



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**(R, S) ENVANTER POLİTİKASI İÇİN STATİK FİYATLANDIRMA
KARARLARI**

Muammer Edib GÜRKAN

Doktora Tezi

Ankara, 2016

(R, S) ENVANTER POLİTİKASI İÇİN STATİK FİYATLANDIRMA
KARARLARI

Muammer Edib GÜRKAN

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Doktora Tezi

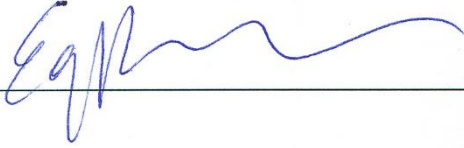
Ankara, 2016

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir
- Tezimin/Raporumun 1 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

8 Mart 2016



Muammer Edib GÜRKAN

Sevgili Aileme...

TEŞEKKÜR

Akademik yaşantım süresince benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, büyük bir ilgiyle bana rehberlik eden ve üzerimde büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Armağan Tarım'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, kıymetli fikirleriyle karşılaştığım zorlukların üstesinden gelmeme yardımcı olan, tez danışmanlığımı özenle yürüten sevgili hocam, danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Tunç'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenim sürecimde çok önemli bir yeri olan, varlığı ve tecrübesiyle bu çalışmada bana cesaret veren sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Onur Alper Kılıç'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün sorularıma içtenlikle cevap veren, görüş ve önerileriyle tez çalışmamın oluşumuna katkıda bulunan sevgili hocam Prof. Dr. Mikhail Kovalyov'a teşekkür ederim.

Görüşleri ile tez çalışmama katkıda bulunan tüm jüri üyelerine teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her türlü olumsuzlukta yanımda olmaya gayret eden değerli arkadaşlarım, Ahmet Bahadır Şimşek, Armağan Özbilge, Akın Özkan, Bilge Meydan ve Irmak Uzun'a çok teşekkür ederim.

İsmi burada saymadığım ancak üzerimde emeği bulunan tüm saygıdeğer hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca sevgileri ve bana olan güvenleri ile yanımda olan, tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bu aşamaya gelebilmem için her türlü fedakârlığı göze alan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

GÜRKAN, Muammer Edib. *(R, S) Envanter Politikası İçin Statik Fiyatlandırma Kararları*,
Doktora Tezi, Ankara, 2016.

Küreselleşme süreci ile birlikte işletmeler arası rekabet oldukça yoğun hale gelmektedir. Bu sıkı rekabet ortamında, işletmeler, etkin bir şekilde faaliyetlerini yürütme ve pazar paylarını artırma amacını gütmektedirler. Bu amaç doğrultusunda, işletmelerin, arz ile talebi karşılama yetenekleri oldukça önem kazanmaktadır.

Envanter ve fiyatlandırma kararları, arz ve talep sürecini doğrudan etkilemektedir. Son zamanlarda birçok işletme, bu kararların bir arada ele alınmasına ve böylelikle, arz ile talep arasında oluşması muhtemel açık riskinin en düşük düzeye indirilmesine odaklanmaktadır. Bu bağlamda, mamule ilişkin fiyat zaman içerisinde değiştirilerek talep süreci yönlendirilirken, envanter kararları ile arzın kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Bu kararlar, işletme karlılığının artırılması amacıyla hizmet etmektedir. Dolayısıyla, işletmeler, mümkün mertebe yüksek kar elde edebilmek için en uygun fiyat ve envanter kararlarının verilmesine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu ihtiyaç, birçok araştırmacının, ilgili kararların elde edilmesine ilişkin matematiksel modeller geliştirmesi sonucunu doğurmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sonlu planlama ufkuna sahip tek bir mamul ele alınmaktadır. Söz konusu mamule ilişkin envanter (R, S) politikası temel alınarak kontrol edilmektedir ve her bir dönem için talep, fiyatın toplamsal bir fonksiyonu olmaktadır. Toplamsal talep fonksiyonunda yer alan rassal terim normal dağılımı takip etmektedir. Toplam maliyet, sabit sipariş maliyeti, birim değişken maliyet, elde bulundurma ve ceza maliyetinden oluşmaktadır. İzlenecek fiyatlandırma ve envanter politikası (R, S, p) politikası olarak adlandırılmaktadır. Bu politikaya göre, planlama ufkunun başında, toplam beklenen karı maksimize eden optimal sipariş yükseltme düzeyleri, tedarik aralıkları ve fiyatlar belirlenebilmektedir. Bu doğrultuda, (R, S, p) politikasına ilişkin optimale yakın parametre değerlerinin elde edilmesinde kullanılmak üzere iki ayrı kuadratik tamsayı programlama modeli önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında, ayrıca, gerçek hayat uygulamalarında sıkça yer verilen varsayımlar kullanılarak, sunulan matematiksel modeller genişletilecektir. Sonuç olarak, önerilen iki matematiksel modelin işlemsel etkinliği, birçok test örneği kullanılarak karşılaştırılacaktır.

Anahtar Sözcükler

Birleşik Fiyatlandırma ve Envanter Yönetimi, (R, S, p) , Durağan Olmayan Stokastik Fiyata Bağımlı Talep, Karışık Tamsayı Programlama

ABSTRACT

GURKAN, Muammer Edib. *Static Pricing Decisions in (R,S) Inventory Models*, Ph.D Dissertation, Ankara, 2016.

Along with the process of globalization, the competition between companies has become quite intense. In this competitive environment, companies aim to achieve the operational efficiency and to increase their market share. In line with this purpose, their capability of matching demand with supply has become crucial.

Inventory and pricing decisions directly influence the supply and demand processes. In recent years, many companies concentrate their effort on taking these decisions together and, therefore, minimizing the risk of potential gap between demand and supply. In this context, while demand process is influenced by price regulations, supply process is controlled by inventory policies. These decisions jointly serve the purpose of increase in business profitability. Therefore, companies need to make optimal inventory and pricing decision in order to attain maximum profit. This necessity gives birth to important mathematical models, developed by researches, for guiding companies while they develop their pricing and inventory policies.

In this thesis, a firm which sells a single product over a finite planning horizon is considered. Inventory is controlled based on (R,S) policy and price dependent stochastic demand function is assumed to be in an additive form in each period. The stochastic component of price dependent demand function is a random variable which follows normal distribution. Total cost is comprised of fixed ordering cost, unit ordering cost, holding and shortage costs. The proposed inventory-pricing policy to control the system described is named as (R,S,p) policy. The essence of (R,S,p) policy lies in determining replenishment intervals, order-up-to levels and pricing decisions at the beginning of the planning horizon. In this context, two quadratic mixed integer programming formulations are proposed for finding the near optimal parameters of (R,S,p) policy.

Furthermore, in this study, the proposed mathematical models are extended by employing the assumptions that companies often face in real life applications. Consequently, the computational efficiency of proposed models are compared by means of many test instances.

Keywords

Joint Pricing and Inventory Management, (R,S,p) , Non-Stationary Price Dependent Stochastic Demand, Mixed Integer Programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	Error! Bookmark not defined.
BİLDİRİM	i
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1
ÇALIŞMANIN AMACI VE LİTERATÜRE KATKISI	3
TEZİN İÇERİĞİ	5
1 ENVANTER YÖNETİMİ	7
1.1 ENVANTER KAVRAMI	7
1.2 ENVANTERLERİN SINIFLANDIRILMASI	11
1.3 ENVANTER KARARLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	16
1.3.1 Envanter Maliyetleri	17
1.3.1.1 Sipariş/Kurulum Maliyeti	17
1.3.1.2 Elde Bulundurma Maliyeti	19
1.3.1.3 Elde Bulundurmama Maliyeti	20
1.3.1.4 Sistem İşletim Maliyeti	21
1.3.2 Talep Yapısı	21
1.3.3 Diğer Kavramlar	24
1.3.3.1 Envanter Sisteminin Kademe Yapısı	24
1.3.3.2 Tedarik	25

1.3.3.3	Stok Gözden Geçirme Sistemi.....	26
1.3.3.4	Ürün Sayısı	27
1.3.3.5	Planlama Ufku	27
1.3.3.6	Kapasite Kısıtı.....	28
1.3.3.7	Servis Düzeyi Kısıtı.....	28
1.3.3.8	Stoklanan Ürünün Zamanla Değişimi.....	29
2	ENVANTER KONTROL POLİTİKALARI	30
2.1	BASİT ENVANTER POLİTİKALARI	30
2.2	GELENEKSEL ENVANTER POLİTİKALARI	31
2.2.1.1	(s, Q) Envanter Politikası	31
2.2.1.2	(s, S) Envanter Politikası.....	32
2.2.1.3	(R, S) Envanter Politikası.....	33
2.2.1.4	(R, s, S) Envanter Politikası	34
2.3	ENVANTER MODELLERİ	35
2.3.1	Gazeteci Çocuk Modeli.....	36
2.3.2	Durağan Olmayan (s, S) Envanter Modeli	38
2.3.3	Durağan Olmayan (R, S) Envanter Modeli	44
3	DİNAMİK FİYATLANDIRMA VE ENVANTER YÖNETİMİ.....	52
3.1	BİLGİ TEKNOLOJİSİNİN YÜKSELİŞİ	54
3.2	GELİR YÖNETİMİNİN BAŞARISI	56
3.3	LİTERATÜR TARAMASI.....	59
3.3.1	Talep Fonksiyonları	60
3.3.2	Tek Dönemli Modeller.....	61
3.3.3	Çok Dönemli Modeller	72
3.3.3.1	Sabit Sipariş Maliyeti İçermeyen Çok Dönemli Modeller	73
3.3.3.2	Sabit Sipariş Maliyeti İçeren Çok Dönemli Modeller	84

4 ÇOK DÖNEMLİ DİNAMİK FİYATLANDIRMA VE ENVANTER PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ	96
4.1 PROBLEM TANIMI.....	99
4.2 (R, S, p) POLİTİKASI	102
4.3 (R, S, p) POLİTİKASI İÇİN ALTERNATİF BİR FORMÜLASYON	110
4.4 MATEMATİKSEL MODELLERİN İLAVE VARSAYIMLARLA GENİŞLETİLMESİ	116
4.4.1 Maliyetli Fiyat Değişimi	116
4.4.2 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi.....	118
4.4.3 Fiyat İndirimi	120
4.5 TANIMLAYICI ÖRNEK.....	121
4.6 NÜMERİK ÇALIŞMA	123
4.6.1 Sabit Fiyat Varsayımı Altında (R, S) Politikası ile (R, S, p) Politikasının Karlılık Açısından Değerlendirilmesi.....	124
4.6.2 Önerilen Matematiksel Modellerin İşlemsel Etkinliği.....	126
5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	132
KAYNAKÇA	134
EKLER.....	146
EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu	146
EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu	147

TABLO LİSTESİ

Tablo 1-1 Stok Kalemlerinin Kümülatif Satış Hacim Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanması.....	15
Tablo 1-2 Envanter Modellerinin Talep Yapısına Göre Sınıflandırılması.....	23
Tablo 3-1 Sabit Sipariş Maliyeti Varsayımına Göre Optimal Politikanın Yapısı.....	93
Tablo 3-2 Literatür Özeti Tablosu.....	93
Tablo 4-1 Beklenen Talep Fonksiyonu Döneme Göre Kesişim Noktası Değerleri.....	122
Tablo 4-2 (R, S, p) Politikası Optimal Parametre Değerleri	122
Tablo 4-3 10 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi.....	125
Tablo 4-4 12 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi.....	125
Tablo 4-5 15 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi.....	126
Tablo 4-6 $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları.....	127
Tablo 4-7 $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları.....	128
Tablo 4-8 Maliyetli Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları	129
Tablo 4-9 Maliyetli Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları	130
Tablo 4-10 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları	131
Tablo 4-11 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları	131

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tipik Bir Döngüde Envanter Seviyeleri	8
Şekil 1.2 ABC Sınıflandırması Analizi	16
Şekil 1.3 Dört Kademeli bir Envanter Sistemi.....	25
Şekil 2.1 (s, Q) Politikası.....	32
Şekil 2.2 (s, S) Politikası	33
Şekil 2.3 (R, S) Politikası.....	34
Şekil 2.4 (R, s, S) Politikası	35
Şekil 2.5 $G_n(x)$ Fonksiyonu Salınımları	43

GİRİŞ

İşletmeler, talepteki belirsizliklere karşı hazırlıklı olmak ve sık sipariş vermenin yol açtığı maliyetlerden kaçınmak amacıyla envanter bulundurmaktadır. Envanter, satışa hazır mamuller olabileceği gibi yardımcı malzemeler, yarı mamuller veya hammadde olarak da elde bulundurulabilmektedir. Yüksek miktarda envanter bulundurmak yüksek envanter maliyetlerini beraberinde getirirken, stokluz çalışmak da talepteki dalgalanmalar sebebiyle riskli olabilmektedir. Dolayısıyla, envanterin etkin biçimde yönetimi işletmelere rekabetçi avantaj sağlaması açısından çok önemli bir silah olarak görülmektedir.

İşletme içerisinde yer alan departmanlar nihai olarak aynı amaca hizmet ediyor olsa da, bu amaca ulaşmak için farklı yolları benimseyebilmektedirler. Bu doğrultuda, elde bulundurulması arzu edilen envanter miktarı farklı departmanlara göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, satın alma departmanı, öncelikli olarak miktar indirimlerinden yararlanmak istemekte ve yüksek miktarlarda malı daha ucuz bedel ödeyerek satın alma arzusu içerisinde olabilmektedir. Bu durum, elde bulundurulan envanter miktarının artmasına sebep olmaktadır. Muhasebe ve finans departmanı ise, elde yüksek miktarda envanter bulundurmanın işletme için büyük zarar oluşturacak maliyetlere sebep olması nedeniyle envanter miktarını olabildiğince düşürmek istemektedir. Bir diğer yandan, üretim departmanı, üretim sırasında envanter eksikliği sebebiyle sorun yaşamamak adına ihtiyaç duyulan türlerde envanterin elde bulundurulmasını arzu etmekte ve dolaylı olarak yüksek miktarda envanter bulundurulmasına yol açmaktadır. Benzer şekilde, pazarlama departmanı müşterilerden gelen talepleri en iyi şekilde karşılayarak müşteri tatmin düzeyini yukarı çekmek adına, elde bulundurulan envanter miktarının artmasına sebep olmaktadır (Axsater, 2006). Dolayısıyla, envanter yönetimi, birbiri ile ters düşen hedeflerin ortasında kalmakta ve oldukça güç hale gelmektedir.

