma kararları konu alınmaktadır. Dayanıklı ürünlerden farklı olarak, bu ürünler eskidikçe müşteriler tarafından daha az tercih edilmeye başlamakta ve kısa bir zaman içerisinde tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Dolayısıyla, herhangi bir anda elde bulunan ürünlerin sadece miktarları değil, durumları veya yaşları da stok ve fiyatlandırma kararlarına etki etmekte ve problemi zorlaştırmaktadır. Yeni ve taze ürünlere olan talep fazla iken, ürünler eskidikçe müşteriler tarafından daha az tercih edilmekte ve bazı müşteriler başka ürünlere yönelebilmektedir. Bu çalışmada kısa ömürlü ürünlerin stok ve fiyat yönetimi için bir model oluşturulmuş ve bu modelin analizi ile en iyi çözümü araştırılmıştır. Oluşturulan modelin en iyi çözümünün bulunmasının mümkün olmadığı durumlar için bir yaklaşım algoritması da geliştirilmiştir. Ayrıca, sayısal çalışmalar ile farklı durumlarda uygulanması gereken yöntemler ortaya çıkarılmış ve öneriler geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Stok yönetimi, Gelir yönetimi, Fiyatlandırma, Zamana bağlı talep

## A COORDINATED INVENTORY AND PRICING MODEL FOR PERISHABLE PRODUCTS

### ABSTRACT

In this study, coordinated inventory control and pricing decisions for perishable products, such as milk, yogurt, eggs, bread, fresh fruits, etc., considering an age-dependent demand function, is considered. Different from durable products, the demand for perishable products decrease as they age, and they can become totally obsolete in a short time period. Thus, not only the quantity of these products at hand, but also their age and freshness affect their inventory and pricing decisions, leading to a more complicated problem. As these products age, they will be demanded less and the customers might decide to go to other sellers. In this study, we build a model for the coordinated inventory and pricing management of perishable products, and we analyse the optimal solution of this model. We also propose an approximation algorithm for the cases when the optimal solution is difficult to find. Through numerical studies, we analyse the effects of the parameters on the optimal results and try to extract managerial implications.

**Keywords:** Inventory management, Revenue management, Pricing, Time-dependent demand

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada süt, yoğurt, yumurta, ekmek, taze meyve-sebze gibi kısa ömürlü dayanıksız ürünler için, ürünlerin tazeliğine ve zamana bağlı bir talep fonksiyonu gözetilerek, koordineli stok yönetimi ve fiyatlandırma kararları konu alınmaktadır. Kısa ömürlü ürünlerin yönetimi birçok sektör için önemli bir konu oluşturmaktadır ve kısa sürede bozulma riskleri nedeniyle bu ürünlerin yönetimi, sektör yöneticileri için uzun ömürlü ürünlere göre daha fazla zorluk çıkarmaktadır.

Dünyada market ve manav ürünleri satışlarından elde edilen gelir yıllık 2.7 trilyon dolara ulaşmış durumdadır ve bu ürünlerin üçte birinden fazlası ise çabuk bozulabilen kısa ömürlü ürünlerdir. Bu ürünlerin stok ve fiyat yönetimi düzgün olarak yapılamadığında çok büyük miktarlarda bozulmuş ürün

ortaya çıkmakta ve her ay dünya çapında milyarlarca dolarlık israf ve zarara yol açabilmektedir (bkz. Minner ve Transchel [1]). Broekmeulen ve Donselaar [2], 2005 ve 2006 yıllarındaki USDA (United States Department of Agriculture) verilerine dayanarak, supermarketlerde satılan taze meyvelerin %11,4'ü, taze sebzelerin %9,7'si ve taze et, tavuk ve deniz ürünlerinin %4,5'unun bozularak israf edildiğini belirtmektedir.

Dayanıklı ürünlerden farklı olarak, bu ürünler eskidikçe müşteriler tarafından daha az tercih edilmeye başlamakta ve kısa bir zaman içerisinde tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Dolayısıyla, herhangi bir anda elde bulunan ürünlerin sadece miktarları değil, durumları veya yaşları da stok ve fiyatlandırma kararlarına etki etmekte ve problemi zorlaştırmaktadır. Bu tip ürünlerde müşterilerin fazla çeşitlilik isteği, ürün tazeliğinin değişkenliği nedeniyle ortaya çıkan belirsizliği artırarak, talebin daha değişken olmasına yol açmakta ve daha fazla bilinemezlik nedeniyle ürün yönetimi zorlaştırmaktadır. Ürünler eskimeye başladıkça talep hızı azalmaktadır, bu nedenle talebi iyi bir şekilde kontrol edebilmek ve karlılığı arttırabilmek için yöneticilerin ne zaman yeni ürünler sipariş edeceklerine ve eldeki ürünlere ne zaman hangi fiyatı uygulayacaklarına düzgün bir şekilde karar vermeleri gerekmektedir. Sonuç olarak, talebin ürün tazeliğine bağlı olması, bu konudaki müşteri tercihleri ve ürünlerin çabuk bozulabilir olmaları bu ürünlerin stok ve fiyat yönetimini oldukça zorlaştırmaktadır.

Son yıllarda kısa ömürlü ürünler için dinamik fiyatlandırma modellerinin daha sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Örneğin, sebze-meyve gibi ürünler taze iken daha yüksek fiyatlardan satılırken, bu ürünler eskiyip bozulma sürecine girince fiyatları düşürülmektedir. Böylece fiyat duyarlılığı daha fazla olan müşterilerin bu ürünlere yönelmesi, kalite ve tazelik duyarlılığı daha fazla olan müşterilerin ise yeni ürünleri tercih etmesi dolayısıyla, farklı tip müşterilere yönelenebilmekte, müşterilerin ayrımlaşması sağlanmakta ve daha fazla gelir elde edilebilmektedir. Fakat, bu tip ürünler için doğru zamanda doğru fiyatın belirlenebilmesi karmaşık bir iştir. Geçmişte, ürün fiyatlarını sık sık değiştirmek zahmetli ve maliyetli olmakta ve müşteri talebi ile ilgili yeterli bilgi elde edilememekte idi. Bu nedenle yaygın olarak ürünlere sabit fiyat uygulanmakta idi. Fakat, günümüzde bilgi teknolojilerinin gelişmesi, müşteriler hakkında çok sayıda veri elde edilebilmesi ve kolayca fiyat değiştirilebilir hale gelmesi, şirketlerin çok az maliyet ile dinamik fiyatlandırma uygulamalarına geçebilmesine ve karlılıklarını arttırabilmesine imkan tanımaktadır.

Bu çalışmada sabit bir son kullanma tarihine sahip kısa ömürlü ürünler için talebin belirli olduğu varsayılarak koordineli en iyi fiyat ve stok stratejileri üzerinde durulmuştur. Ayrıca, kısa ömürlü ürünler için talep analizi de yapılmış ve müşteri anketleri yardımıyla talebin fiyat ve ürünün tazeliğine bağlı olarak nasıl değiştiği de araştırılmıştır. Stok yönetimi literatüründeki bir çok çalışmada ürünlerin sınırsız ömürleri olduğu ve talebin ürün yaşından bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Fakat, kısa ömürlü ürünler gözönüne alındığında, talebin ürün yaşı ile sıkı bir ilişkide olduğu görülmektedir. Talepteki bu değişiklik nedeniyle, ürün yaşına bağlı olarak farklı fiyat uygulamaları ve fiyatın ürün ömrü boyunca güncellenmesi, sistem karlılıklarını arttırmak adına önemli olmaktadır.

Kısa ömürlü ürünlerin stok yönetimi üzerine yapılan ilk araştırmalar 1950'lere dayanmaktadır. Bu ürünler ile ilgili yapılan araştırmalarda, ilk günden bugüne birçok farklı method ile incelemeler daha kapsamlı hale gelmiş ve bir o kadar da doğru sonuç vermeye başlamıştır. Nahmias [3], Rafaat [4], Goyal ve Giri [5], ve Karaesmen vd. [6] kısa ömürlü ürünlerin stok yönetimi üzerine kapsamlı literatür taramaları sunmaktadır. Yapılan ilk araştırmalarda, Van Zyl [7], rassal talep altında, dönemsel gözden geçirilen bir stok sisteminde, iki periyotluk ömrü olan tek bir ürün için en iyi stok stratejisini ortaya koymuştur. Daha sonra 1970'lerde yapılan çalışmalar ile Van Zyl'in sonuçları daha uzun ömürlü ürünler için genişletilmeye çalışılmıştır. Fakat bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, daha uzun ömürlü ürünler için en iyi kararları bulmanın zor olduğu ve dolayısıyla iyi sonuçlar verecek yaklaşım algoritmalarının geliştirilmesi gerektiğidir. Dönemsel gözden geçirilen stok sistemleri için Nahmias [8] ve Fries [9], dinamik programlama modelleri ile sabit ömürlü ürünler için en iyi sipariş miktarlarını belirlemeye

çalışmıştır. Bu çalışmalarda ürünün ömrüne bağlı olarak çok sayıda durum değişkenine ihtiyaç duyulması nedeniyle, ürün ömrünün biraz fazla olması durumunda, problemin uygun bir zaman diliminde çözümü mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla bu konudaki daha sonraki çalışmalarda yaklaşım algoritmalarına ağırlık verilmektedir, fakat bu çalışmalarda sipariş zamanları ve miktarlarının hem stok miktarına hem de bozulma oranına bağlı olması gerektiği göz önüne alınmamıştır.

Ferguson ve Ketzenberg [10] bir tedarikçi ve bir perakendeci kullanarak, bu iki şirket arasında ürünlerin yaş bilgisi paylaşımının stok sistemine etkisini ve bu bilginin değerini analiz etmektedir. Broekmeulen ve van Donselaar [2], kullanılan stok stratejisini  $(R,s, nQ)$  (Her  $R$  sürede, eğer eldeki stok  $s$ 'in altında ise sabit parti büyüklüğü olan  $Q$ 'nun  $n$  katı kadar ürün sipariş et) olarak geliştirmekte ve eldeki stok miktarının yanı sıra stokin yaş durumunu da hesaba katan yaklaşık bir sipariş yönetim algoritması önermektedir. Van Donselaar vd. [11] dinamik bir sipariş stratejisi kullanarak,  $(s,S)$ 'den farklı stok stratejileri önermiş ve önerilen stratejileri  $(s,S)$  stratejileri ile karşılaştırmıştır. Parlar vd. [12] ürün giriş ve çıkışlarının her ikisinin de dış kaynaklı olduğu ve karar değişkenleri olmadığı bir durum için, ürün satışında ilk giren ilk çıkar ve son giren ilk çıkar durumlarını karşılaştırmaktadır ve kuyruk teorisi bilgileri yardımıyla ürünlerin sistemde kalış zamanlarını ve bozulma oranlarını analiz etmektedir. Fakat bu çalışmada ürün sipariş veya fiyatlandırma kararları üzerinde durulmamaktadır.

Sürekli gözden geçirilen stok sistemleri için, Berk ve Gürler [13], sabit sipariş ücreti ve pozitif tedarik süresini göz önüne alarak  $(Q,r)$  stok stratejisini analiz etmiş ve verimli bir stok yönetimi için bir yaklaşım algoritması önermiştir. Schultz [14] kısa ömürlü ürünler için, sadece eldeki stok miktarına değil, zamana da bağlı bir stok stratejisi uygulamanın sistem maliyetlerini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Tekin vd. [15], çalışmada belirtilen özel bir bozulma sürecine sahip ürünler için, hem son sipariş zamanını hem de elde bulunan stok miktarını göz önüne alan bir stok stratejisi geliştirmiş ve bu stratejinin sadece stok miktarını göz önüne alan stratejilere göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Yukarıdaki modellerin hepsinde ürüne olan talebin ürün yaşından bağımsız olduğu varsayılmış ve hiçbirinde müşteri tercihleri göz önüne alınmamıştır. Fakat, kısa ömürlü ürünlerde, eğer raftaki ürünün son kullanma tarihi yakınsa müşteriler o ürünü almak yerine başka bir ürüne yönelebilir. Ayrıca, yukarıdaki çalışmalarda fiyat kararları üzerinde de durulmamıştır. Fiyatların da bir karar değişkeni olarak ele alınması durumunda, son kullanma tarihi yaklaşmış ürünlerin bozulmadan satılmasını sağlamak amacıyla, bu ürünlere indirim yapılarak müşterilerin aynı ürünün yenisi yerine daha ucuz fiyatlı fakat son kullanma tarihi yaklaşmış ürünlere yönelmesi sağlanabilir. Bu tip davranışların göz önüne alınmasının verilecek stok ve fiyat kararlarına çok önemli etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada kısa ömürlü ürünler için stok yönetimi kararları yanında bu ürünler için fiyatlandırma stratejileri üzerinde de çalışılmıştır. Literatürde çeşitli alanlarda fiyatlandırma kararlarını konu alan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır (Gallego ve van Ryzin [16,17], Bitran ve Mondschein [18, 19], Feng ve Gallego [20, 21], Zhao ve Zheng [22], Feng ve Xiao [23], Hall v.d. [24] vb). Fakat bu çalışmalar, çoğunlukla, belli bir zaman dilimi içinde, kısıtlı miktardaki stok veya kapasitenin en iyi şekilde değerlendirilmesine yönelik fiyatlandırma çalışmalarıdır ve genel varsayım, sipariş/üretim ile ilgili kararların önceden alınmış olduğudur. Dolayısıyla, bu kararlardan ötürü oluşacak maliyetler gözönünde bulundurulmaz ve bu çalışmalar stoğun ne zaman yenilenmesi ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiği gibi kararları barındırmaz. Elmagrabhy ve Keskinocak [25] ve Bitran ve Caldentey [26] gelir yönetimi konusunda detaylı literatür taramaları sunmaktadır.

Minner ve Transchel [1] yiyecek sektöründeki kısa ömürlü ürünler için, çeşitli servis seviyesi kısıtları altında en iyi stok stratejilerini analiz etmişlerdir fakat çalışmalarında herhangi bir fiyatlandırma kararı bulunmamaktadır. Chen vd. [27] kısa ömürlü ürünler için, rassal talep altında koordineli fiyat ve stok yönetimi üzerinde durmuş ve oluşturdukları modelin en iyi çözümünün yapısal özelliklerini araştırmışlardır. Chen ve Sapra [28] iki periyotluk ömrü olan ürünler için dönemsel gözden geçirilen bir

stok sistemini ele almış ve bu sistem için en iyi fiyat ve stok kararlarını analiz etmiştir. Chew Peng ve Chulung [29] iki dönemlik ömrü olan ürünler için ayrık zamanlı bir dinamik programlama modeli geliştirmiş ve en iyi fiyatlandırma ve stok kararlarının yapısal özelliklerini ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Fakat, bu çalışmaların tamamında talebin zamana bağlı olmadığı varsayılmaktadır.