İşletmeler, envanteri etkin bir şekilde yönetmek ve departmanların envanter üzerine planlarına cevap vermek adına envanter kontrol modellerinden faydalanmaktadır. Envanter kontrol modelleri temel olarak iki soru ile ilgilenmektedir. Bunlar, (i) *Ne kadar sipariş verilmeli?* ve (ii) *Ne zaman sipariş verilmeli?* sorularıdır. İlgili sorulara verilen cevaplar matematiksel modeller yardımıyla aranmaktadır. İşletmenin içerisinde

bulunduğu envanter sisteminin varsayımları dikkate alınarak oluşturulan matematiksel modeller yardımıyla yukarıda bahsedilen temel iki soruya cevap veren envanter politikaları elde edilmektedir.

Klasik envanter modelleri genel olarak arz yönetimi ile ilgilenmiş ve talebin kontrol edilemeyen bir değişken olduğunu varsaymışlardır. Bir diğer deyişle, klasik envanter modelleri daha çok maliyetin optimize edilmesi üzerine odaklanmış, birim karın sabit olduğu ve karar verici tarafından bilindiği varsayımında bulunulmuştur.

Son dönemde, bilgi ve iletişim teknolojilerinde meydana gelen önemli gelişmelerin de hız kazanmasıyla birlikte, birçok endüstride *dinamik fiyatlandırma* uygulamaları büyük bir ilgi görmeye başlamıştır. Dinamik fiyatlandırma, en yalın haliyle, bir ürüne ait fiyatın zaman içerisinde karar verici tarafından değiştirilmesi olarak tanımlanmaktadır ve talep yönetimini iyileştirerek geliri optimize etmeyi hedeflemektedir. Elektrik fiyatlarının gün içerisinde değişmesi ve en yüksek değerine talebin en yoğun olduğu akşam vakitlerinde ulaşması, havayolu firmalarının bilet fiyatlarını uçuş vakti yaklaştıkça artırmaları veya tatil, bayram gibi talebin yüksek olması muhtemel vakit aralıklarında fiyat artırımlarının olması dinamik fiyatlandırma uygulamalarına örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde, internet üzerinden yapılan alışverişlerde en yüksek fiyatı verenin ürünü satın alma hakkına sahip olması da dinamik fiyatlandırma uygulamaları için bir örnek teşkil etmektedir.

Dinamik fiyatlandırma uygulamaları da göstermektedir ki, talep süreci, klasik envanter modellerinde varsayıldığının aksine fiyat aracılığı ile kontrol edilebilmektedir. Bir ürüne ait fiyatın yükseltilmesi ile birlikte ürüne ait talebin düşmesi beklendiği gibi, fiyatın düşürülmesi ile de ürüne ait talebin artması beklenmektedir. Buna rağmen, dinamik fiyatlandırma, diğer operasyonel kararlar göz önüne alınmadan tek başına uygulandığında işletmenin karlılığını artırmaya yeterli olmayabilir (Federgruen & Heching, 1999). Bir işletmenin karlı bir biçimde faaliyetlerini yürütmesi ve operasyonel etkinliğe ulaşması için esas olan unsur, ilgili firmanın tedarik planı ile ürüne olan talebi karşılama yeteneğidir. Bu doğrultuda, envanter ve fiyatlandırma kararları arz ve talebin dinamiklerini tetiklemeleri sebebi ile doğrudan ilişki içerisinde gözükmektedirler (Feng, Luo, & Zhang, 2013). Fiyatlandırma ve envanter kararları arasında gerçekleşecek olan

başarılı bir koordinasyon, arz ve talep arasında ortaya çıkması muhtemel açık riskini düşürmeyi sağlamaktadır.

ÇALIŞMANIN AMACI VE LİTERATÜRE KATKISI

Gerçek hayatta birçok işletme yoğun bir rekabet ortamı içerisinde bulunmaktadır. Bu rekabet ortamında faaliyetlerini sürdürebilmek ve uzun vadede kalıcı olabilmek adına, işletmeler, karlılığı arttırmanın ve böylelikle rekabet avantajı elde etmenin yollarını aramaktadırlar. Bu amaca yönelik olarak işletmeler, talep ve arz miktarını eşleştirmeyi arzu etmektedirler. Bu doğrultuda, birçok işletme, mamule ilişkin fiyatlandırma ve envanter kararlarının eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi ihtiyacını hissetmektedir. Pratikte yer alan bu ihtiyacın giderilmesi amacıyla araştırmacılar söz konusu problemi incelemekte ve bu ihtiyaca yönelik matematiksel modelleri işletmelerin kullanımına sunmaktadırlar. Ancak herhangi bir gerçek hayat uygulamasına tam olarak karşılık gelen bir matematiksel model elde etmek genellikle oldukça güç olmaktadır. Bunun sebebi, söz konusu uygulamaların sahip olduğu karmaşık yapısıdır. Dolayısıyla, araştırmacılar matematiksel modellerin geliştirilmesi sürecinde farklı varsayımları kabul etmektedir. Bu durum ise matematiksel modellerin birbirinden farklılaşması sonucunu doğurmaktadır.

Fiyatlandırma ve envanter kararlarının matematiksel olarak modellenmesinde, talep üzerine yapılan varsayımlar oldukça önemli olmaktadır. İlgilenilen durumda talep, karar verici tarafından belirlenen fiyata bağımlı olarak meydana gelmektedir. Fiyat kararı neticesinde gerçekleşen talep miktarının kesin olarak bilinmesi durumunda, *deterministik* talep söz konusu iken, herhangi bir talep değerinin gerçekleşmesine ilişkin bilginin olasılıksal olarak elde bulunması durumu, talebin *stokastik* olduğuna işaret etmektedir. Gerçek hayat uygulamalarında, stokastik talep durumu ile daha sık karşılaşılmaktadır ve bu sebeple, stokastik talep varsayımı matematiksel modellerde çokça tercih edilmektedir (Axsater, 2006). Fiyata bağımlı talebe ait bir diğer varsayım ise, talep desenine (demand pattern) göre yapılmaktadır. Talebin stokastik olduğu düşünüldüğünde, her bir dönem için aynı olasılık dağılımına sahip talep *durağan*, farklı dönemler için farklı olasılık dağılımlarına sahip talep ise *durağan olmayan talep* olarak tanımlanmaktadır.

Matematiksel modellerin yapısına etki eden bir diğer parametre *sipariş/kurulum maliyeti* olmaktadır. Sipariş/kurulum maliyeti, herhangi bir mamulün siparişi veya üretimine ilişkin ortaya çıkan maliyeti ifade etmektedir ve iki ana bileşenden oluşmaktadır. Üretim veya satın alma durumunda üretilen/sipariş verilen mamulün miktarına bağımlı olarak oluşan maliyet *değişken maliyet* olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan, her bir üretim/sipariş kararında oluşan ve üretim/sipariş miktarından bağımsız olarak katlanılan maliyet, *sabit sipariş maliyeti* veya *kurulum maliyeti* olarak tanımlanmaktadır.

Fiyata bağımlı talebin stokastik, durağan olmayan bir şekilde meydana geldiği ve sipariş maliyetinin, sabit sipariş maliyeti ve değişken maliyetten oluştuğu varsayımları altında, dinamik fiyatlandırma ve envanter kararlarının eş zamanlı olarak verilmesi problemi için optimal politikanın (s, S, p) politikası olduğu bilinmektedir (Chen & Simchi-Levi, 2004). Ancak söz konusu politikanın kar bakımından optimal sonucu veriyor olmasına rağmen, temel aldığı (s, S) politikası sebebiyle, uygulamada birtakım problemlere yol açması beklenmektedir. Bu problemler, esas olarak (s, S) politikasının envanter yöneticilerine planlama ufku boyunca hangi dönemlerde sipariş verileceği bilgisini sağlamaması ve bu nedenle tedarik dönemlerinin ancak gerçekleşen talepler gözlemlendikten sonra belirlenebilmesi durumundan kaynaklanmaktadır. Bu doğrultuda, daha önceden belirlenmiş olan envanter planları sürekli olarak değiştirilmek durumunda kalmaktadır. Daha önceden planlanan sipariş kararlarının iptal edilmesi durumu, literatürde *sipariş tabanlı sistem sinirliliği* olarak tanımlanmaktadır (Inderfurth, 1994). Bunun yanında, sipariş tabanlı sistem sinirliliğinin işletmelere ek maliyetler oluşturabileceği bilinmektedir (Kazan, Nagi, & Rump, 2000, Kilic & Tarim, 2011). Böylelikle, kar bakımından optimal olan bu politika uygulamada optimal olma özelliğini yitirebilmektedir. Nihayetinde, sipariş tabanlı sistem sinirliliği, işletmeler için uygulamada çok ciddi problemlere sebep olmaktadır (Inderfurth, 1994, Heisig, 2001).

Envanter kontrolü literatüründe yer alan temel modeller arasında, sipariş tabanlı sistem sinirliliği bakımından en üstün performansı (R, S) politikası göstermektedir (Inderfurth, 1994, De Kok & Inderfurth, 1997). Bunun yanında, (R, S) politikasının maliyet bakımından da optimal sonuçlara çok yakın sonuçlar verdiği bilinmektedir (Tarim & Kingsman, 2006). Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında, söz konusu politikayı temel alan bir fiyatlandırma stratejisine ilişkin iki adet kuadratik tamsayı programlama modeli

sunulmaktadır. Önerilen yeni politika (R, S, p) politikası olarak adlandırılmaktadır ve (s, S, p) politikasına bir alternatif olarak önerilmektedir. Bu politika (s, S, p) politikasında olduğu gibi, talebin durağan olmayan fiyata bağımlı stokastik bir değişken olduğu ve sipariş miktarından bağımsız olarak meydana gelen bir envanter maliyetine katlanıldığı varsayımını temel almaktadır. Bu politikaya göre, fiyatlandırma ve tedarik dönemlerine ilişkin kararlar planlama ufku başında verilirken, sipariş miktarları gerçekleşen talep göz önüne alınarak belirlenmektedir. Bu çalışma, söz konusu problemin kuadratik karışık tamsayı programlama ile modellendiği ilk çalışma olmaktadır.

Fiyatlandırma kararlarının dönem başında verilmesini öneren fiyatlandırma stratejisi, birçok günlük hayat uygulamasında kendisine yer bulmaktadır. Örneğin, ülkemizde elektrik fiyatlandırması, kw (kilowatt) başına birim fiyatın uygulanmasıyla yapılmaktadır. Birim fiyatlar ise gün içerisinde değişecek şekilde, üç aylık satış sezonu başlangıcında EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından belirlenmektedir. Benzer şekilde, çoğu havayolu işletmesi, satış sezonu boyunca uygulanacak dinamik satış fiyatlarını planlama ufku başında belirlemektedir (Bertsimas & Boer, 2005). Bir diğer yandan, internet kullanımı ücretleri, zaman içerisinde değişkenlik gösterecek şekilde, kimi kablosuz erişim sağlayıcıları tarafından satış ufku başlangıcında belirlenmektedir (Mazlounian, Manshaei, Félegyházi, & Hubaux, 2008). Bununla beraber, birçok perakende işletmesi satış fiyatı indirimlerini, planlama ufku başında belirlemekte ve müşterilerini bu indirimlerden haberdar etmektedir (Bell & Starr, 1993). Son olarak, söz konusu fiyatlandırma stratejisi, kimi zaman, tedarikçi işletme ile perakendeci işletme arasında imzalanan sözleşme gereği uygulanmaktadır. Bu sözleşmelere göre, tedarikçi işletme planlama ufku boyunca uygulayacağı fiyat listesini, satış sezonu başında perakendeci işletmeyle paylaşmaktadır (Chan, Simchi-Levi, & Swann, 2006).

TEZİN İÇERİĞİ

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, tez çalışmasının diğer bölümlerine temel oluşturması amacıyla, envanter yönetimine ilişkin genel bilgiler sunulacak ve temel kavramlar üzerine tanımlamalar yapılacaktır.

İkinci bölümde, ilk olarak, envanter yönetiminde yer alan ve stokastik talep varsayımını kabul eden geleneksel envanter kontrol politikalarına yer verilecektir. Sonrasında, literatür taramasında yer alan çalışmalara ilişkin bir ön bilgi sağlanması amacıyla, Gazeteci Çocuk ve Durağan Olmayan (s, S) modelleri, çözüm yaklaşımları ile birlikte incelenecektir. Bununla beraber, bu tez çalışmasının temelini oluşturan Durağan Olmayan (R, S) Modeli ve çözüm yöntemi okuyucuya sunulacaktır.

Üçüncü bölümde, ilk olarak, dinamik fiyatlandırma ve envanter yönetiminin bir araya gelişi tartışılacaktır. Sonrasında ise, stokastik talep varsayımı altında bir birleşik fiyatlandırma-tedarik problemine ilişkin literatürde yer alan çalışmalar ayrıntılı olarak incelenecektir.

Dördüncü bölümde, (R, S) politikası, talebin fiyata bağımlı olarak gerçekleştiği varsayımı altında genişletilecektir. Bu doğrultuda ilgilenilen problemin tanımına yer verilecek ve bu çalışmada önerilen (R, S, p) politikası için iki ayrı kuadratik karışık tamsayı programlama modeli tanıtılacaktır. Buna ek olarak, gerçek hayat uygulamalarında sıkça karşılaşılan durumların önerilen matematiksel modellere dahil edilme yöntemleri sunulacaktır. Bu bölüm, sunulan modelleri açıklayan bir örnek ve söz konusu modellere ilişkin nümerik çalışmalara yer verilmesiyle sonlanacaktır.

Beşinci ve son bölümde ise, bu tez çalışması genel olarak bir değerlendirmeye tabi tutulacak ve çalışmanın sonuçları tartışılacaktır.

1 ENVANTER YÖNETİMİ

İşletmelerin temel amacı, müşteriler için bir değer yaratarak ve onlarla güçlü bir ilişki içerisinde bulunarak uzun vadede karlı bir şekilde kalıcı olabilmeyi sağlamaktır. Bu doğrultuda, müşteriye mümkün merteye hizmet sağlamayı hedefleyen bir işletmenin ana faaliyeti, müşteri istek ve ihtiyacını arzu edilen vakitte karşılamak üzere elde satışa hazır envanter bulundurmadır (Wild, 2007). Bununla birlikte, elde bulundurulması gereken envanter miktarını belirlemek işletmeler için en zor işlemlerden biridir. Bu süreci kontrol etmek adına, envanter yönetimi, aşağıdaki iki temel soruya cevap aramaktadır.

- Ne zaman sipariş verilmeli?
- Ne miktarda sipariş verilmeli?

Bu bölümde, sonraki bölümlere temel olması beklenen bilgilere yer verilecektir. İlk olarak, envanter kavramına, envanter çeşitlerine ve envanter maliyetlerine ilişkin genel bilgiler sunulacak, sonrasında ise, envanter maliyetleri ve envanter politikaları genel olarak tanıtılacaktır. Çalışma boyunca envanter kelimesi stok kelimesi ile eşanlamı olarak kullanılmaktadır.

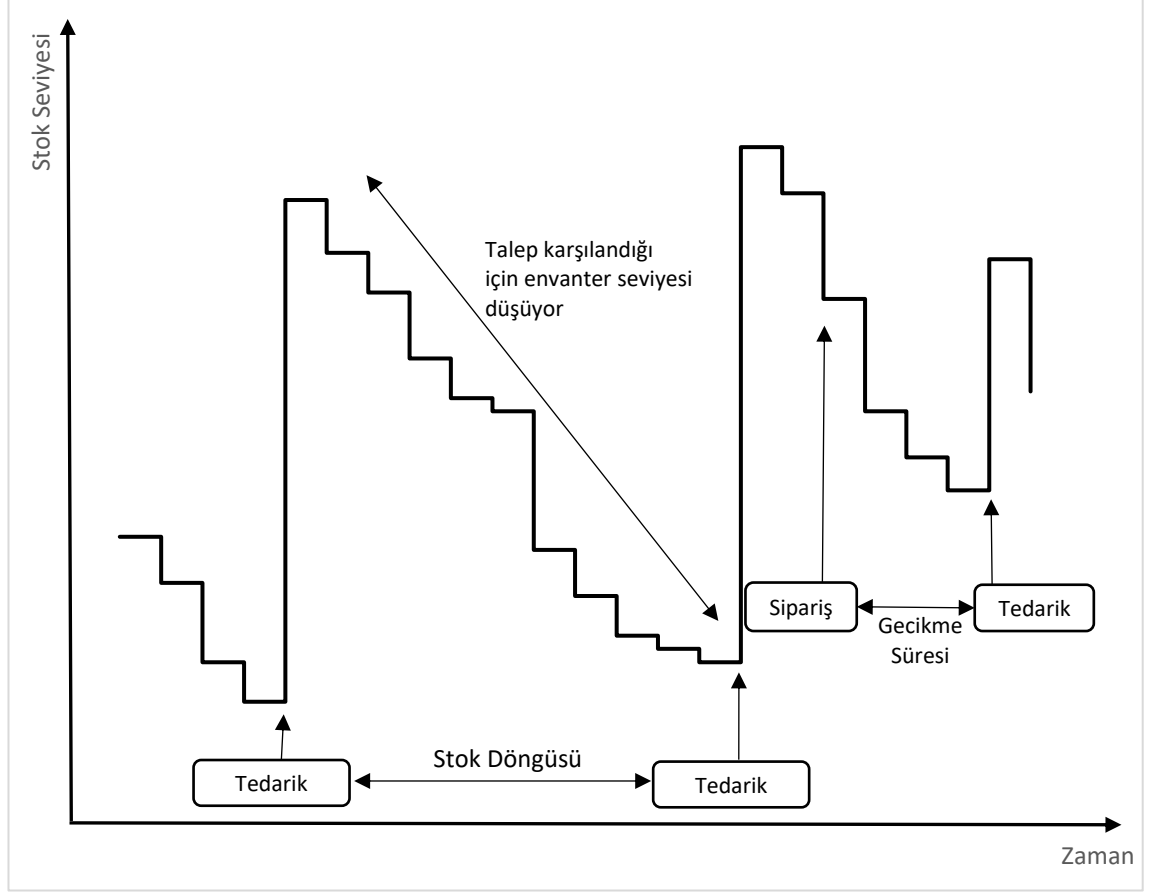
1.1 ENVANTER KAVRAMI

Faaliyet gösterilen iş alanından bağımsız olarak tüm işletmeler bünyelerinde envanter bulundurmaktadırlar. Envanter, gelecekte kullanılmak üzere işletme tarafından depolanan mamuller ve materyallerin tümü olarak adlandırılmaktadır (Waters, 2008). Kobu (1998) ise envanteri, üretim sistemi içerisinde üretilen mamule dolaysız ve dolaylı olarak katılan bütün fiziksel varlıklar ve mamulün kendisi olarak tanımlamaktadır. Kimi yazarlara göre ise, atıl olarak kullanılmayı bekleyen ve ekonomik değere sahip tüm kaynaklar envanter olarak adlandırılmaktadır.

Çoğu zaman satılmak üzere temin edilen mamul, müşterinin talebi gerçekleşene kadar işletme bünyesinde stoklanmaktadır. Mamulün tedarikçiden temin edilmesinden müşteriye ulaştırılmasına kadar olan bu süreçte birbirini izleyen adımlar döngüsü tekrar

edilmektedir. Stok döngüsü adı da verilen bu süreç Şekil 1.1’de gösterilmektedir. (Waters, 2008);

Şekil 1.1 Tipik Bir Döngüde Envanter Seviyeleri



Bu bağlamda, bir stok döngüsünde şu adımlar takip edilmektedir: İşletme belirli miktardaki ürünü tedarikçiden satın alır. Belirlenen bir zamanda ürünler teslim alınır. Müşteriden talep gelmedikçe, teslim alınan ürünler stok olarak elde bulundurulur. İç veya dış talep oluştuğunda envanter miktarı azalır ve bir noktada tekrar sipariş verme konumuna gelinir.

Belirli bir zamanda envanter sisteminin içerisinde bulunduğu duruma göre envanter düzeyleri aşağıdaki gibi beş temel envanter terimi ile tanımlanmaktadır (Johnson & Montgomery, 1974) .

- *Elde Bulundurulan Envanter Miktarı:* Belirli bir zamanda fiilen stokta bulunan envanter miktarını ifade etmektedir. Bir ürüne ait talebin karşılanmadığı bir durumda, elde bulundurulan envanter miktarı sıfıra eşittir.
- *Gecikmeli Teslim Miktarı:* Kimi işletmeler, karşılanamayan müşteri talebinin bir bölümünü veya tamamını, ilgili envanter miktarı tedarikçiden temin edildiği vakit karşılama yolunu seçmektedirler. Bu doğrultuda, gecikmeli teslim miktarı, zamanında karşılanamayan talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.
- *Tedarik Aşamasındaki Sipariş Miktarı:* Tedarik veya üretim süresince yaşanan gecikmeler sebebiyle, işletmeler envanteri tedarikçiden talep etmiş fakat henüz fiziki olarak teslim almamış olabilmektedirler. Bu bağlamda, yakın gelecekte işletme içerisinde yer alması beklenen stok miktarı tedarik aşamasındaki sipariş miktarı olarak ifade edilmektedir.
- *Net envanter seviyesi:* Elde bulundurulan envanter miktarından gecikmeli teslim miktarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir.
- *Envanter Pozisyonu:* Tedarik aşamasındaki sipariş miktarı ile net envanter seviyesinin toplanmasıyla elde edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, elde bulundurulan envanter miktarı ile tedarik aşamasındaki sipariş miktarı toplamından gecikmeli teslim miktarının çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır.

İşletmelerde stok bulundurulmasının temel sebebi, talebin meydana geldiği anda, fiziksel olarak ürünün sağlanmasının olanaksız olması veya böyle bir uygulamanın ekonomik olmamasıdır (Hadley & Whitin, 1963). Buna ek olarak, işletmeler birçok sebepten ötürü envanter bulundurmaktadırlar. Bu sebeplerden öne çıkanları sıralayacak olursak (Muller, 2003);

- *Tahmin edilebilirlik:* Kapasite planlaması ve üretim çizelgelemesi ile ilgilenmek, belirli bir zamanda ne kadar hammadde, parça ve alt grup malzemesinin işleneceği bilgisine sahip olmayı gerektirmektedir. Envanter, işlenecek ürünlerden hangisine ihtiyaç duyuluyorsa temin etmek üzere kullanılmaktadır.
- *Talepte meydana gelen sapmalar:* Belirli bir ürüne olan talebi kesin olarak bilmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. İşletmeler belirli bir vakitte talep miktarının tam olarak ne kadar olacağını bilmemelerine rağmen, müşteriyi tatmin

etmek amacıyla, talebi vaktinde karşılamak durumundadırlar. Bu sebeple, güvence olarak envanter bulundurulmaktadır. Arz ile talebin karşılanmasında talebin doğru tahmini kritik rol oynamaktadır.

- *Tedarik sürecinde yaşanan sıkıntılar:* Bir malın siparişinden teslimine kadar içerisinde bulunulan süreç tedarik süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç içerisinde birçok sorunla karşılaşmak ihtimal dahilindedir. Tedarikçinin yanlış veya hatalı ürün göndermesi, nakliye sırasında meydana gelen bir kaza, tedarikçinin üretim sürecinin aksaması gibi pek çok problemden ötürü tedarik süreci uzayabilir. Bu süreçte yaşanan problemlerin müşteriye yansımaması adına envanter çok önemli bir görev görmektedir.
- *Fiyat koruma:* Birçok tedarikçi için malın belirli zaman aralıklarıyla teslim edilmesi tek bir seferde teslimden daha cezbedicidir. İşletmeler ise fiyatın uygun bulunduğu zamanlarda yığın olarak uzun bir dönem için tek bir seferde mal alımı yaparak ileride meydana gelebilecek maliyet enflasyonu etkisinden kaçınmayı arzulamaktadır.
- *Miktar İndirimleri:* İşletmeler kimi zaman ölçek ekonomisinin avantajlarından faydalanmak üzere yüksek yığınlar halinde sipariş vermektedirler. Yığınlar halinde verilen siparişler ilgilenilen envanter miktarını artırmaktadır.
- *Sipariş maliyetleri:* Sipariş verme işlemi, verilen sipariş miktarından bağımsız olarak, beraberinde sabit bir maliyet getirmektedir. Sipariş için gerekli olan formların oluşturulması, onaylatılması ve dağıtılması, nakliye giderleri bu tip maliyete örnek olarak verilebilir. Düşük miktarlarda, sık sık sipariş vermek yerine yüksek miktarda fakat daha seyrek sipariş vermek, sipariş maliyetlerinin yüksek bulunduğu durumlarda tercih edilmektedir.

Envanter kullanımı kimi zaman yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Öyle ki, envanterin iyi yönetilememesi işletmelere mali açıdan büyük sıkıntılar doğurabilmektedir. Dolayısıyla, envanter yönetimi, envanter maliyetleri ile müşteri hizmet düzeyi arasındaki dengeyi sağlamakla ilgilenmektedir. Bu dengenin sağlıklı kurulabilmesi amacıyla envanter politikaları uygulanmaktadır ve bu politikalar elde tutulan envanterin karakteristik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda, başarılı bir

envanter yönetimi için envanterin belirli bir sınıflandırılmaya tabi tutulması iyi bir başlangıç noktasıdır.

1.2 ENVANTERLERİN SINIFLANDIRILMASI

İşletmeler, birçok sayıda malı envanter olarak bünyelerinde bulundurmaktadırlar. Örneğin, Hacettepe Üniversitesi Hastanesi, hastalarına en kısa sürede hizmet verebilmek adına 2014 yılında birbirinden tamamen farklı 15000 kalem malı stok olarak depolarında tutmaktadır. Büyük bir üretim işletmesi veya perakendeci mağaza düşünüldüğünde ise, stokta bulundurulan mal çeşidi sayısı çok daha ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu çerçevede, envanter yönetiminin hedefi en düşük maliyetle müşteriye tatmin edecek düzeyde stok kullanımını sağlayan uygun yöntemlerin saptanmasıdır.

Envanterde bulundurulan stok kalemlerinin birbirlerinden farklı karakteristik özelliklere sahip olduğu göz önüne alındığında, tüm stok kalemlerinin aynı yöntem kullanılarak izlenilmesi çok akılcı bir yaklaşım değildir. Bir diğer yandan, bu kalemlerin her biri için farklı yöntem uygulamak önemli büyüklükte maliyete ve zaman kaybına yol açmaktadır. Dolayısıyla, işletmeler envanterin daha verimli bir şekilde kontrol edilmesi amacıyla, stokları üretim yapısına, işlevlerine ve toplam değerine göre kategorize etme eğiliminde olmaktadır.

Envanterler üretim yapısına göre; hammadde, yarı mamul, satışa hazır mamul ve yardımcı malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu doğrultuda, *hammadde envanteri*, üretimde doğrudan kullanılmak üzere elde bulundurulan işlenmemiş malzemelerdir. *Yarı mamul envanteri*, satışa hazır mamul haline gelmeyi bekleyen işlenmiş ürünler olarak tanımlanmaktadır. *Satışa hazır mamuller*, üretim aşamalarının her birinden geçerek envanterde bekletilen malzeme olarak tanımlanmaktadır. Son olarak, üretim aşamalarında doğrudan kullanılmayan fakat üretime yardımcı olan ürünler, *yardımcı malzemeler* olarak adlandırılmaktadır. Bir araba lastiği üretimini örnek olarak ele alacak olursak eğer, doğadan elde edilen ve kauçuk üretiminde kullanılmak üzere elde bulundurulan lateks malzemesi, araba lastiği üretimi sürecinin hammadde envanteri olmaktadır. Araba lastiği üretiminde kullanılmak üzere envanter olarak bulundurulan kauçuk ise yarı mamul envanteri kategorisine girmektedir. Dolayısıyla, çeşitli

aşamalardan geçerek üretilen araç lastiği satışa hazır mamul olarak envantere bulunmaktadır. Bu araba lastiği üretimi aşamalarında kullanılmak üzere faydalanılan malzemeler ise yardımcı malzeme envanteri kategorisine girmektedir.

Elde bulundurulmuş envanter türü, işletmenin faaliyet gösterdiği alana göre değişkenlik gösterdiği gibi, kimi işletmeler yukarıda bahsedilen envanter türlerinin hepsini kullanmaktadır. Perakendeci işletmeler veya toptancı işletmelerin ana envanter odağı satışa hazır mallar iken, üretim işletmeleri imalat sürecinde aksama yaşamamak adına her çeşit envanter bulundurmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus yapılan sınıflandırmanın sadece ilgili işletme için geçerli olduğudur. Bir diğer deyişle, herhangi bir işletmede üretim yapısına göre yapılan sınıflandırma sonucunda yarı mamul olarak sınıflandırılan bir stok kalemi başka bir işletmede satışa hazır mal olarak stoklanabilmektedir.