Benkherouf [30], ve Mishra ve Singh [31] kısa ömürlü ürünler için belirli talep varsayımı altında, zamana bağlı bir talep fonksiyonu ele almışlardır, fakat bu çalışmalarda sadece stok kararları üzerinde durulmuş ve fiyat kararları ele alınmamıştır. Rajan vd. [32], Abad [33, 34, 35, 36], Transchel ve Minner [37] sipariş verme/üretme ve fiyatlandırma kararlarının birleşik verildiği modeller olarak gösterilebilir. Rajan vd. [32] sürekli bir fiyat fonksiyonu kullanarak, stok yönetimi ile fiyatlandırma arasındaki ilişkiyi ele almıştır. Transchel ve Minner [37] uzun ömürlü ürünler için, talebin belirli olduğu varsayımı altında, ayrık zamanlı fiyatlandırma kararlarını ele almıştır. Abad [33, 34, 35, 36] kısa ömürlü ürünler için, talebin belirli olduğu varsayımıyla, fiyatlandırma ve talep büyüklüğü belirleme problemleri üzerinde durmaktadır. Fakat bu çalışmalarda fiyatın sürekli olarak sıfır maliyet ile değiştirilebileceğini varsaymakta ve bu varsayım altında zamana bağlı en iyi fiyat fonksiyonunu,  $p(t)$ , bulmaya çalışmaktadır. Mukhopadhyay vd. [38] kısa ömürlü ürünler için koordineli fiyat ve stok kararlarını ele almış, fakat talebin zamandan bağımsız olduğunu varsaymış, ve ürün ömrü boyunca herhangi bir fiyat değişimine izin vermeden, sabit fiyat uygulamasını analiz etmiştir. Sana [39] zaman-bağımlı bir talep fonksiyonu ele almış ve fiyat değişim zamanlarının sabit ve belirli olduğu bir sistemi analiz etmiştir. P-S You [40] talebin ürün fiyatı ve yaşına bağlı olduğu kısa ömürlü ürünler için, sabit fiyat değişim aralıkları varsayımıyla, en iyi sipariş miktarları ve fiyatlandırma kararları üzerinde durmaktadır.

Bu çalışmada ele aldığımız modelde talebin belirli olduğu varsayılarak, sabit bir son kullanma tarihi olan ürünler için en iyi stok ve fiyatlandırma stratejileri üzerinde durulmuştur. Bu modelde, literatürdeki modellerden farklı olarak ürün tazeliğine ve fiyata bağlı bir talep fonksiyonu kullanılmış ve fiyatın istenen herhangi bir zamanda belli bir maliyet ile değiştirilebileceği düşünülerek, ne zaman fiyat değiştirilmesi, hangi fiyatların ne zaman uygulanması ile ne zaman ve ne kadar yeni ürün sipariş edilmesi gerektiği kararları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada dinamik fiyatlandırma modelleri ile tek bir fiyatın uygulandığı statik fiyatlandırma modelleri de karşılaştırılmış ve sayısal çalışmalar yardımıyla dinamik fiyatlandırmanın kazançları ortaya konulmuştur.

Yukarıda görüldüğü üzere, literatürdeki bir çok çalışmada kısa ömürlü ürünler için stok ve fiyatlandırma kararları ayrı ayrı ele alınmış veya ürün ömrü boyunca sabit fiyat uygulaması yapılmıştır. Fiyat değişimine izin verilen az sayıdaki çalışmada ise, ya herhangi bir fiyat değişim maliyeti olmadan, sürekli bir fiyat fonksiyonu kullanılmış ya da fiyat değişimlerinin önceden belirlenmiş zamanlarda yapıldığı varsayılmıştır. Fakat, gerçekte, fiyatı sürekli olarak değiştirmek pek mümkün değildir. Ayrıca, fiyat değişim zamanları da, sistem karlılığını etkileyen önemli bir etmendir. Bu çalışmada, literatürdeki modellerden farklı olarak, ürün fiyatı ve yaşına bağlı bir talep fonksiyonu ele alınarak, en iyi sipariş ve fiyat değerlerinin bulunmasının yanı sıra, fiyatların değiştirilmesi için en uygun zamanların da bulunması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, sistem karlılığını enbüyüklemek için, belirli bir fiyat değiştirme maliyeti altında, fiyatların kaç defa ve hangi zamanlarda değiştirilmesi gerektiği, en iyi fiyat değerleri ve en iyi stok kararları üzerinde durulmaktadır. Dinamik fiyat uygulamasının, sabit fiyatlandırma ile karşılaştırılması ve dinamik fiyat uygulamasının stok kararlarına etkileri de bu çalışmada analiz edilen diğer konulardır.

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

### 2.1. Kısa Ömürlü Ürünler için Talep Analizi

Sabit bir son kullanma tarihine sahip kısa ömürlü süt, yoğurt gibi ürünlerin koordineli stok ve fiyat yönetimi için öncelikle bu ürünler için bir talep analizi gerçekleştirilmiştir. Müşteri taleplerinin fiyat ve ürün durumuna göre nasıl değişeceğini tahmin etmek amacıyla bir müşteri anketi düzenlenmiş ve bir ürünün farklı fiyat ve durumlarında talebin nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Bu ankette kısa ömürlü (raf ömrü 7 gün olan) süt ürünleri ele alınmış ve market müşterilerine bu ürünün son kullanma tarihine kalan gün sayısı veya fiyatı değiştiğinde bu üründen ne kadar alacakları sorulmuştur. Toplamda 200 müşteri ile yapılan anket sonucu, farklı fiyat ve ürünün son kullanma tarihine kalan ömrüne bağlı olarak gerçekleşecek müşteri başına ortalama talep miktarı Tablo 1’deki gibi oluşmuştur. Örneğin, tablonun ilk hücresi, ürünün fiyatı 2 TL iken ve ürünün son kullanma tarihine sadece 1 gün kalmış ise o üründen müşteri başına ortalama 0,41 tane talep edileceğini ifade etmektedir.

**Tablo 1.** Sabit ömürlü ürünler için farklı fiyat ve raf ömürlerine bağlı olarak müşteri başına talep miktarı

|                |   | Fiyat |      |      |      |      |      |      |
|----------------|---|-------|------|------|------|------|------|------|
|                |   | 2,00  | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 |
| Kalan Raf Ömrü | 1 | 0,41  | 0,35 | 0,31 | 0,28 | 0,23 | 0,15 | 0,12 |
|                | 2 | 1,49  | 1,36 | 1,24 | 1,13 | 0,98 | 0,65 | 0,43 |
|                | 3 | 2,18  | 2,04 | 1,78 | 1,51 | 1,24 | 1,0  | 0,62 |
|                | 4 | 2,67  | 2,45 | 2,02 | 1,92 | 1,76 | 1,12 | 0,76 |
|                | 5 | 2,88  | 2,62 | 2,15 | 2,04 | 1,82 | 1,21 | 0,79 |
|                | 6 | 2,94  | 2,67 | 2,18 | 2,11 | 1,85 | 1,26 | 0,81 |
|                | 7 | 2,99  | 2,71 | 2,2  | 2,13 | 1,87 | 1,27 | 0,82 |

Bu tablodaki veriler kullanılarak bir regresyon modeli oluşturulup, talebin fiyat ve ürünün yaşına bağlı olarak nasıl değişeceği araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle talebin fiyat ve zamana doğrusal bir şekilde bağlı olduğu varsayılarak,  $D = a + bp + kt$  modeli kullanılmış ve SPSS programı yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analizde, tahmin edilmeye çalışılan a parametresi pazar büyüklüğünü, b parametresi talebin fiyat duyarlılığını, k parametresi ise talebin zaman duyarlılığını ifade etmektedir. Bu modeldeki bağımlı değişken D, talep miktarını, bağımsız değişkenlerden p ürünün fiyatını, t ise ürünün yaşını (ürünün raf ömrü 7 gün olduğu için, ürünün yaşı, 7–kalan raf ömrü olarak ele alınmıştır) ifade etmektedir. Tablo 2 ve 3’deki analiz sonuçları, bu modelin verileri ne ölçüde açıklayabildiğini göstermektedir. Bu model için  $R^2$  değeri 0.816 olarak görülmektedir. Ayrıca, Tablo 4’de,  $D = a + bp + kt$  modeli için en iyi katsayı değerlerinin  $a = 5,757$ ,  $b = -1,172$  ve  $k = -0.269$  olduğu görülmektedir. ANOVA tablosunda da, model ile elde edilen değerlerin kareleri toplamının, artık değerlerin kareleri toplamına göre oldukça yüksek oranda olduğu görülmekte, son sütunda belirtilen ,000 değeri, modelin ve model katsayılarının anlamlı olduğunu, talebin fiyat ve zamana bağlı olarak açıklanması gerektiğini ifade etmektedir.