İşlevlerine göre envanterler aşağıdaki gibi altı ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Silver, Pyke, & Peterson, 1998);

- *Çevrim stoğu*, tek bir birim yerine partiler halinde üretim yapılması veya sipariş verilmesi neticesinde meydana gelen stoktur. Birçok faktör çevrim stoğu kullanılmasına sebep olabilmektedir. Sabit maliyetlerden kaçınma, miktar indirimlerinden faydalanma veya teknolojik kısıtlamalar sebebiyle partiler halinde malın tedarik edilmesi, *çevrim stoğu* kullanımına sebep olan faktörlere örnek olarak gösterilebilir.
- *Birikim stoğu*, sınırlı kapasitenin kullanımı için rekabet eden malların söz konusu olduğu durumlarda ortaya çıkan stoktur. Montajlanacağı malzemenin üretim sürecinin bitmesini bekleyen stok, *birikim stoğu* olarak adlandırılabilir. Birikim stoğu miktarı, üretim hızı ve üretim için kullanılacak donanımın kurulumu için harcanan zaman gibi belirsiz değişkenlere bağlı olduğu için kontrol edilememektedir.
- *Güvence stoğu*, doğası gereği belirsiz olan talep ve arzın gerçekleşmesi sırasında, tahminde meydana gelebilecek olası sapmalardan korunabilmek amacıyla elde bulundurulmuş stok olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, talebin veya tedarik sürelerinin kesin olarak bilindiği durumlarda elde *güvence stoğu* bulundurmamak

anlamsız hale gelmektedir. *Güvence stoğu* miktarının belirlenmesi, doğrudan tatmin edilmesi arzu edilen müşteri düzeyi ile ilişkilendirilmektedir. Belirsizlik arttıkça ihtiyaç duyulan *güvence stoğu* miktarı da daha fazla olacaktır.

- *Beklenti stoğu*, talepte meydana gelmesi muhtemel değişiklikler sebebiyle elde bulundurulan stoğa verilen isimdir. Bir işletmenin kış mevsiminin sert geçmesi beklentisi ile kış dönemi başlamadan kar temizleme makinaları stoklaması *beklenti stoğuna* örnek olarak verilebilir.
- *Taşıma stoğu*, çok kademeli dağıtım sisteminin düzeyleri arasında veya bir fabrika içerisinde yer alan komşu iş istasyonları arasında geçiş sürecince elde bulundurulan stoktur. Diğer bir deyişle, nakliye sürecinde yer alan envanterdir. Nakliye kamyonunda veya bir tren vagonunda teslim yerine ulaşıncaya dek bulunan envanter *taşıma stoğuna* örnek olarak verilebilir.
- *Ayrışım stoğu*, üretim sisteminde her bir iş istasyonunun birbirinden bağımsız bir şekilde faaliyet gösterebilmesi amacıyla elde bulundurulan stoktur. Bir üretim sisteminde birbirini takip eden birçok iş yer almaktadır. Her bir iş, kendisinden bir önce gelen işin çıktısını girdi olarak kullanmaktadır. Son işin tamamlanmasıyla, kullanıcıya sunulacak nihai ürün elde edilmektedir. Bununla beraber, üretim süreci bahsedildiği gibi bir işler dizisi olduğundan işlerden birinde meydana gelecek aksama tüm üretim sürecini etkileyecek ve üretim süresini uzatacaktır. Bu türde bir aksamadan kaçınmak adına her bir iş kendisinden önce gelen işin çıktısını belirli bir miktar stoklamaktadır. Böylelikle, meydana gelecek bir aksamanın *ayrışım stoğu* kullanımıyla engellenmesi planlanmaktadır.

Envanterler için sıklıkla kullanılan bir başka sınıflandırma ise her bir stok kaleminin işletme için ifade ettiği değer esas alınarak yapılmaktadır. Stok kalemlerinin değerleri temel alınarak elde edilen sınıflandırmanın kökeni XIX. Yüzyıl'da yaşayan İtalyan iktisatçı Vilfredo Pareto tarafından öne sürülen Pareto Prensibine dayanmaktadır.

Pareto'nun görüşüne göre, İtalya'ya ait varlıkların %80'lik kısmı ülke nüfusunun %20'sine denk gelen zümrenin tasarrufunda bulunmaktadır ve bu zümre "önemli az" geri kalanları ise "önemsiz çok" olarak adlandırılmaktadır. Pareto, bu görüşten yola çıkarak, çoğu durum için, tüm çıktının önemli bir bölümüne tekabül eden kısmının, tüm girdilerin

görece olarak küçük bir kısmından kaynaklandığı ilkesini öne sürmüştür (Bunkley, 2008). Bu doğrultuda, ilginin *önemli az* diye adlandırılan girdiler üzerine olması gerektiğini savunmuştur. Bu ilke *Pareto Prensibi* veya *80-20 Kuralı* olarak isimlendirilmektedir.

Pareto prensibi, girdilerin işletme veya organizasyon için ifade ettiği değer üzerinden sınıflandırılmasını ve sınıflandırılan her bir gruba farklı kontrol teknikleri uygulanmasını önermektedir. Burada değer olarak ifade edilen kavram birçok farklı şekilde yorumlanabilmektedir. Değer kavramı maddi değeri işaret ediyorsa, tüm girdilerin %20'si bütün çıktılarının toplam maddi değerinin %80'ine karşılık gelmesi veya değer kavramı ile kullanım/satış ifade ediliyorsa, tüm girdilerin %20'si bütün çıktılarının toplam kullanımının/satışının %80'ine denk gelmesi ifade edilmektedir.

Pareto prensibi ilkelerinden hareketle ortaya çıkan ve envanteri her bir stok kaleminin yıllık satış hacimlerini dikkate alarak kategorize etmeyi öneren sınıflandırma yöntemi ise *ABC Analizi* olarak tanımlanmaktadır. ABC analizi, Pareto prensibinden farklı olarak, envanteri genellikle üç ana başlık altında toplamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, A grubunda yer alan stok kalemleri işletme için “en önemli”, B grubunda yer alanlar “orta önemli”, C grubunda yer alan stok kalemleri ise “en az öneme sahip” envanterler olarak sınıflandırılmaktadır.

ABC analizi uygulamasının ilk adımı her bir stok kalemi için birim başına satış fiyatı ve yıllık satış miktarının belirlenmesidir. Birim başına satış fiyatı f_t ile yıllık satış miktarı m_t çarpılarak ilgili satış hacim değerleri $f_t m_t$ her bir stok kalemi için hesaplanır. En büyük değerden başlayıp en küçük değerde bitecek şekilde azalan sırada her bir stok kaleminin satış hacmi sıralanır ve sıralanan değerler toplanarak işletmenin tüm stok kalemlerinden elde ettiği satış geliri hesaplanır. Sonrasında ise, her bir stok kalemi için kümülatif stok kalemi miktarı yüzdeleri ve kümülatif satış hacim değeri yüzdeleri elde edilir (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Bahsedilen adımlar izlenerek oluşturulan bir ABC analizi örneği Tablo 1-1'de bulunmaktadır.

Tablo 1-1 Stok Kalemlerinin Kümülatif Satış Hacim Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanması

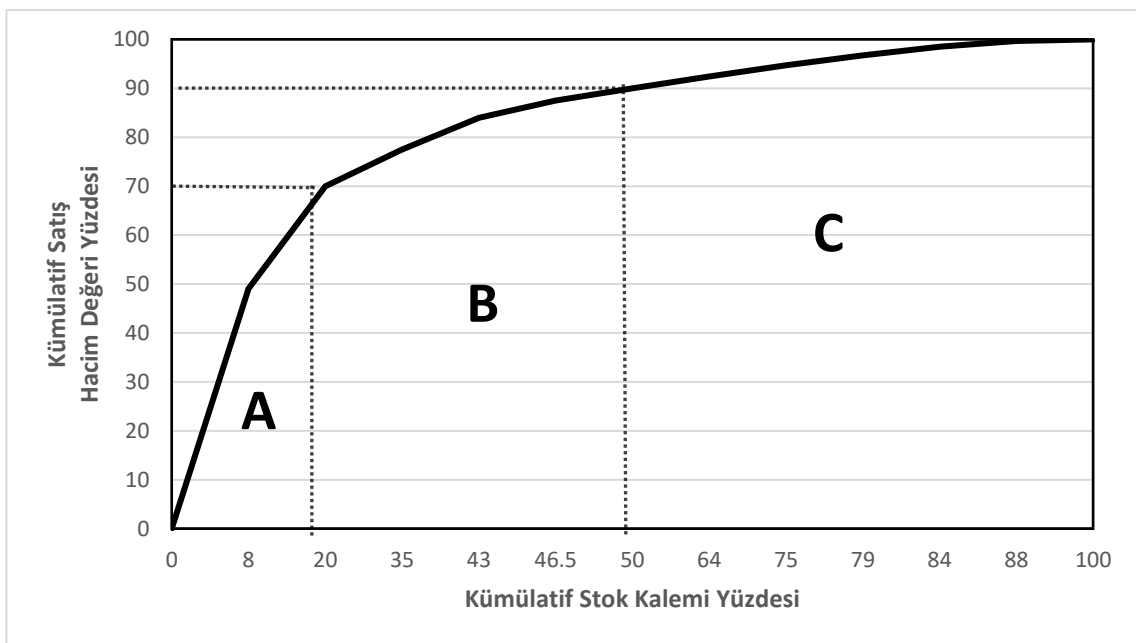
Stok No	Birim Satış Fiyatı (TL)	Yıllık Satış Miktarı	Kümülatif Stok Kalemi Yüzdesi	Satış Hacim Değeri	Kümülatif Satış Hacim Değeri Yüzdesi
2	612,50	800	8	490000	49
8	1050,00	200	10	210000	70
7	50,00	1500	25	75000	77,5
11	81,25	800	33	65000	84
9	100,00	350	36,5	35000	87,5
3	71,43	350	40	25000	90
5	17,14	1400	54	24000	92,4
12	20,91	1100	65	23000	94,7
4	50,00	400	69	20000	96,7
1	36,00	500	74	18000	98,5
6	30,00	400	78	12000	99,7
10	1,36	2200	100	3000	100

ABC analizinin son adımı olarak ise, yukarıda bahsedilmekte olan adımlardan elde edilen kümülatif değerler göz önüne alınarak, toplam satış hacim değerinin yaklaşık olarak %70'inin elde edildiği ve toplam envanter miktarının %10'unu oluşturan stok kalemleri A grubu altında toplanmaktadır. Bu doğrultuda, söz konusu örnek için, A grubu stok kalemleri 2 ve 8 no'lu kalemlerden oluşmaktadır. Benzer şekilde, toplam satış değerinin yaklaşık olarak %20'lik diliminin içerisinde bulunan ve toplam envanter miktarının %30'unu oluşturan stok kalemleri B grubu stok kalemleri olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, Tablo 1-1'de yer alan 7, 11, 9 ve 3 no'lu stok kalemleri B grubu stok kalemleri olarak tanımlanmaktadır. A ve B grupları altında yer almayan stok kalemleri ise C grubu altında yer almaktadır.

A grubu içerisinde yer alan stok kalemleri özel ilgi isteyen envanterlerdir ve dolayısıyla, sürekli kontrol edilmek durumundadırlar. Bu grupta yer alan stok kalemlerinin elde bulundurulması bir hayli maliyetli olduğundan mümkün olduğu kadar az miktarda güvence stoğu tutulması önerilmektedir. Tedarik sürelerinin dikkatlice tespit edilmesinden sonra, elde güvence stoğu tutulması yerine siparişlerin müşteriye memnuniyetsiz bırakmayacak şekilde sık verilmesi daha uygun bulunmaktadır.

C grubunda yer alan stok kalemleri için ise, A grubu stok kalemlerinin aksine, sık kontrole gerek kalmayabilmektedir. C grubunda yer alan stok kalemleri en az hareket eden envanterleri içermektedir. Dolayısıyla, bu grup içerisinde yer alan stok kalemlerinin sık temini söz konusu değildir. Bu çerçevede, stok kontrol frekansının da oldukça düşük tutulması gerekmektedir. B grubu stok kalemlerine ise, ne A grubu kadar yoğun bir ilgi gösterilmeli, ne de C grubu politikaları kadar düşük yoğunluk düzeyine sahip politikalar uygulanmalıdır.

Şekil 1.2 ABC Sınıflandırması Analizi



ABC analizi ile firma için en değerli olan stok kalemlerinin saptanıp, ilgili stok kalemlerine dikkat verilmesiyle kısıtlı zaman ve maliyetin en iyi şekilde kullanımı hedeflenmektedir. Bir başka deyişle, işletmenin faaliyetlerini karlı bir şekilde yürüterek uzun vadede kalıcı olmasını sağlayan, az miktarda fakat işletme etkinlikleri üzerinde büyük etkiye sahip stok kalemlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.3 ENVANTER KARARLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Envanter yönetiminin temelinde iki kritik soruya cevap vermek üzere etkin bir envanter planının oluşturulması hedefi yatmaktadır. İşletmenin sipariş zamanları ve

büyükliklerinin belirlenmesi ise matematiksel envanter modellerinin çözüme ulaştırılması neticesinde elde edilmektedir. Bu doğrultuda, gerçek hayat uygulamasına ilişkin en doğru kararlara ulaşmak adına oluşturulacak matematiksel modelin, söz konusu envanter sisteminin özelliklerini mümkün mertebe temsil etmesi gerekmektedir. Fakat gerçek hayat uygulamaları, genellikle matematiksel modeller ile birebir olarak ifade edilemeyecek kadar karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durum, araştırmacıların farklı varsayımları kabul etmesine yol açmaktadır ve dolayısıyla, söz konusu farklı varsayımlar matematiksel modellerin birbirinden farklılaşmasına sonucunu doğurmaktadır. Bu başlık altında matematiksel envanter modellerinin birbirinden farklılık göstermesi sonucunu doğuran varsayımlara yer verilmektedir.

1.3.1 Envanter Maliyetleri

İşletmeler, envanterin etkin bir biçimde yönetiminin sağlanmasıyla talep ile arz arasında meydana gelebilecek muhtemel farkın en düşük düzeye çekilmesini hedeflemektedir. Geleneksel envanter çalışmalarında, talep sürecinin karar verici tarafından kontrol edilemediği varsayımında bulunulmuştur. Bununla beraber, arz yönetimi envanter kararları ile mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, müşteri talebine karşılık gelecek envanterin mümkün mertebe düşük maliyetle kontrolü, çoğu durum için etkin bir envanter yönetiminin esas niteliği olarak kabul edilmektedir. Bir diğer deyişle, envanter maliyetleri envanter yönetimi politikalarının belirlenmesinde bir hayli kritik rol oynamaktadırlar. Temel olarak envanter maliyetleri; sipariş/kurulum maliyeti, elde bulundurma maliyeti, elde bulundurmama maliyeti ve sistem işletim maliyeti olarak 4 ana başlık altında ele alınmaktadır (Johnson & Montgomery, 1974).

1.3.1.1 Sipariş/Kurulum Maliyeti

Satın alma/üretim süreci siparişin verildiği veya üretimin başladığı andan tedarik işleminin veya üretimin tamamlandığı ana kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Sipariş/kurulum maliyeti, bu süreç boyunca üretilmek/tedarik edilmek istenilen stok kalemi ile ilgili olarak ortaya çıkan maliyetleri içermektedir. Üretim durumunda ortaya

çıkan maliyet, kurulum maliyeti olarak adlandırılırken, satın alma durumunda oluşan maliyet, sipariş maliyeti olarak ifade edilmektedir.

Sipariş/kurulum maliyeti iki ana bileşenden oluşmaktadır. Üretim/tedarik miktarına bağlı olarak değişen maliyet bileşeni *değişken maliyet* olarak ifade edilmektedir. Bir tedarikçiden satın alınması planlanan bir stok kalemi ile ilgili taşıma masrafları, birim işgücü masrafları gibi maliyetlerin toplamı değişken maliyeti vermektedir. Benzer şekilde, üretim sürecinde ortaya çıkan değişken maliyet, kullanılan hammadde maliyeti, işçilik maliyeti ve malzeme maliyetleri içermektedir.

Değişken maliyet çoğunlukla $C(q)$ gibi üretim/tedarik miktarı q 'ya bağımlı doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır ve birim üretim/tedarik maliyeti c ile üretim/tedarik miktarı q 'nın çarpımından elde edilmektedir. Buna rağmen, kimi durumlarda, birim üretim/tedarik maliyeti, üretim/tedarik miktarı belirli eşikleri geçtikçe değişkenlik göstermektedir (Axsater, 2006). Birim üretim/tedarik maliyetinin miktara bağlı olduğu miktar indirimi uygulaması bu duruma örnek verilebilir. Böyle bir durumda birim üretim/tedarik maliyetleri $c_1 > c_2 > c_3$ olmak üzere değişken maliyet aşağıdaki gibi olacaktır,

$$C(q) = \begin{cases} c_1 q, & \text{eğer } 0 \leq q < a \\ c_2 q, & \text{eğer } a \leq q < b \\ c_3 q, & \text{eğer } b \leq q < c \end{cases} \quad (1)$$

Sipariş/kurulum maliyetine ait bir diğer maliyet bileşeni ise, üretim/tedarik miktarından bağımsız olarak katlanılan ve sadece üretim/tedarik yapıldığında ortaya çıkan, *sabit maliyettir*. Bir üretim işletmesinde sabit maliyet, üretim sürecine hazırlık olması açısından üretim malzemelerinin bakımının yapılması ve üretime hazır hale getirilmesi, kırtasiye işlemleri ve üretim bittikten sonra kurulumun başlangıç durumuna getirilmesi gibi maliyetleri kapsamaktadır. Satın alma durumunda ise sabit maliyetler, siparişin işleme tabi tutulması, sipariş ile ilgili formların hazırlanması ve teslim alma masrafları olarak ortaya çıkabilir. Sabit sipariş/kurulum maliyeti genel olarak K gibi bir sabitle ifade edilmektedir ve üretim/tedarik yapılmadığı durumlarda 0 olarak kabul görmektedir. Bu doğrultuda, toplam sipariş/kurulum maliyeti $K + cq$ olarak elde edilmektedir.

1.3.1.2 Elde Bulundurma Maliyeti

Belirli bir süre elde bulundurulan stok kalemlerinin işletmeye olan maliyeti olarak ifade edilmektedir. Bir diğer deyişle, elde bulundurma maliyeti arzın talepten fazla olması sonucu ortaya çıkmaktadır (Axsater, 2006). Envanter bulundurma maliyeti olarak da adlandırılmaktadır. Birim elde bulundurma maliyeti h ile gösterilmektedir ve bir birimlik stok kaleminin parasal değeri H ile envanter taşıma maliyeti oranının i çarpımıyla elde edilmektedir. Yıllık ortalama envanter miktarı \bar{I} olsun, bu durumda yıllık elde bulundurma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$h = iH\bar{I} \quad (2)$$

Elde bulundurma maliyeti birçok maliyet bileşeninden oluşmaktadır. Bu doğrultuda, 4 ana maliyet bileşeninden söz edilebilir (Starr & Miller, 1962);

- *Fırsat maliyeti*, işletme hesap tablosunda yer almayan fakat elde bulundurma maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturan maliyettir (Hadley & Whitin, 1963). Elde bulundurulan nakit toplamı ile mevcut stoklara yatırım yapıldığı için alternatif bir fırsata para yatırılmasıyla elde edilecek kazançtan olmak, fırsat maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, fırsat maliyeti, sermayenin stoklar harici başka bir alternatif için kullanılmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Stoklar için yapılan harcamanın, iyi bir alternatif yatırım olarak görülen repoya yatırılması sonucu elde edilecek getiri fırsat maliyetine örnek olarak gösterilebilir.
- *Depolama maliyeti*, bir stok kaleminin depoda bulundurulması için gereken fiziksel alan ile ilgili ortaya çıkan maliyettir. Bilhassa, envanterin muhafaza edilmesine ilişkin özel koşullar var olduğunda, kira, aydınlatma ve ısıtma masrafları gibi maliyetleri içeren depolama maliyetleri yüksek düzeylere ulaşabilmektedir (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).
- *Bozulma maliyeti*, envanterin bir süre depoda bulunması sürecinde bozulması, zarar görmesi veya modasının geçmesi gibi sebeplerden ötürü yaşadığı değer kaybına karşılık gelmektedir. Bu çerçevede, çürüme- bozulma özellikle gıda ve teknoloji ürünleri gibi dayanıksız ürünleri envanter olarak bulunduran işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Depoda bulundurulan envanter miktarı arttıkça,

envanterin elde bulundurulma süresi uzayacağından, envanterin bozulma veya zarar görme riski büyümektedir (Reid & Sanders, 2013).

- *Sigorta maliyeti*, stokların sigortalanması için yapılan tüm masrafları kapsamaktadır. Stokların sigortalanması işleminin önemi, işletme için ifade ettikleri değere göre değişkenlik göstermektedir. Bozulma maliyetinde olduğu gibi elde bulundurulmuş stok miktarının azaltılması işletme için önemli bir tasarruf olabilir.

1.3.1.3 Elde Bulundurmama Maliyeti

Bir ürün için gerçekleşen müşteri talebinin arzdan fazla olması durumunda ortaya çıkan maliyettir. Bir başka ifadeyle, siparişi karşılayacak miktarda stok bulundurulmaması durumunda işletmenin katlandığı maliyettir. Ceza maliyeti ya da stoksuz kalma maliyeti olarak da adlandırılmaktadır. Stoksuz kalma durumunda perakendeci bir işletme için oluşan itibar ve müşteri kaybı, üretim işletmesi için ise üretim planlarının aksaması ve müşterinin satın alma planlarını revize etmesi durumları elde bulundurmama maliyetini oluşturan masraflar arasında yer almaktadır (Muckstadt & Sapro, 2010).

Talebin karşılanamaması durumunda müşterinin isteğine bağlı olarak iki elde bulundurmama maliyeti yaklaşımı ortaya çıkmaktadır. Müşterinin kabul etmesi durumunda, karşılanamayan talebin ilgili envanter temin edildiği vakit teslim edilmesi *gecikmeli teslim* durumu olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda stok tesliminin daha hızlı yapılması için seçilecek ulaşım yöntemi de elde bulundurma maliyetine ek bir maliyet oluşturmaktadır (Winston & Goldberg, 2004). Siparişin alınması ile teslim edilmesi arasında gerçekleşen toplam stoksuz kalma maliyetini belirlemek için kullanılan en basit yöntem birim başına stoksuz kalma maliyetini p gibi bir sabit değer olarak kabul etmektir. Bu çerçevede, karşılanamayan talep miktarının x olduğu varsayılarak, toplam elde bulundurmama maliyeti px olarak hesaplanmaktadır. Buna rağmen, stoksuz kalma maliyetinin gecikme süresine bağlı olduğu varsayımı daha gerçekçi bir varsayımdır. Bu yüzden, bir diğer yaklaşıma göre, gecikme süresi T , ortalama karşılanamayan talep \bar{x} ve bir birim zamanda karşılanamayan bir birim talep için stoksuz kalma maliyeti \hat{p} olmak üzere, toplam elde bulundurmama maliyeti $\hat{p}\bar{x}T$ olarak hesaplanmaktadır (Johnson & Montgomery, 1974).

Talebin karşılanamaması üzerine müşterinin ürünü satın almaktan vazgeçmesi veya alternatif ürünlere yönelmesi sonucu ortaya çıkan elde bulundurmama maliyeti yaklaşımı ise *kayıp satış* durumu olarak adlandırılmaktadır. Kayıp satış durumunda ortaya çıkacak maliyet sadece ilgili üründen elde edilecek satış getirisinin azalması olarak yorumlanacağı gibi, itibar kaybı sebebiyle müşterinin geçici veya kalıcı bir süre ile talep ettiği farklı ürünleri de farklı bir işletmeden tedarik etmesi sonucu diğer ürünlerden elde edilecek satış getirisinin de kayıp olması olarak yorumlanabilir. Bunun yanında talep ettiği ürünün tedarik edilemeyeceği bilgisinin müşteriye ayrıcalıklı yöntemlerle iletilmesi de kayıp satış durumunda ortaya çıkabilecek maliyetlere örnek olarak verilebilir (Hadley & Whitin, 1963).

Elde bulundurmama maliyeti itibar ve müşteri kaybı gibi parasal değerlerle ifade edilmesi güç maliyetleri içerdiğinden envanter maliyetleri arasında belirlenmesi en zor olan maliyet çeşididir.

1.3.1.4 Sistem İşletim Maliyeti

İşletmeler yukarıda bahsedilen üç ana maliyet toplamını minimize etmek amacıyla tedarik/üretim miktarı ve zamanı ile ilgili kararları kapsayan stok kontrol sistemleri kullanmaktadırlar. Bu sistemler, stoklar üzerine yapılan varsayımlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Envanter kontrol sistemlerine ait karar destek mekanizmasının işletilmesine ilişkin ortaya çıkan maliyetler ise *sistem işletim maliyeti* olarak adlandırılmaktadır. Sistem işletim maliyeti, karar destek sisteminin kullanılması üzerine personelin eğitilmesi masraflarına ek olarak talebe ilişkin verinin toplanması, depolanması, bakımı ve hesaplanmasına ilişkin maliyetlerini kapsamaktadır (Silver, Pyke, & Peterson, 1998).

1.3.2 Talep Yapısı

Envanterin tedarik zamanı ve miktarı ile ilgili kararların alınmasında çok kritik rol oynayan bir diğer unsur ise talebin yapısıdır. Envanter modellerinin analitik karmaşıklığı doğrudan ürüne ait gerçekleşen talebin yapısı ile ilişki içerisindedir (Taha, 2010). Talebin yapısını temel alan en geniş ayırım talep edilen ürünün türüne göre yapılmaktadır. Bu

doğrultuda, bir ürüne ait işletme içi kullanılan herhangi bir malzemenin talebinden bağımsız olarak oluşan talep *bağımsız talep* olarak adlandırılmaktadır. Satışa hazır mamuller ve üretim işletmelerinde stok olarak kullanılan yedek parçalara olan talep bağımsız talep kapsamında değerlendirilmektedir (Schroeder, 1989). Bağımsız talebe sahip bir ürünün üretimi birçok farklı ürünün çeşitli aşamalardan geçerek bir araya gelmesiyle gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, bağımsız ürünlere ait her bir talep, üretimde kullanılan ürünler için de talebin oluşması anlamına gelmektedir. Başka bir ürünün talebine bağlı olarak gerçekleşen bu tür talep ise ilgili ürünün *bağımlı talebe* sahip olması anlamına gelmektedir. Örneğin, gitar üretimi yapan bir işletme için gitara ait talep bağımsızken, gitar telleri için bağımlı bir talep meydana gelmektedir.

İşletmeler, depoda bulundurulması gereken stok miktarını hesaplamak ve dolayısıyla talebi mümkün olan en az maliyetle karşılamak amacı ile talep tahmin yöntemlerine başvururlar. Buna rağmen, talebin hatasız olarak tahmin edilmesi işlemi oldukça güçtür. Nitekim, etkin bir envanter planı için talep tahmininin gerçekleşen talepten sapmasının en düşük düzeyde tutulması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, bağımsız talebe sahip bir ürün için ileriki dönemlerde gerçekleşecek talebin tahmini geçmişe ait verileri temel alan nicel modeller yardımı ile elde edilmektedir (Waters, 2008). Bağımlı talep tahmini ise bağımsız talep tahmininden elde edilen veriye bağlı olarak elde edilmektedir. Bir diğer yandan, talebin düşük bir hata payı ile tahmin edilmesi işletmelere büyük bir rekabetçi avantaj sağlarken, kötü bir talep tahmini ciddi kayıplara yol açmaktadır. Talep tahmininde yapılan hatalar sonucu Fruit of the Loom şirketinin 1994 yılının ilk yarısında karlarında %11'lik bir gerilemeye gitmesi talep tahmini doğruluk düzeyinin bir işletme için önemine işaret etmektedir (Chandler & Burns, 1994).

Talep tahmini işlemi, müşteri talebinin ne zaman ve ne miktarda gerçekleşeceğinin kesin olarak bilinmediği varsayımını temel almaktadır. Bu bağlamda, gelecek dönemlerde gerçekleşecek talebe ait olasılıksal veri setinin elde bulundurulması durumunda *stokastik* veya bir diğer adıyla *olasılıksal talep* söz konusu olmaktadır. Talebin yapısı gereği birçok faktörden etkilenmesi, stokastik talep ile gerçek hayat uygulamalarında sıkça karşılaşılabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır ve bu sebeple, stokastik talep varsayımı envanter modellerinde çokça tercih edilmektedir. Bir diğer yandan, talebin ne zaman ve ne miktarda gerçekleşeceğine ait kesin bir bilginin elde bulunması durumunda, talep *deterministik* olarak adlandırılmaktadır. Deterministik talep ile karşılaşılan işletmeler için

talep tahminine ihtiyaç duyulmamaktadır. Deterministik talep varsayımı çoğu zaman gerçek hayat koşullarına uygun bir varsayım değildir, buna rağmen, stokastik talep yaklaşımına kıyasla çok daha basit envanter modellerine zemin hazırladığı için gerçek hayat uygulamalarının çözümünde başlangıç noktası olarak kullanılmaktadır (Axsater, 2006).