**Tablo 2.** Doğrusal talep fonksiyonu için Regresyon analizi sonuçları: model özeti

| Model | R       | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|---------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,903(a) | ,816     | ,808              | ,39054                     |

**Tablo 3.** Doğrusal talep fonksiyonu için Regresyon analizi ANOVA tablosu

| Model |            | Sum of Squares | Df | Mean Square | F       | Sig.    |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---------|---------|
| 1     | Regression | 31,036         | 2  | 15,518      | 101,743 | ,000(a) |
|       | Residual   | 7,016          | 46 | ,153        |         |         |
|       | Total      | 38,051         | 48 |             |         |         |

**Tablo 4.** Doğrusal talep fonksiyonu için Regresyon analizi sonucu elde edilen katsayılar

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | T       | Sig.       |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      | B       | Std. Error |
| 1     | (Constant) | 5,757                       | ,331       |                           | 17,381  | ,000       |
|       | Zaman      | -,269                       | ,028       | -,611                     | -9,650  | ,000       |
|       | Fiyat      | -1,172                      | ,112       | -,665                     | -10,506 | ,000       |

Tahminciler: (Constant), Zaman, Fiyat  
Bağımlı Değişken: Talep

Anket sonucunda elde edilen verileri daha iyi açıklayabilmek amacıyla kullanılan regresyon modeli geliştirilerek, bağımsız değişkenlerin kareleri de modele eklenmiş ve  $D = a + bp + kt + dp^2 + et^2$  talep fonksiyonu analiz edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin karelerinin de eklenmesi ile oluşturulan ikinci modelin SPSS programı ile yapılan analiz sonuçları aşağıda Tablo 5, 6 ve 7’de görülmektedir. Modele eklenen yeni değişkenler  $R^2$  değerini 0.909’a çıkarmış ve eldeki verileri açıklamaya biraz daha yardımcı olmuşlardır.

**Tablo 5.** Bağımsız değişkenlerin karelerini de içeren talep fonksiyonu için Regresyon analizi sonuçları: model özeti

| Model | R       | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|---------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,953(a) | ,909     | ,900              | ,28108                     |

**Tablo 6.** Bağımsız değişkenlerin karelerini de içeren talep fonksiyonu için Regresyon analizi ANOVA tablosu

| Model |            | Sum of Squares | Df | Mean Square | F       | Sig.    |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---------|---------|
| 1     | Regression | 34,575         | 4  | 8,644       | 109,406 | ,000(a) |
|       | Residual   | 3,476          | 44 | ,079        |         |         |
|       | Total      | 38,051         | 48 |             |         |         |

**Tablo 7.** Bağımsız değişkenlerin karelerini de içeren talep fonksiyonu için Regresyon analizi sonucu elde edilen katsayılar

| Model |                    | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | T      | Sig.       |
|-------|--------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------------|
|       |                    | B                           | Std. Error | Beta                      | B      | Std. Error |
| 1     | (Constant)         | 3,233                       | 1,384      |                           | 2,336  | ,024       |
|       | Zaman              | ,342                        | ,095       | ,776                      | 3,601  | ,001       |
|       | Fiyat              | ,037                        | 1,023      | ,021                      | ,036   | ,971       |
|       | Zaman <sup>2</sup> | -,076                       | ,012       | -1,419                    | -6,588 | ,000       |
|       | Fiyat <sup>2</sup> | -,220                       | ,185       | -,688                     | -1,185 | ,242       |

Tahminçiler: (Constant), Zaman, Fiyat, Zaman<sup>2</sup>, Fiyat<sup>2</sup>

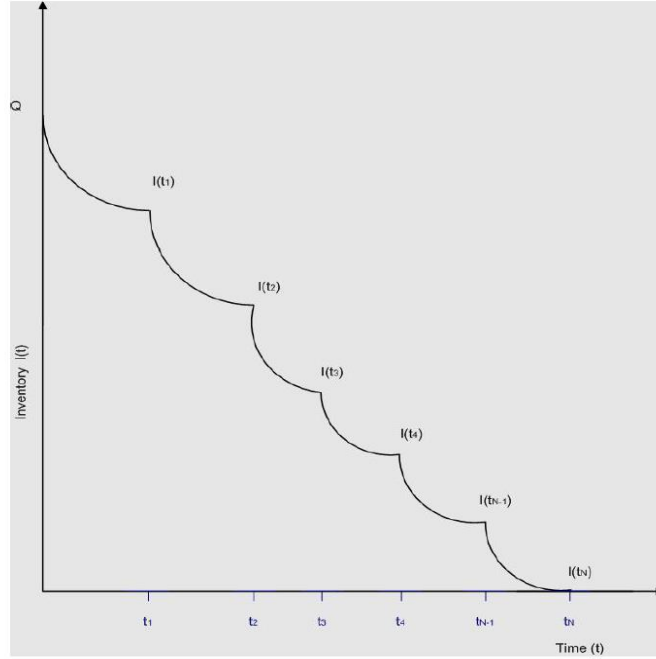
Bağımlı Değişken: Talep

## 2.2. Koordineli Stok ve Fiyat Yönetimi Modeli

Belirli ve kısa ömürlü ürünler için yapılan talep analizinden sonra, elde edilen talep fonksiyonunun da yardımıyla, koordineli bir şekilde en iyi dinamik fiyatlandırma ve stok kararlarına odaklanılmıştır. Bu çalışmada, literatürdeki bir çok modelden farklı olarak, talepleri hem zamana hem de fiyata bağlı olan ürünler içeren bir sistem incelenmiş ve bu sistem için fiyatların her an belli bir maliyetle değişebileceği varsayılarak, fiyat değişimleri için en iyi ayrık zamanlar ve en uygun fiyat değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Fiyat kararlarıyla koordineli olarak, ne zaman ve ne kadar ürün siparişi edilmesi gerektiği kararı da model içinde bulunmaktadır. Stokta tutulan ürünlerin yarattığı maliyete ek olarak her taze ürün siparişinde sabit bir miktar sipariş maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu modelin amacı perakende satış yapanların zamana bağlı olarak fiyatları değiştirebildiğini düşünerek, en uygun yığın miktarını ve fiyatlandırma stratejisini seçmek ve böylece karı en büyük düzeye çıkarmaktır. Bu amaçla geliştirilen modelde verilmesi gereken en iyi kararlar analiz edilmiş ve yapılan sayısal çalışmalar ile dinamik fiyatlandırmanın statik fiyatlamaya göre önemli yararlar sağlayarak şirketlerin karlarını ciddi miktarlarda arttırmalarını sağlayabileceği gözlemlenmiştir.

Bu modelde, bir stok döngüsü, iki ardışık yeni ürün siparişi arasındaki zaman olarak ifade edilirse, bir döngü boyunca ürün fiyatı birkaç kez değiştirilerek en büyük kara ulaşmaya çalışılmaktadır. Modelimizde,  $h$  bir ürün için birim zamandaki stok maliyetini,  $N$  stok döngüsünde kullanılan farklı fiyatların sayısını ve  $f$  fiyatların değişme maliyetini ifade etmektedir. Öyle ki,  $Nf$ , bir döngüdeki fiyat değişimindeki toplam maliyeti belirtmektedir. Bu modelde  $t_i, i = 1, 2, \dots, N - 1$  için  $i$ . fiyat değişimini simgeler.  $t_0 = 0$  ve stok sonunu temsil eden  $t_N$ 'de ise yeni ve taze ürünler sipariş edilir.

Bu sistemde stok miktarının zamanla değişimi, Şekil 1'deki stok döngü grafiğinde görülmektedir. Bu grafikte, yatay eksendeki zamana bağlı olarak dikey ekseneldeki stok miktarı gösterilmektedir. Döngü başında  $Q$  tane yeni ürün stokta bulunmakta iken stok miktarı zamanla  $D(p,t)$  ile ifade edilen talep hızı ile azalmaktadır.  $D(p,t)$  ürünün yaşı  $t$  (ürün ilk sipariş edildiği andan itibaren geçen zaman) ve fiyatı  $p$  iken, ürüne olan talep hızını ifade etmektedir. Bu modelde,  $p_i, [t_{i-1}, t_i)$  zaman aralığındaki fiyatı simgelemektedir. Herhangi bir  $[t_{i-1}, t_i)$  zaman aralığında fiyat sabit fakat talep zamanla azalan bir fonksiyon olduğundan, stok miktarı grafikteki gibi azalan bir şekil izlemektedir.  $t_i$ , anında fiyat değişikliği yapıldığından, bu anlarda grafikteki talep hızlarında değişiklikler olmaktadır.



Şekil 1. Belirli talep altında stok sürecinin şekil ile gösterimi

Anlık stok seviyesi  $I(t)$  ile belirtilmek üzere,  $Q = I(0)$  her döngünün başında sipariş verilen miktarı temsil etmektedir. Her sipariş verildiğinde toplam maliyet, sabit sipariş maliyeti olan  $A$  ve birim başına maliyet olan  $c$  üzerinden,  $A + cQ$  olarak hesaplanır. Stok fonksiyonu olan  $I(t)$ 'yi, (1) no'lu diferansiyel denklem ile tanımlayabiliriz. Bu denklemde,  $I'(t)$ , stok fonksiyonu olan  $I(t)$  değerinin türevini, dolayısıyla stoğun  $t$  anındaki değişim hızını ifade etmektedir. Bu denklem stoğun azalma hızını, fiyat ve zamana bağlı talep hızı ile belirtmektedir.

$$I'(t) = -D(p, t) \quad (1)$$

Herhangi bir  $[t_{i-1}, t_i]$  zaman aralığında bulunan  $t$  zamanı için, aşağıdaki stok denklemi, denklem (1)'i ve sınırlayan koşul olan  $I_i(t_i) = I(t_i)$ 'i sağlamaktadır.

$$I_i(t) = \int_t^{t_i} D(p, s) ds + I(t_i) \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde  $I_i(t)$  değeri herhangi bir  $[t_{i-1}, t_i]$  zaman aralığında bulunan  $t$  zamanındaki stok miktarını gösterirken,  $I(t_i)$  değeri ise bu zaman aralığının sonundaki stok miktarını belirtmektedir. Sistemdeki stok miktarı sürekli bir değer olduğundan,  $I_i(t)$  fonksiyonunun  $t = t_i$  anındaki değeri olan  $I_i(t_i)$  değeri,  $I(t_i)$  değerine eşit olmak durumundadır.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında daha net ve açık sonuçlar alınabilmesi amacıyla, talep analizi kısmında bu model için uygun bulunan,  $D(p, t) = a - bp - kt$  gibi para ve zaman olarak azalan lineer bir talep fonksiyonu ele alınmaktadır. Yukarıda belirtildiği üzere, yapılan anket çalışması sonucu elde edilen talep verilerini, böyle bir doğrusal talep fonksiyonunun büyük ölçüde karşıladığı görülmüştür. Yine de unutulmamalıdır ki, bu çalışmada kullanılan yaklaşım ile çok daha farklı talep fonksiyonları da ele alınabilir ve sayısal olarak benzer sonuçlar çıkarılabilir. Doğrusal talep fonksiyonu kullanılarak  $[t_{i-1}, t_i]$  zaman aralığında bulunan herhangi bir  $t$  zamanında eldeki stok miktarı, yukarıdaki (2) numaralı denklemin açık halde ifade edilmesiyle, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I_i(t) = (a - bp_i)(t_i - t) - \frac{k}{2}(t_i^2 - t^2) + I(t_i) \quad \text{her } i = 1, 2 \dots N \text{ ve } t_{i-1} \leq t \leq t_i \text{ için}$$

Her stok döngüsü sonunda elde bulunan stok miktarı sıfır olacağından, bir diğer deyişle  $I(t_N)=0$ , bu değerden yukarıdaki denklem yardımıyla geriye doğru gidilerek tüm  $I(t_i)$  ve  $I_i(t)$  değerleri bulunabilir.



Bu şekilde her döngüde sipariş edilmesi gereken stok miktarı,  $Q$ , ile her fiyat değişimi noktasındaki stok miktarları,  $I(t_i)$ , değerleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Q = I_1(0) = (a - bp_1)t_1 - \frac{k}{2}(t_1^2) + I(t_1)$$

$$Q = \sum_{i=1}^N (a - bp_i)(t_i - t_{i-1}) - \frac{k}{2}(t_N^2) \quad (3)$$

$$I(t_i) = \sum_{j=i+1}^N (a - bp_j)(t_j - t_{j-1}) - \frac{k}{2}(t_N^2 - t_i^2) \quad (4)$$

$S_i, [t_{i-1}, t_i]$  zaman aralığındaki satış miktarını belirtmektedir ve aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$S_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} (a - bp_i - ks)ds = (a - bp_i)(t_i - t_{i-1}) - \frac{k}{2}(t_i^2 - t_{i-1}^2)$$

Sistemdeki stok maliyeti de aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilebilir:

$$\text{Stok maliyeti} = h \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} I_i(t)dt$$

$$= \sum_{i=1}^N h \left[ (a - bp_i) \frac{1}{2}(t_i^2 - 2t_i t_{i-1} + t_{i-1}^2) - \frac{k}{2} \left( t_i^3 - t_i^2 t_{i-1} - \frac{1}{3}(t_i^3 - t_{i-1}^3) \right) + I(t_i)(t_i - t_{i-1}) \right]$$

Böylece birim zamandaki kar, bir döngüde oluşan toplam karın (satışlardan elde edilen gelirden  $(\sum_{i=1}^N p_i S_i)$  stok maliyeti, fiyat değişim maliyetleri ( $Nf$ ) ve yeni sipariş anında ortaya çıkan maliyetlerin ( $A+cQ$ ) farkı) döngü uzunluğuna oramı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \pi = \frac{1}{t_N} \left\{ -A - cQ - Nf + \sum_{i=1}^N \left\{ (ap_i - bp_i^2)(t_i - t_{i-1}) - \frac{kp_i}{2}(t_i^2 - t_{i-1}^2) - \right. \right. \\ \left. \left. h \left[ (a - bp_i) \frac{1}{2}(t_i^2 - 2t_i t_{i-1} + t_{i-1}^2) - \frac{k}{2} \left( t_i^3 - t_i^2 t_{i-1} - \frac{1}{3}(t_i^3 - t_{i-1}^3) \right) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. (t_i - t_{i-1}) \left[ \sum_{j=i+1}^N (a - bp_j)(t_j - t_{j-1}) - \frac{k}{2}(t_N^2 - t_i^2) \right] \right] \right\} \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