Talebe ait bir diğer sınıflandırma ise ürüne ait talebin desenine göre yapılmaktadır. Ülkede yaşanan ekonomik değişkenler, mevsimlerde yaşanan değişiklikler veya ürün yaşam döngüsü gibi etkenler ürüne olan talebin zamana göre değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Bu doğrultuda, deterministik talebin her bir dönem farklı bir değer aldığı veya olasılıksal talep dağılımlarının zamana göre değişkenlik gösterdiği envanter sistemleri *dinamik envanter sistemleri* olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde, talebin sabit veya talep dağılımının her bir dönem için aynı olduğu envanter sistemleri ise *statik envanter sistemleridir*.

Yukarıda talep ile ilgili sözü edilen ayrımların her biri işletme için uygun matematiksel envanter modelinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu çerçevede, aşağıdaki tablo ile talep yapısına göre envanter modelleri özetlenmiştir (Roy, 2007).

Tablo 1-2 *Envanter Modellerinin Talep Yapısına Göre Sınıflandırılması*

		TALEP HIZI	
		Her Periyod için Aynı	Periyoda göre değişmekte
TALEP YAPISI	Kesin Olarak Biliniyor ve Sabit	<i>Statik ve Deterministik</i>	<i>Dinamik ve Deterministik</i>
	Olasılık dağılımına sahip bir Rassal Değişken	<i>Statik ve Stokastik</i>	<i>Dinamik ve Stokastik</i>

Bir envanter sisteminin içerisinde bulunduğu ortamın matematiksel modellerle temsil edilmesinin amacı envanter kontrolü için uygun işletme ilkelerinin belirlenmesidir. Matematiksel modeller analitik yöntemler kullanılarak incelenmektedir. İlgilenilen matematiksel modelleri analitik teknikler kullanılarak çözüme ulaştırmanın zorluğu aynı zamanda modelin karmaşıklık seviyesini de belirtmektedir (Hadley & Whitin, 1963). Bu doğrultuda, stokastik stok modelleri deterministik modellere kıyasla çok daha karmaşık

bir yapıda iken, aynı talep yapısına sahip dinamik modeller de statik modellerden daha karmaşık ve çözülmesi zor bir yapıdadır.

1.3.3 Diğer Kavramlar

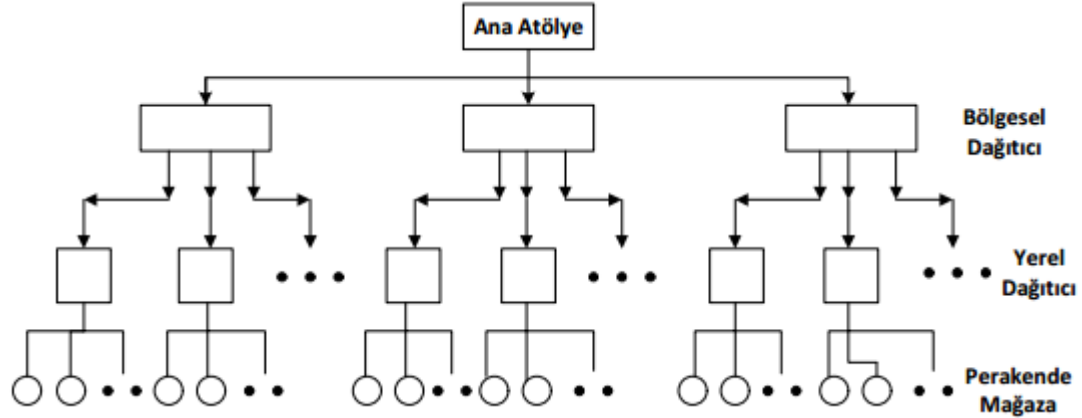
1.3.3.1 Envanter Sisteminin Kademe Yapısı

Bir envanter sisteminde yer alan herhangi bir stok kalemi tek bir fiziki konumda bulundurulabildiği gibi birden fazla konumda da stoklanabilmektedir (Hadley & Whitin, 1963). Örneğin, bir stok kalemine ait tedarik veya üretim ilk olarak merkez veya bölgesel tesiste depolanmaktadır. İlgili stok kaleminin bir kısmı merkez tesislerde gerçekleştirilecek talebi karşılamak için elde bulundurulurken, geri kalan kısmı ise son müşteri talebini karşılamak üzere dağıtım yapılacak stok noktalarına taşınmaktadır. Bu bağlamda, merkezi tesisler aynı zamanda, son müşteri ile doğrudan temas içerisinde olan stok noktalarına ürün temin ettikleri için işletme içi tedarik görevini görmektedirler (Lee C. , 2003). Bu tip farklı işlevlere sahip birden fazla stok noktasını bünyesinde barındıran envanter sistemi *çok kademeli envanter sistemi* olarak isimlendirilmektedir. Bünyesinde n farklı stok kademesi bulunduran bir işletmenin envanter sistemi *n kademeli envanter sistemi* olarak ifade edilmektedir. Bu doğrultuda, gerçek hayat uygulamasında, bir ana atölye, birçok konumda bulunan bölgesel, yerel dağıtıcıya ve birçok şehirde yer alan çeşitli perakendeci mağazalara sahip işletmeler dört kademeli stok sistemine sahiptir ve temel olarak aşağıda yer alan Şekil 1.3'deki yapıdadır (Clark, 1972).

Şekil 1.3'de yer alan çok kademeli envanter sistemi örneği dağıtım yapan bir işletme göz önüne alınarak düzenlenmiştir. Bu bağlamda, envanter akışı ana atölyeden birçok farklı yerde bulunan müşterilere mesafe olarak yakın olacak şekilde konumlanan perakende mağazalarına doğru olmaktadır ve her bir kademede gerçekleşen talep ilgili kademede bulunan stok noktalarından karşılanmaktadır. Benzer şekilde, bir üretim işletmesinde ise en yalın haliyle, malzeme akışının en üst konumunda bulunan stok noktası üretimde kullanılacak hammadde ve yedek parçaları içerisinde bulunduran ana atölyedir. Bir sonraki kademede, ilgili hammadde ve yedek parçalarının montajlanmasıyla üretilen ara ürünlerin stoklandığı stok noktaları yer almaktadır. Dağıtıcılar ve perakendecilerden önce

yer alan kademede ise, üretim işlemi tamamen bittikten sonra nihai ürünlerin stoklandığı depolar bulunmaktadır.

Şekil 1.3 Dört Kademeli bir Envanter Sistemi



Gerçek hayat uygulamalarında da sıkça yer alan çok kademeli envanter sistemlerini temsil eden matematiksel modellerin kurulması ve analitik yöntemler kullanılarak incelenmesi tek kademeli envanter sistemlerine kıyasla oldukça zordur (Axsater, 2006). Envanter sistemi içerisinde birden fazla stok noktasının bulunduğu varsayımı altında stok yöntemine ilişkin iki temel yaklaşım bulunmaktadır; (i) bağımsız tek kademe yaklaşımı, (ii) bir bütün olarak çok kademeli yaklaşım (Hausman & Erkip, 1994). İlk yaklaşım temel olarak her bir kademeden envanter sisteminin tümünden bağımsız olarak tek kademeli envanter sistemi gibi hareket ettiği görüşüne dayanmaktadır. Bu doğrultuda, her bir kademede belirlenen stok politikaları, hedefler ve müşteri hizmet düzeyi farklılık göstermektedir. Diğer yaklaşıma göre ise, envanter kontrol kararları kademeler arası ilişkiler göz önüne alınarak eş zamanlı olarak verilmektedir.

1.3.3.2 Tedarik

Tedarik işlemi, herhangi bir işletmenin faaliyetlerin sürdürmek amacıyla ihtiyaç duyduğu materyalleri harici olarak veya iç talebi karşılama amacı ile kendi imkânları doğrultusunda üretim yaparak temin etmesi olarak tanımlanmaktadır (Waters, 2009). Siparişin verildiği veya üretim sürecinin başladığı andan itibaren tedarik işleminin müşteri hizmetine sunulmak üzere gerçekleşmesine kadar geçen süre ise *tedarik süresi* olarak ifade edilmektedir. Tedarik süresinin uzunluğu tedarikçinin ihtiyaca cevap verme

yeteneği için bir ölçüt oluşturmaktadır (Muckstadt & Sapra, 2010). Siparişin veya üretim için kullanılacak araç-gereçlerin hazırlanması, sipariş edilen ürünlerin nakli, idari tedarik işlemleri ve sipariş kabul edilmeden önce teftiş için harcanan zaman tedarik süresini oluşturmaktadır (Axsater, 2006).

Tedarik süresi üzerine yapılan farklı varsayımlar ilgili işletme için elde bulundurulması gereken stok miktarının çeşitlilik göstermesine sebebiyet vermektedir. Bu doğrultuda, tedarik süresi belirli bir dağılıma sahip bir rassal değişken olabileceği gibi, belirli bir sabitte olabilir. Bu sabitin sıfır olarak kabul edilmesi, sipariş kararı verildiği vakit ihtiyaç duyulan envanterin temin edilmesi anlamına gelmektedir. Bu varsayım, gerçek hayat uygulamaları için pek gerçekçi olmamakla beraber, ilgilenilen envanter probleminin analitik olarak çok daha kolay analiz edilmesine imkan vermektedir. Bununla beraber, tedarik süresi dağılımının bilinmediği varsayımı da yapılabileceği gibi, kabul edilen bu varsayım problemi çok daha karmaşık bir hale getirecektir.

1.3.3.3 Stok Gözden Geçirme Sistemi

Envanter seviyesinin gözden geçirilmesi ile ilgili iki temel yaklaşım bulunmaktadır; (i) dönemsel gözden geçirme, (ii) sürekli gözden geçirme. Dönemsel gözden geçirme yaklaşımında belirli bir stok kalemine ait envanter seviyesi belirli zaman aralıkları ile takip edilmektedir. İlgili stok kalemine ait envanter kararları her bir dönemin başında verilmektedir. Dönemsel envanter sistemleri de kendi içerisinde tek ve çok dönemli envanter sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Örneğin, envanter seviyesini sadece Cuma günleri kontrol eden bir işletme çok dönemli bir envanter sistemini benimsemektedir. Çok dönemli envanter sistemlerine ait dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, işletmenin dönem boyunca elde bulundurması gereken stok miktarına ek olarak, tedarik süresi boyunca stoksuz kalmaması için de elde ilave stok bulundurması gerekliliğidir (Reid & Sanders, 2013).

Sürekli gözden geçirme yöntemi ise, envanter seviyesinin aralıksız olarak gözlendiği ve envanter kararlarının herhangi bir vakit verilebildiği envanter sistemlerinde söz konusu olan yaklaşımdır. Günümüzde sürekli envanter sistemini benimseyen işletmeler, barkod

sistemi vb. uygulamalarla envanterin her an gözlem altında tutulmasını hedeflemektedirler.

1.3.3.4 Ürün Sayısı

İşletmelerin envanter sistemlerinin analizi için kullanılan matematiksel modeller ilgilenilen ürün sayısına göre de farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda, tek bir ürün ile ilgileniliyorsa tek ürünlü envanter modelleri, birden fazla ürüne ait envanter planının belirlenmesi ile ilgileniliyorsa çok ürünlü envanter modelleri tercih edilmektedir. Çok ürünlü envanter modelleri tek ürünlü modellere kıyasla oldukça karmaşık bir yapıda olmaktadır.

1.3.3.5 Planlama Ufku

Envanter planları temel olarak işletmelerin gelecek dönemlerde karşılaşması muhtemel talep miktarı üzerine istatistikî tahmin yöntemleri yardımıyla yapılan tahminler göz önüne alınarak belirli bir süre için yapılmaktadır. Çok açıktır ki, bu süre ne kadar uzun tutulursa talep tahminleri ile gerçekleşen talep miktarı arasındaki fark artmaktadır. Bir diğer deyişle, belirsizliğin çok daha fazla olması sebebiyle, uzun bir dönem için yapılan envanter planlarında hata payı oldukça yüksek olmaktadır. Bu doğrultuda, işletmelerin envanter planlarının geçerliliği için uygun gördüğü süre *planlama ufku* olarak ifade edilmektedir.

Planlama ufku işletmenin içerisinde bulunduğu ortama göre envanter planının kapsayacağı sonlu bir süre olabileceği gibi, sonsuz da olabilmektedir. Bir diğer yaklaşım ise her bir dönem başında, geleceğe yönelik talep tahminleri göz önüne alınarak belirli sayıda dönemi kapsayan bir süre için envanter planı yapılmasıdır. Bu yaklaşım *hareketli planlama ufku* yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bu yaklaşıma göre, her bir dönem başında geçerli bir envanter planı yapılabilmesi adına belirli sayıda dönem için elde bulundurulmuş talep tahmininden fazlasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Ek olarak, kimi durumlarda, talep tahminleri zaman içerisinde değiştirilebilmektedir (Sethi & Sorger, 1991). Buna paralel olarak, envanter planları zaman içerisinde güncellenebilmektedir.

1.3.3.6 Kapasite Kısıtı

Tedarikçi işletme ile yapılan anlaşma gereği temin edilen ürün miktarının belirli bir adet ile sınırlandırılması, stok noktasında yeteri kadar alan bulunmaması sebebi ile sınırlı sayıda stok tedarik edilmesi veya bir üretim işletmesinde, üretim sürecinde kullanılan teçhizatın donanım kalitesi gereği belirli bir düzey üzerinde üretim yapamaması durumu gibi çeşitli sebepler, envanter planları oluşturulurken ilgili kapasite kısıtlarının envanter sistemini temsil eden matematiksel modellere dahil edilmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu gibi durumlarda kullanılan envanter modelleri *kapasite kısıtlı matematiksel modeller* olarak ifade edilmektedir.

1.3.3.7 Servis Düzeyi Kısıtı

İşletmelerin envanter yönetimi ile en düşük maliyetle en yüksek müşteri hizmet düzeyini yakalamayı amaçladıklarından daha önce bahsedilmişti. Bu doğrultuda, işletmeler memnun edilemeyen her bir müşteri için, bir diğer deyişle, karşılanamayan her bir talep için elde bulundurmama maliyetine katlanmak durumunda kalmaktadırlar. Buna rağmen, gerçek hayat uygulamalarında maliyet olarak stoksuz kalma durumuna karşılık gelen bir sayısal değer atamak oldukça zordur (Hadley & Whitin, 1963). Dolayısıyla, servis düzeyi kısıtları elde bulundurulmama maliyetine alternatif olarak matematiksel modellere dahil edilmektedir.