Bu çalışmada,  $N, p_i$  ve  $t_i$  için en iyi değerler bulunması amaçlanmaktadır ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Dolayısıyla, ortaya çıkan problem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\text{Max}_{N, p_i, t_i} \pi$$

s.t.

$$N \geq 1$$

$$T \geq t_i \geq t_{i-1} \geq 0 \quad \text{her } i = 1, 2 \dots N \text{ için}$$

$$p_i \geq 0 \quad \text{her } i = 1, 2 \dots N \text{ için}$$

$$D(p_i, t_i) \geq 0 \quad \text{her } i = 1, 2 \dots N \text{ için}$$

$$N, t_i \text{ tamsayı} \quad \text{her } i = 1, 2 \dots N \text{ için}$$

Yukarıdaki doğrusal olmayan tamsayılı model'de, eğer ki  $N$  ve  $t_i$  değerleri bilinseydi, aşağıda Teorem 1'in ispatında gösterildiği üzere, kar fonksiyonu  $p_i$  değişkenlerine göre içbükey olduğundan, amaç fonksiyonunun birinci türevini kullanarak en iyi  $p_i$  değerleri bulunabilirdi. Bu gözlem yardımıyla, öncelikle, herhangi  $N$  ve  $t_i$  değerleri için, en iyi  $p_i$  değerlerinin  $N$  ve  $t_i$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi olduğu bulunmuştur.

**Teorem 1:** Verilen  $N$  ve  $t_i$  değerleri için en iyi  $p_i$  değerleri,  $\forall i = 1, 2, \dots, N$  için aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$p_i = \begin{cases} \frac{a}{2b} - \frac{k}{4b}(t_i + t_{i-1}) + \frac{c}{2} + \frac{h(t_i - t_{i-1})}{4} & , \quad a - bp_i - kt_i \geq 0 \\ \frac{a - kt_i}{b} & , \quad \text{diğer durumda} \end{cases}$$

**İspat:** (5) numaralı denklemde verilen kar fonksiyonunda,  $N$  ve  $t_i$  değerlerinin bilinen ve sabit değerleri olduğu varsayılırsa, bu fonksiyonun  $p_i$ 'ye göre birinci ve ikinci türevleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial p_i} &= -c(-b)(t_i - t_{i-1}) + (a - 2bp_i)(t_i - t_{i-1}) - \frac{k}{2}(t_i^2 - t_{i-1}^2) \\ &\quad - h \left[ (-b) \frac{1}{2}(t_i^2 - 2t_it_{i-1} + t_{i-1}^2) \right] \\ \frac{\partial^2 \pi}{\partial p_i^2} &= (-2b)(t_i - t_{i-1}) < 0 \end{aligned}$$

Bu fonksiyonda,  $\forall i \neq j$  için  $\frac{\partial^2 \pi}{\partial p_i \partial p_j} = 0$  ve  $\frac{\partial^2 \pi}{\partial p_i^2} < 0$  olduğundan, Hessian matrisi negatif belirlidir ve dolayısıyla kar fonksiyonu  $p_i$  değişkenlerine göre içbükey bir fonksiyondur. Bu durumda,  $\frac{\partial \pi}{\partial p_i} = 0$  denklemini sağlayan  $p_i$  değeri bu fonksiyonu en büyük yapan değerdir. Bu durumda, sabit  $N$  ve  $t_i$  değerleri için en iyi  $p_i$  değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$p_i = \frac{a}{2b} - \frac{k}{4b}(t_i + t_{i-1}) + \frac{c}{2} + \frac{h(t_i - t_{i-1})}{4}$$

Fakat, bu değerlerin geçerli olabilmesi için modelin kısıtlarını da sağlaması gerekmektedir. Model parametreleri için,  $a > kt_i$  olduğundan (aksi halde  $p_i=0$  olsa dahi, ürün talebi  $a - bp_i - kt_i < 0$  olacaktır, bu da  $t_i$  anının ürünün raf ömründen fazla olduğu anlamına gelir ve mümkün değildir), bulunan  $p_i$  değeri,  $p_i > 0$  kısıtını her zaman sağlamaktadır. Modelin diğer bir kısıtı olan  $D(p_i, t_i) \geq 0$  kısıtı ise, bulunan  $p_i$  değeri ile her zaman sağlanmayabilir. Amaç fonksiyonu  $p_i$  değişkenlerine göre içbükey bir fonksiyon olduğundan, bu durumda en iyi  $p_i$  değeri, bu kısıtı eşitlik olarak sağlayan  $p_i = \frac{a-kt_i}{b}$  değeri olacaktır.

Teorem 1'de elde edilen  $p_i$  değerleri ana problemde yerine yazılırsa, problemdeki değişken sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, Teorem 1, fiyat değişim zamanlarının belirli olduğu durumlarda en uygun fiyatları belirlemede kullanılabilir.  $N$  ve  $t_i$  değerleri tamsayı olduğu için, bu değerlerin tüm kombinasyonlarının araştırılması yoluyla en iyi değerler elde edilebilir.

### 3. BULGULAR

Bu bölümde sayısal çalışmalar yardımıyla yukarıda oluşturduğumuz modellerin analizi sunulmaktadır. Farklı sistem özellikleri ve parametre değerleri için detaylı sayısal analizler yapılmış ve böylece oluşturulan modellerin sonuçları ile ilgili çıkarımlar yapılmıştır. Sabit ömürlü ürünler için belirli talep altında dinamik fiyatlandırmanın yararları sayısal açıdan analiz edilmiş ve sistem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu çalışmada temel durum olarak, talep analizi kısmında kullanılan doğrusal talep modeli için bulunan katsayılar ( $a = 5,757, b = 1,172, k = 0,269$ ) kullanılmıştır. Bu katsayılar kişi başına talebi ifade ettiğinden dolayı, günlük  $N = 50$  müşteriyi baz alarak talep fonksiyonu  $D = 50(5,757 - 1,172p - 0,269t)$  olarak belirlenmiştir. Ürünün maliyeti olarak  $c = 1$ , stok maliyeti olarak,  $h = 0,001$ , fiyat değiştirme maliyeti olarak,  $f = 20$ , ve sipariş vermenin sabit maliyeti olarak  $A = 200$  parametreleri kullanılmıştır.

Oluşturulan modellerin çözümü için GAMS programı içerisinde BARON çözücüsü kullanılmış,  $N$  ve  $t_i$  tamsayı değerlerinin tüm kombinasyonları araştırılarak en iyi çözümün bulunmasına çalışılmıştır. Tablo 8’de hem dinamik hem de statik fiyatlandırma modelleri için elde edilen en iyi sonuçlar görülmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi statik fiyatlandırma fiyatın bir döngü içinde değişmediği durumdur. Tablo 8’in ilk satırında temel durum için ortaya çıkan sonuçlar sunulmuş, diğer satırlarda da, ilk sütundaki parametrelerden birini değiştirerek duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu tablodaki “Kar” sütunu bir stok döngüsünde ortaya çıkan toplam karı, “Sipariş Miktarı” her stok döngüsü başında sipariş edilen başlangıç miktarını ve “Döngü Uzunluğu” iki sipariş zamanı arasında geçen süreyi ( $t_N$  değerini) ifade etmektedir. Ayrıca Statik Fiyatlandırma Modeli’nde uygulanan sabit fiyat değeri de “Fiyat” sütunu altında gösterilmektedir. Dinamik Fiyatlandırma Modeli’nde birden fazla fiyat uygulaması olduğundan tüm fiyatların gösterimi Tablo 8 içerisinde mümkün olmamaktadır, fakat bu modeldeki fiyatlar ile ilgili açıklama aşağıda sunulmaktadır.