Stoksuz kalma maliyetini envanter modelleri dışarısında bırakan servis düzeyi yaklaşımları temel olarak α servis düzeyi ve β servis düzeyi olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir (Winston & Goldberg, 2004). α servis düzeyi, planlama ufku içerisinde yer alan her bir dönem için stoksuz kalmama olasılığı olarak tanımlanırken, β servis düzeyi, her bir dönem için stoktan karşılanan toplam talep sayısının toplam talep miktarına olan oranı olarak ifade edilmektedir (Rossi, Kilic, & Tarim, 2015). Servis düzeyi yaklaşımı kullanılarak toplam talebin en az belirli bir oranda karşılanmasını amaçlayan stok modellerinin oluşturulması hedeflenmektedir.

1.3.3.8 Stoklanan Ürünün Zamanla Değişimi

Geleneksel envanter modellerinin büyük bir kısmı elde bulundurulan envanterin zaman içerisinde değişim göstermediği varsayımını temel almaktadır. Halbuki belirli türdeki envanterler zaman içerisinde tamamen veya kısmen kullanım dışı kalmaktadır (Nahmias, 1982). Bu tür envanterler *dayanısız envanterler* olarak adlandırılmaktadırlar. Dayanısız envanterler genel olarak belirli bir raf ömrü süresince sabit fayda sağlayan fakat raf ömrü sonlanınca atıl duruma düşen *sınırlı ömre sahip envanterler* ve belirli bir raf ömründen ziyade yapıları gereği zamanla belirli bir oranda miktarca kayıp yaşayan *azalan envanterler* olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. (Deniz, 2007). Gıda ürünleri, kan hücreleri ve fotoğraf filmleri sınırlı ömürlü envantere örnek teşkil ederken, alkol ve gaz gibi envanterler azalan envantere örnek olarak verilebilmektedir (Nahmias, 2011).

2 ENVANTER KONTROL POLİTİKALARI

Envanter yönetimi temel olarak siparişin/üretim *ne zaman* verileceği/yapılacağı ve *ne miktarda* olacağı soruları ile ilgilenmektedir. Başarılı bir envanter yönetimi uygulaması bu iki soruya verilen cevapların en düşük envanter maliyeti ve en yüksek müşteri hizmet düzeyine yaklaşan sonuçlar vermesiyle oluşmaktadır. Bununla birlikte, ilgili iki temel soruya ilişkin cevapların bir araya getirilmesiyle elde edilen kararlar dizini envanter kontrol politikası olarak ifade edilmektedir (Wensing, 2011). İşletmenin içerisinde bulunduğu ortama göre sipariş/üretim zamanı ve miktarı kararları farklılık göstermekte olduğu için, envanter politikaları da birbirlerinden temsil edilen envanter sisteminin karakteristik özelliklerine göre ayrılmaktadır. Bu doğrultuda, ne zaman sorusu iki farklı şekilde yanıtlanmaktadır. İlk yanıtta göre, stok düzeyinin belirli bir seviyeye inmesi veya bu seviyenin altına düşmesi durumunda, diğerine göre ise önceden belirlenmiş aralıklarla sipariş verilmelidir/üretim yapılmalıdır. Benzer şekilde, sipariş/üretim miktarına ait karar, belirli sabit bir miktar veya envanter düzeyini önceden belirlenmiş bir seviyeye çıkaracak büyüklükte sipariş verilmelidir/üretim yapılmalıdır.

Envanter kontrol politikaları yüksek bütçe gerektiren ve bilgisayar sistemleri tarafından desteklenen karmaşık matematiksel modeller neticesinde elde edilebileceği gibi, kurum içi çalışan personel tarafından uygulanan basit bir sistem sonucu da oluşturabilmektedir (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2010). Bu bağlamda, her işletme varoluş amacı, ilgilenilen envanter tipine ve büyüklüğüne göre bir envanter politikasını benimsemektedir (Kobu, 1998). Bu başlık altında, stokastik talep altında envanter politikaları, basit politikalar ve temel politikalar olarak iki ayrı başlık altında incelenecektir.

2.1 BASİT ENVANTER POLİTİKALARI

Basit envanter politikaları çoğu zaman küçük ölçekli işletmeler tarafından birim değeri düşük, küçük hacimli ve çok sayıda elde bulunduran stok kalemlerinin kontrolünde kullanılmaktadır (Kobu, 1998). Genel olarak, çift kutu yöntemi ve gözle kontrol yöntemi olarak sınıflandırılmaktadırlar.

- **Çift Kutu Yöntemi:** Bu yöntemde göre elde bulundurulan envanter iki kutu içerisinde muhafaza edilmektedir. İlgili kutulardan ilk kutu beklenen talebe karşılık gelecek düzeyde envanteri kapsarken, diğer kutuda tedarik süresince oluşacak talebi karşılamak üzere envanter bulundurulmaktadır. Bu doğrultuda, ilk kutuda envanterin tükenmesi, yeniden sipariş işlemi için vaktin geldiğini göstermektedir. Çift kutu yöntemi ile yürütülen envanter politikasına göre, her bir kutuda bulunacak envanter miktarı çalışan personelin tecrübesi ve kişisel yargısına göre belirlenmektedir. (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2010).
- **Gözle Kontrol Yöntemi:** Bu yöntemde de envanter miktarı belirli bir seviyeye ulaştığı an derhal tedarik işlemi için gerekli işlemler başlatılmaktadır. Çift kutu yönteminde olduğu gibi sipariş verme seviyesinin belirlenmesi tamamen bir ambar memurunun tecrübesi ve kişisel yargısına dayanmaktadır. Basit ve oldukça ucuz bir envanter politikası olmakla beraber şahsi bir görüşü temel aldığından birçok dezavantajı beraberinde getirmektedir (Kobu, 1998).

2.2 GELENEKSEL ENVANTER POLİTİKALARI

Envanter yönetiminin temel sorularına matematiksel modeller önderliğinde cevaplar üreten politikalar içerisinde yaygın olarak kullanılan dört politika öne çıkmaktadır (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Bu politikalarda yer alan parametreler,

- s : Yeniden sipariş veya üretim düzeyi.
- Q : Sipariş veya üretim miktarı
- S : Envanter seviyesinin yükseltileceği sipariş veya üretim yükseltme düzeyi
- R : sipariş veya üretim aralığı

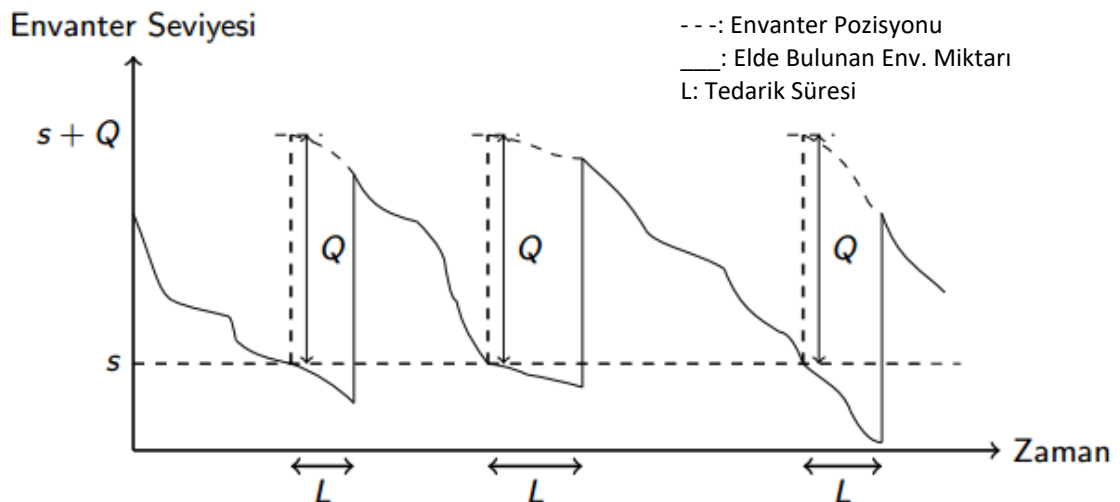
olarak ifade edilmektedirler.

2.2.1.1 (s, Q) Envanter Politikası

Envanter miktarının önceden belirlenmiş bir yeniden sipariş/üretim düzeyine (s) veya daha altına düşmesi durumunda sabit bir miktar (Q) sipariş verilmesi/üretim yapılmasını öneren politika (s, Q) tipi envanter politikası olmak üzere tanımlanmaktadır. Bu

politikaya göre, stok düzeyi sabit bir Q miktarı kadar sipariş verilmesine rağmen yeniden sipariş düzeyinin (s) altında kalıyor ise, yeniden sipariş düzeyini aşmak üzere Q değerinden daha yüksek bir miktar sipariş verilmelidir. Bu doğrultuda, ilgili politika kimi zaman (s, nQ) politikası olarak da adlandırılmaktadır (Axsater, 2006). (s, Q) politikasına ait bir uygulama örneği aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 2.1 (s, Q) Politikası

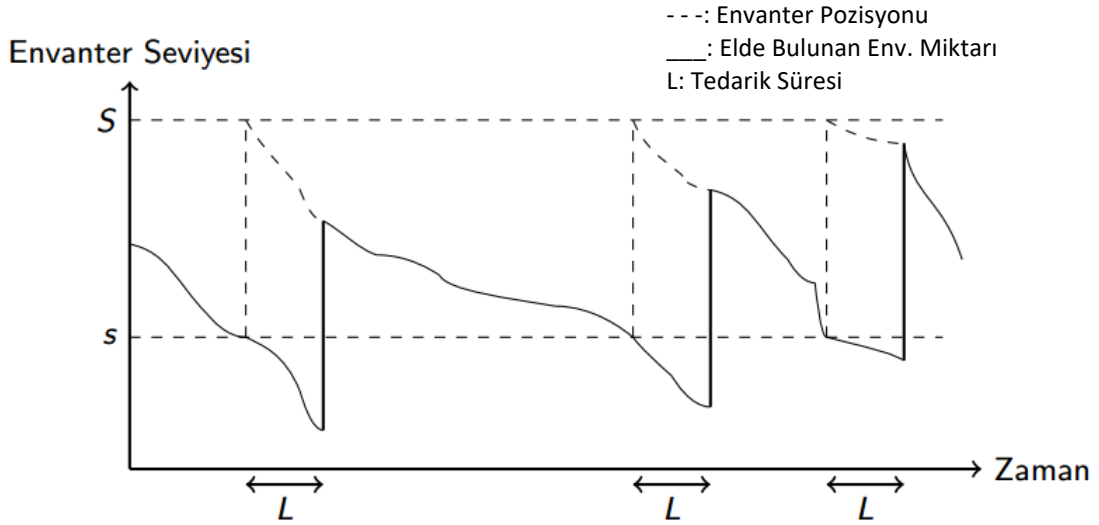


(s, Q) tipi envanter politikası çift kutu yönteminin bilgisayar destekli sistemler ve matematiksel modeller kullanılarak çok daha ileri düzeye taşınmış bir çeşidi olarak yorumlanabilir. Dolayısıyla uygulama açısından çift kutu yöntemi gibi oldukça basittir.

2.2.1.2 (s, S) Envanter Politikası

(s, S) politikası yukarıda bahsedilen (s, Q) politikasına oldukça benzemektedir. Bu politikaya göre de envanter miktarı önceden belirlenmiş bir sipariş/üretim düzeyine veya daha altına düştüğünde sipariş verilmesi/üretim yapılması öngörülmektedir. (s, S) politikasını (s, Q) politikasından ayırtıran husus envanterin hangi düzeye yükseltilmesi gerektiği kararıdır. (s, S) politikasına göre sipariş/üretim durumunda, envanter miktarı daha önceden belirlenmiş S düzeyine kadar yükseltilmelidir. Bir diğer deyişle, (s, Q) politikasının aksine (s, S) politikasını benimseyen bir işletmede sipariş/üretim miktarı Q değişkenlik gösterebilmektedir. (s, S) politikasına ait bir uygulama örneği aşağıda gösterilmektedir.

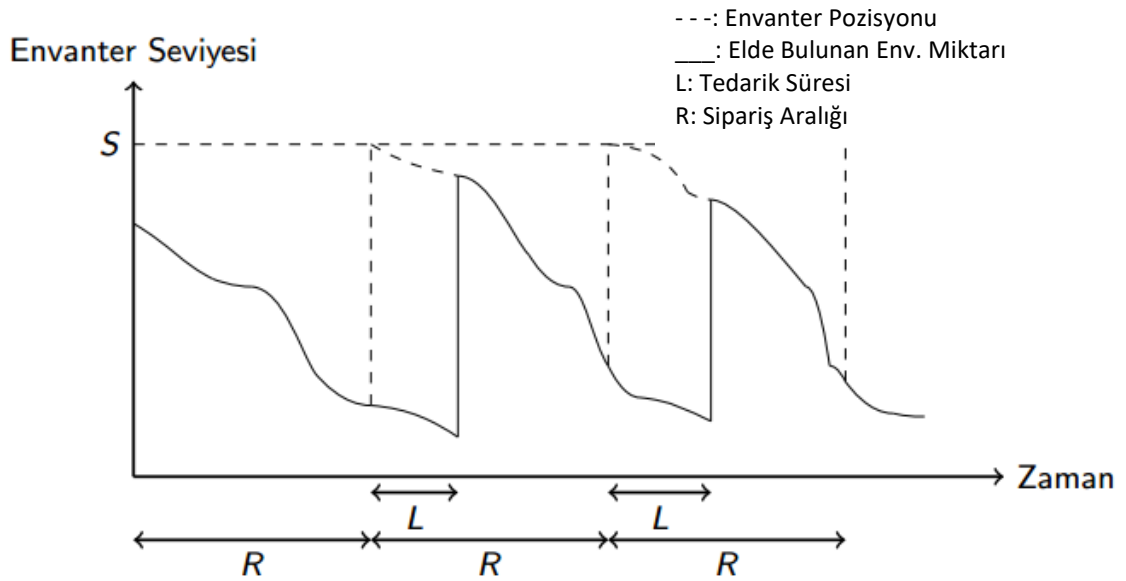
Şekil 2.2 (s,S) Politikası



Talebin birimler halinde olduğu varsayımı altında, bahsi geçen iki sistem farksız hale gelmektedir. Bu varsayım doğrultusunda, her bir politika yeniden sipariş veya üretim kararını envanter düzeyi tam olarak s seviyesine geldiğinde verecek ve $S = s + Q$ özelliğine sahip olacaktır. Talebin partiler halinde geldiği varsayımı altında ise, yeniden sipariş verildiği andaki envanter miktarı talep büyüklüklerine göre farklılık göstereceğinden iki politika birbirlerinden farklılaşmaktadır (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Örneğin, talebin bir birimden fazla geldiği bir durumda, envanter miktarı aniden $s - q$ düzeyine alçalmış olsun. Bu durumda (s, S) politikasına göre sipariş büyüklüğü $S - s + q$ kadar olmaktadır, (s, Q) politikasına göre Q düzeyinde olmaktadır.