**Tablo 8.** Sabit bir son kullanma tarihine sahip ürünler için belirli talep altında dinamik fiyatlandırmanın sabit fiyat uygulaması ile karşılaştırılması

| Param.   | Dinamik Fiyatlandırma Modeli |                 |                | Statik Fiyatlandırma Modeli |                 |       |                |
|----------|------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-----------------|-------|----------------|
|          | Kar                          | Sipariş Miktarı | Döngü Uzunluğu | Kar                         | Sipariş Miktarı | Fiyat | Döngü Uzunluğu |
| T        | 138.7                        | 438             | 4              | 124.5                       | 445             | 2.73  | 4              |
| N=100    | 341.8                        | 924             | 4              | 306                         | 707             | 2.79  | 3              |
| N=25     | 47.2                         | 342             | 7              | 42.6                        | 293             | 2.61  | 6              |
| b=2      | 20.8                         | 462             | 6              | 20.8                        | 462             | 1.74  | 6              |
| b=0.5    | 594.6                        | 556             | 4              | 522.1                       | 404             | 5.85  | 3              |
| k=0.5    | 98.5                         | 485             | 4              | 90                          | 362             | 2.64  | 3              |
| k=0.1    | 175.3                        | 737             | 7              | 162.3                       | 740             | 2.81  | 7              |
| c=2      | 47.4                         | 379             | 5              | 39.9                        | 376             | 3.17  | 5              |
| c=0.5    | 198.3                        | 498             | 4              | 178.7                       | 503             | 2.48  | 4              |
| h=0.01   | 137.3                        | 435             | 4              | 122.5                       | 441             | 2.74  | 4              |
| h=0.0005 | 139.4                        | 439             | 4              | 124.6                       | 445             | 2.73  | 4              |
| f=40     | 124.5                        | 445             | 4              | 124.5                       | 445             | 2.73  | 4              |
| f=10     | 146.3                        | 562             | 5              | 124.5                       | 445             | 2.73  | 4              |
| A=400    | 101.2                        | 679             | 7              | 85.2                        | 586             | 2.61  | 6              |
| A=100    | 162.8                        | 348             | 3              | 153                         | 354             | 2.79  | 3              |

Tablo 8’deki sonuçlara göre dinamik fiyatlandırma tek fiyat modeline göre kar marjında ortalama 11% artış sağlamaktadır. Ayrıca dinamik fiyatlandırma bulunan modellerde, döngü uzunlukları da uzamaktadır. Bunun nedeni, bir döngü içerisinde birden fazla fiyat kullanabilme opsiyonu sayesinde, sık aralıklarla yeni ürünler sipariş etmek yerine, fiyatı değiştirerek karlılığı arttırabilme opsiyonu sayesinde daha uzun döngüler kullanılabilmesidir. Daha uzun döngüler, aynı zamanda genelde daha büyük sipariş miktarlarına neden olsa da, döngü uzunluğunun değişmediği durumlarda, sipariş miktarlarının azaldığı da görülmektedir. Parametrelerin sistemdeki etkisine bakıldığında, günlük müşteri sayısı,  $N$ , arttıkça, sipariş miktarı ve karlılık artmakta fakat döngü uzunluğu azalmaktadır. Talebin fiyat duyarlılığına bakıldığında,  $b$  arttıkça talep azaldığı için daha az kar elde edildiği görülmektedir.  $b$  arttıkça sipariş miktarı azalmakta fakat döngü uzunluğu artmaktadır. Buna ek olarak,  $b$  azaldıkça fiyatları değiştirmek daha kolay olacağından, dinamik fiyatlandırmanın statik fiyatlandırmaya göre faydası artmaktadır. Talebin zaman duyarlılığı arttığı zaman ise, sipariş miktarı ve döngü uzunluğu azalmaktadır. Ayrıca, dinamik fiyatlandırma, tek fiyat kullanımına göre daha önemli olmaktadır. Ürünlerin maliyetleri dikkate alındığında,  $c$  arttıkça sipariş miktarı ve kar oranının azaldığı, döngü uzunluğunun arttığı görülmektedir. Stok tutma maliyeti arttıkça, kar marjı düşmekte ve her bir döngüde daha az ürün sipariş edilmektedir, fakat stok maliyetinin sistem üzerinde çok büyük bir

etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni kısa ömürlü ürünler için, kısa süreli stok tutma maliyetinin küçük olmasıdır. Dolayısıyla, bu sistemdeki asıl etken stok maliyeti yerine, talebin zamanla azalmasıdır. Değişen fiyatlar ele alındığı zaman, fazaldıkça, beklendiği üzere, dinamik fiyatlandırmanın daha işe yarar olduğunu görmekteyiz ve fiyatlar daha sık aralıklarla değişmektedir. Sonuç olarak kar marjı artmakta ve dinamik fiyatlandırma daha faydalı olmaktadır. Fiyat değiştirmenin maliyeti arttıkça, sistem tek fiyat kullanımına doğru yönelmektedir. Son olarak sabit sipariş maliyeti ele alındığında, A arttıkça daha fazla ürün sipariş edildiği ve döngü uzunluğunun arttığı, buna karşılık kar miktarlarının azaldığı görülmektedir.

Dinamik fiyatlamada fiyatlara bakıldığında, döngünün başında statik fiyatlamadaki fiyattan daha yüksek bir fiyat uygulandığı görülmektedir, ancak zaman ilerledikçe yani döngünün sonuna doğru geldikçe fiyatlar azalmakta ve statik fiyatın da altına düştüğü gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ise başta taze ürünlere talep fazla olduğu için yüksek fiyat uygulanmasının daha uygun olması, ancak zaman ilerledikçe ve ürünlerin tazeliği azaldıkça düşük fiyat uygulanarak, düşen talebin tekrar artırılması ve karın enbüyüklenmeye çalışılmasıdır.

#### **4. TARTIŞMA - SONUÇ**

Bu çalışmada kısa ömürlü dayanıksız ürünler için koordineli stok ve fiyat yönetimi stratejileri üzerinde durulmuş ve bu konularda en iyi karar mekanizmaları araştırılmıştır. Bu tip ürünlerin raf ömürleri kısıtlı olduğu için zamanla kaliteleri düşmekte ve dolayısıyla talepleri azalmaktadır. Bu nedenlerle bu ürünlerin stok ve fiyat yönetimi çok daha zorlu olmaktadır. İlk olarak bu ürünler için talep analizi yapılmış ve zamana ve fiyata bağlı bir talep fonksiyonu oluşturulmuştur. Daha sonra bu talep fonksiyonu yardımıyla en iyi fiyat değerleri, fiyat değişim zamanları ve yeni ürün sipariş zamanlarının belirlenmesi için bir model oluşturulmuş ve bu modelin en iyi çözümü araştırılmıştır. Belirli fiyat değişim zamanları için en iyi fiyat değerleri analitik olarak bulunmuştur. Yapılan sayısal çalışmalar ile de bu sistem için önemli olabilecek yönetimsel çıkarımlar yapılmış ve farklı fiyatlandırma stratejileri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmayı birkaç şekilde genişleterek daha karmaşık ve gerçeğe daha yakın sistemlerin analiz edilmesi mümkündür. Öncelikle raf ömrünün veya talebin belirsiz olduğu durumlar ele alınabilir ve bu durumlar için çeşitli modeller geliştirilebilir. Ayrıca, farklı müşteri tipleri ele alınarak, çoklu talep fonksiyonlarının kullanılması düşünülebilir. Aynı anda elde hem eski hem de yeni ürünlerin bulundurulması ve bu ürünlerin farklı fiyatlarla müşterilere satılarak müşteri farklılaştırılması yoluyla karlılıkların artırılması düşünülebilir. Böyle bir modelde kaç tip farklı yaştaki ürünün elde bulundurulması gerektiği kararı üzerinde de durulabilir. Ayrıca, farklı tip talep fonksiyonları ele alınabilir ve müşterilerin farklı ürünler arasında ürün ikamesi yoluna gidebileceği düşünülerek çok ürünlü sistemler analiz edilebilir.

#### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 111M533 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## **KAYNAKÇA**

- [1] Minner, S, Transchel, S. Periodic review inventory-control for perishable products under service-level constraints. *OR Spectrum*, 2010; 32(4): 979-996.
- [2] Broekmeulen RACM, van Donselaar KH. A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand. *Computers and Operations Research*, 2009; 36: 3013–3018.
- [3] Nahmias, S. Perishable inventory theory: a review. *Operations Research*, 1982; 30: 680–708.
- [4] Razaat, F. Survey of literature on continuously deteriorating inventory models. *Journal of Operations Research Society*, 1991; 42(1): 27–37.
- [5] Goyal SK, Giri BC. Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 2001; 134(1): 1–16.
- [6] Karaesmen I, Scheller-Wolf A, Deniz B. Managing perishable and aging inventories: review and future research directions. In: Kempf K, Keskinocak P, Uzsoy R, editors. *Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise*, Volume 151 of the series *International Series in Operations Research & Management Science*, Springer, 2008: 393-436.
- [7] van Zyl, G. Inventory control for perishable commodities. Ph.D. thesis, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, 1964.
- [8] Nahmias, S. Optimal ordering policies for perishable inventory – II. *Operations Research*, 1975; 23(4): 735-749.
- [9] Fries B. Optimal ordering policy for a perishable commodity with fixed lifetime. *Operations Research*, 1975; 23(1): 46–61.
- [10] Ferguson N, Ketzenberg ME. Informations Sharing to Improve Retail Product Freshness of Perishable Products. *Production and Operations Management*, 2006; 15(1): 57-73.
- [11] van Donselaar KH, de Kok AG., Rutten WGMM. Two replenishment strategies for the lost sales inventory model: a comparison. *International Journal of Production Economics*, 1996; 47(1): 285–295.
- [12] Parlar M, Perry D, Stadje W. FIFO Versus LIFO Issuing Policies for Stochastic Perishable Inventory Systems. *Methodology & Computing in Applied Probability*, 2010; 12: 1-13.
- [13] Berk E, Gürler Ü. Analysis of the (Q, r) inventory model for perishables with positive lead times and non-negligible ordering costs. *Operations Research*, 2008; 56: 1238–1246.
- [14] Schultz CR. Replenishment delays for expensive slow moving items. *Management Science*, 1989; 35: 1454-1462.
- [15] Tekin, E, Gürler, Ü, Berk, E. Age-based vs. stock level control policies for a perishable inventory system. *European Journal of Operational Research*, 2001; 134: 309-329.
- [16] Gallego, G, van Ryzin, G. Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons. *Management Science*, 1994; 40(8): 999–1020.

- [17] Gallego, G, van Ryzin, G. A multiproduct dynamic pricing problem and its applications to network yield management. *Operations Research*, 1997; 45(1): 24–41.
- [18] Bitran, GR., Mondschein, SV. An application of yield management to the hotel industry considering multiple day stays. *Operations Research*, 1995; 43(3): 427–443.
- [19] Bitran GR, Mondschein SV. Periodic pricing of seasonal products in retailing. *Management Science*, 1997; 43: 64-79.
- [20] Feng Y, Gallego G. Optimal starting times for end-of-season sales and optimal stopping times for promotional fares. *Management Science*, 1995; 41: 1371-1391.
- [21] Feng, Y, Gallego G. Perishable asset revenue management with Markovian time dependent demand intensities. *Management Science*, 2000; 46: 941-956.
- [22] Zhao, W, Zheng, Y-S. Optimal dynamic pricing for perishable assets with nonhomogeneous demand. *Management Science*, 2000; 46(3): 375-388.
- [23] Feng, Y, Xiao, B. A continuous-time yield management model with multiple prices and reversible price changes. *Management Science*, 2000; 46(5): 644–657.
- [24] Hall, J, Kopalle, P, Pyke, D. Static and dynamic pricing of excess capacity in a make-to-order environment. *Production and Operations Management*, 2009; 18(4): 411-425.
- [25] Elmaghraby, W, Keskinocak, P. Dynamic Pricing in the Presence of Inventory Considerations: Research Overview, Current Practices, and Future Directions. *Management Science*, 2003; 49(10): 1287-1309.
- [26] Bitran GR, Caldentey R. An Overview of Pricing Models for Revenue Management. *Management Science and Operations Management*, 2003; 5(3): 203-229.
- [27] Chen, X, Pang, Z, Pan, L. Coordinating inventory control and pricing strategies for perishable products. *Operations Research*, 2014; 62(2): 284-300.
- [28] Chen, LM., Sapra, A. Joint inventory and pricing decisions for perishable products with two-period lifetime. *Naval Research Logistics*, 2013; 60(5): 343-366.
- [29] Chew Peng, E, Chulung, L. Joint inventory allocation and pricing decisions for perishable products. *International Journal of Production Economics*, 2009; 120: 139-150.
- [30] Benkherouf, L. On an inventory model with deteriorating items and decreasing time-varying demand and shortages. *European Journal of Operational Research*, 1995; 86: 293-299.
- [31] Mishra, VK., Singh, SL. Deteriorating Inventory Model with Time Dependent Demand and Partial Backlogging. *Applied Mathematical Sciences*, 2010; 4(72): 3611-3619.
- [32] Rajan, A, Rakesh, R, Steinberg, R. Dynamic pricing and ordering decisions by a monopolist. *Management Science*, 1992; 38: 240–262.
- [33] Abad PL. Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability and partial backordering. *Management Science*, 1996; 42: 1093–1104.

- [34] Abad, PL. Optimal policy for a reseller when the supplier offers a temporary reduction in price. *Decision Sciences*, 1997; 28: pp. 637.
- [35] Abad, PL. Optimal price and order size for a reseller under partial backordering. *Computers and Operations Research*, 2001; 28: 53–65.
- [36] Abad, PL. Optimal pricing and lot sizing under conditions of perishability and partial backordering and lost sale. *European Journal of Operational Research*, 2003; 144: 677-685.
- [37] Transchel, S, Minner, S. The impact of dynamic pricing on the economic order decision. *European Journal of Operational Research*, 2009; 198: 773-789.
- [38] Mukhopadhyaya, S, Mukherjee, RN., Chaudhuri, KS. Joint pricing and ordering policy for a deteriorating inventory. *Computers and Industrial Engineering*, 2004; 47: 339-349.
- [39] Sana, SS. Optimal selling price and lot size with time varying deterioration and partial backlogging. *Applied Mathematics and Computations*, 2010; 217(1): 185-194.
- [40] P-S You. Inventory policy for products with price and time-dependent demands. *Journal of the Operational Research Society*, 2005; 56: 870-873.