2.2.1.3 (R, S) Envanter Politikası

(R, S) tipi envanter politikasına göre tedarik/üretim kararları önceden belirlenmiş R birim zaman aralığıyla verilmektedir. Bu doğrultuda, her R birim zamanlık aralığın takibinde stok düzeyi kontrol edilir. Envanterin kontrol edildiği dönem *tedarik/üretim dönemi* olarak adlandırılmaktadır. Eğer stok düzeyi sipariş/üretim yükseltme düzeyi S değerinin altında ise, envanter düzeyini S düzeyine çıkartacak kadar sipariş verilir. Aksi durumda ise sipariş verme/üretim yapma gereği duyulmadan devam edilir. İlgili politikaya ait uygulama örneği aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 2.3 (R, S) Politikası

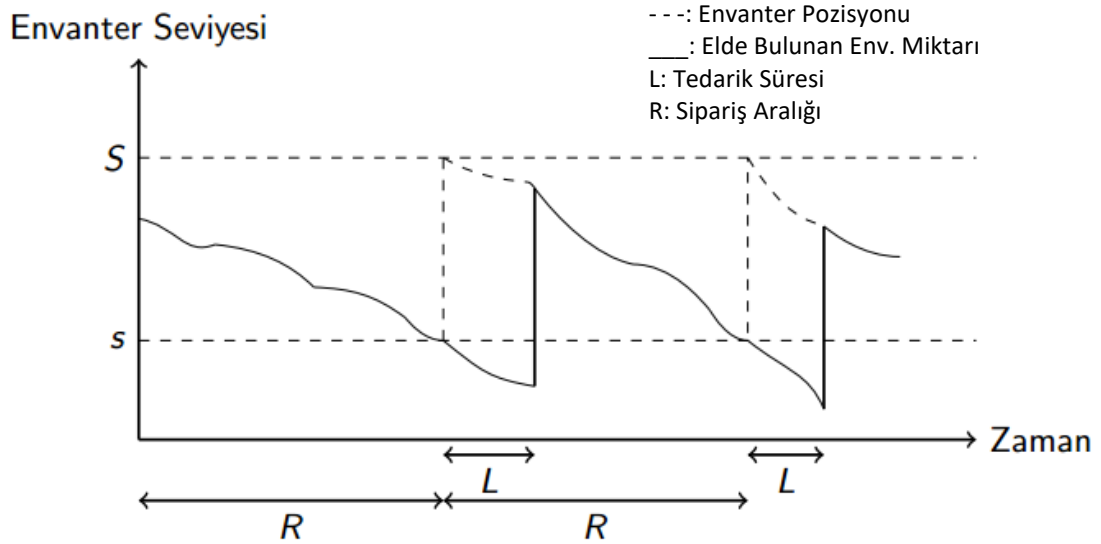
(R, S) politikasında yer alan sipariş/üretim yükseltme düzeyi, bir sonraki tedarik/üretim dönemine kadar olan süre R ve tedarik süresi L boyunca stoksuz kalma ihtimaline karşı koruma olacak düzeyde belirlenmektedir. (s, Q) politikasında ise aynı sebep göz önünde bulundurularak yeniden sipariş düzeyi s belirlenmektedir. Bu açıdan (R, S) ve (s, Q) politikaları birbirleriyle benzerlik göstermektedir (Jensen & Bard, 2003). (s, Q) politikasının (s, S) politikasına benzerliğinden Başlık 2.2.1.2’de bahsedilmişti. Dolayısıyla, (R, S) politikası, sipariş/üretim yükseltme düzeyinin belirlenmesi açısından (s, S) politikasına da benzerlik göstermektedir. Bunun yanında, (R, S) politikası işletmelere hangi dönemlerde sipariş verilmesi/üretim yapılması bilgisini planlama ufku başında sağlamaktadır. Bu özelliğiyle, yukarıda bahsedilen temel envanter politikalarına karşı avantajlı bir pozisyonda iken, yüksek elde bulundurma maliyetleri sebebiyle daha yüksek envanter maliyetlerine sahip olması, söz konusu politikanın en büyük sıkıntısı olarak görülmektedir (Silver, Pyke, & Peterson, 1998).

2.2.1.4 (R, s, S) Envanter Politikası

(R, s, S) politikasına göre envanter kontrolü (R, S) politikasında olduğu gibi her R dönemde yapılırken, tedarik/üretim miktarına ilişkin kararlar (s, S) politikası kuralları gereği verilmektedir. Bu doğrultuda, ilgilenilen dönem tedarik/üretim dönemi ise ve

yeniden sipariş düzeyine eşit veya altında ise S düzeyine kadar sipariş verilir. Aksi durumda ise tedarik/üretim emri verilmez. Özetlemek gerekirse, (R, s, S) politikası (s, S) ve (R, S) politikalarının bir kombinasyonu olarak düşünülmektedir (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). (R, s, S) politikasına ait uygulama örneği aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 2.4 (R, s, S) Politikası



2.3 ENVANTER MODELLERİ

Bu başlık altında, bu tez çalışmasına ilişkin literatürde çokça faydalanılan ve stokastik talep varsayımını kabul eden Gazeteci Çocuk, Durağan Olmayan (s, S) Modelleri ve çalışmamız kapsamında kullanılacak olan Durağan Olmayan (R, S) Envanter Modeli hakkında bilgi verilecektir.

Söz konusu stokastik modeller üzerine bilgi verilmesinden önce bu modeller için yapıtaşları olarak kabul edilen deterministik modellere kısaca değinmek faydalı görülmektedir. Bu doğrultuda, ilk olarak Ekonomik Sipariş Modeli ele alınmaktadır. Harris (1915) tarafından öne sürülen ve stok kontrol modelleri arasında en basit yapıda olan ekonomik sipariş modeli, envanter kontrolü literatürünün en önemli analizi olarak kabul edilmektedir (Waters, 2008). Ekonomik sipariş miktarı modeli, deterministik talep varsayımı altında, elde bulundurma maliyeti ile sabit sipariş/üretim maliyeti arasındaki dengeyi sağlayacak en uygun sipariş/üretim miktarının belirlenmesini hedeflemektedir. Ancak Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli talebin zaman içerisinde değişen bir yapıya

sahip olması durumunda optimallik özelliğini yitirmektedir (Wagner & Whitin, 1958). Bu doğrultuda, Wagner ve Whitin (1958), her bir dönem için sipariş/kurulum ve elde bulundurma maliyetleri toplamını minimize etmeyi hedefleyen bir dinamik parti büyüklüğü algoritması önermişlerdir (Taha, 2010). Bu algoritma dinamik programlama modelini temel almaktadır ve literatürde Wagner-Whitin Dinamik Parti Büyüklüğü Algoritması olarak adlandırılmaktadır. Toplam maliyeti minimum düzeye indiren optimal dinamik parti büyüklüklerinin hesaplanmasına imkan vermesine rağmen uygulamada pek kabul görmemektedir. Algoritmanın ilgi görmemesinin başlıca sebebi, sahip olduğu karmaşık yapısı nedeniyle kullanıcılar tarafından anlaşılmasının güç olmasıdır (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Bu doğrultuda, ilgili problem için, Silver ve Meal (1973) Wagner Whitin algoritmasına alternatif teşkil eden ve optimal envanter planına yakın sonuçlar veren çok daha basit yapıda bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir.

Yukarıda tanıtılan envanter modellerinin tümü deterministik talep varsayımı altında optimal envanter kararlarının verilmesiyle ilgilenmektedir. Bu tez çalışmasında oluşturulacak matematiksel model ise stokastik talep varsayımını kabul etmektedir. Bu doğrultuda, ilgili literatüre ve tez çalışmasında incelenen probleme temel oluşturması açısından, bu bölümün geri kalan kısmında stokastik envanter modelleri ele alınacaktır.

2.3.1 Gazeteci Çocuk Modeli

Tek bir dönem uzunluğunda ömre sahip stok kalemlerine ait dönem boyunca meydana gelecek olasılıksal talebi karşılamak üzere, en uygun sipariş miktarı kararının verilmesi problemi gazeteci çocuk veya yılbaşı ağacı problemi olarak adlandırılmaktadır (Hadley & Whitin, 1963). Bir diğer deyişle, ilgili model kısa bir süre aralığıyla belirli bir talebe sahip olan fakat bir zaman sonra modası geçen (gazeteler), bozulan (gıda ürünleri) veya uzun bir süre ile talebe sahip olmayan (yılbaşı kartları) mamullere ait envanter sürecini tanımlamaktadır (Johnson & Montgomery, 1974). Problem aşağıda yer alan varsayımlar altında modellenmektedir.

- Sipariş/üretim kararı sadece bir kereye mahsus olmak üzere dönem başında gerçekleştirilmektedir.
- Siparişe ait sabit bir maliyete katlanılmamaktadır.

- Sipariş kararı verildiği vakit tedarik işlemi derhal yapılmaktadır. .
- Talep rassal bir değişkendir ve bilinen bir dağılıma sahiptir.

Gazete bayisi sahibi bir kişiye ait envanter kararları ele alınıyor olsun. Her bir gazete dönem başında birim başına c maliyete katlanarak temin edilmektedir. Dönem içerisinde gerçekleşen talep, $f(\lambda)$ dağılım fonksiyonuna ve $F(\lambda)$ birikim fonksiyonuna sahip λ gibi bir rassal değişkenle ifade edilmektedir. Talebin gerçekleşmesiyle birlikte dönem sonunda elde kalan envanter başına c_o gibi bir birim maliyete katlanılmaktadır. Benzer şekilde, talebin başlangıç envanter düzeyinden yüksek olarak gerçekleşmesi durumunda karşılanamayan her bir talep için c_u birim maliyete maruz kalınmaktadır. Böylelikle, ilgili problem beklenen maliyeti minimize edecek dönem başı optimum sipariş miktarlarının belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen model yapısı çerçevesinde, dönem başında elde bulundurma ve stoksuz kalma maliyetlerinin toplamını minimize eden optimal sipariş miktarı, Q^* , tedarik edilmiş olsun. Bu bağlamda, eğer dönem boyunca gerçekleşen talep miktarı λ dönem başında satışa hazır halde bulunan envanter miktarından büyük veya eşit ise, dönem boyunca toplamda Q^* miktarda talep karşılanmakta ve karşılanamayan envanter miktarı $\lambda - Q^*$ kadar olmaktadır. $\lambda < Q^*$ koşulunu sağlayan durumda ise, dönem boyunca λ kadar talep karşılanmakta ve dönem sonunda elde kalan stok miktarı $Q^* - \lambda$ seviyesinde olmaktadır. Dolayısıyla, dönem sonunda beklenen maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$TC(Q, \lambda) = cQ + c_o \max(0, Q - \lambda) + c_u \max(0, \lambda - Q) \quad (3)$$

$$= cQ + c_o \int_0^Q (Q - \lambda)f(\lambda)d\lambda + c_u \int_Q^\infty (\lambda - Q)f(\lambda)d\lambda \quad (4)$$

(4) no'lu eşitliği minimize eden sipariş miktarı ise $\frac{dTC(Q, \lambda)}{dQ} = 0$ eşitliğinin çözüme kavuşturulmasıyla elde edilmektedir. Böylelikle, optimum sipariş miktarını veren formülasyon şu şekilde elde edilmektedir.

$$TC(Q, \lambda)' = c + c_o \int_0^Q f(\lambda)d\lambda - c_u \int_Q^\infty f(\lambda)d\lambda = 0 \quad (5)$$

$$= c + c_o F(Q) - c_u (1 - F(Q)) = 0 \quad (6)$$

$$F(Q^*) = \frac{c_u - c}{c_o + c_u} \quad (7)$$

Daha önce de belirtildiği üzere, talebe ait birikim fonksiyonu $F(\lambda)$ olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla, (7) no'lu eşitlikte yer alan $F(Q^*)$ ifadesi talebin optimal sipariş miktarına eşit veya daha düşük bir düzeyde gerçekleşmesi olasılığını tanımlamaktadır. İlgili eşitliğin sağ tarafı ise kritik oran olarak adlandırılmaktadır (Taha, 2010). Açık olarak görülmektedir ki, optimal sipariş miktarının saptanması sadece $c_u \geq c$ koşulu sağlandığında mümkün olmaktadır.

Aşağıda ise beklenen maliyet fonksiyonun ikinci türevine yer verilmektedir. Eşitlik (8)'den de anlaşılacağı üzere Q^* değerinin saptanmasıyla ilgilenilen fonksiyona ait bir global minimum noktası bulunmaktadır. Bir diğer deyişle, fonksiyon konveks bir yapıdadır.

$$TC(Q, \lambda)'' = (c_u + c_o)f(Q) > 0, \quad Q > 0 \text{ için} \quad (8)$$

Sonuç olarak, gazeteci çocuk modeli başlangıç envanter düzeyi (I_0) 0 olarak kabul edilirse, Q^* kadar sipariş verilmesini önermektedir. Başlangıç envanter düzeyinin 0'dan farklı olması durumunda ise optimal stok kontrol politikası aşağıdaki gibi olmaktadır (Johnson & Montgomery, 1974).

$$\begin{cases} (Q^* - I_0) \text{ kadar sipariş ver,} & \text{eğer } Q^* > I_0 \\ \text{sipariş verme,} & \text{eğer } Q^* \leq I_0 \end{cases} \quad (9)$$

2.3.2 Durağan Olmayan (s, S) Envanter Modeli

Zaman içerisinde değişkenlik gösteren olasılıksal talep yapısı altında ve elde bulundurma maliyeti ile stoksuz kalma maliyetinin doğrusal bir ilişki içerisinde olması durumunda optimal bir politikanın varlığı Scarf (1959) tarafından ispatlanmıştır. Scarf (1959)'ın çalışmasına göre, ilgilenilen her bir dönem için optimal olan bu politika her zaman (s, S) tipi bir envanter politikasıdır. Bu alt başlıkta ilgili çalışma tanıtılacaktır.

Scarf'ın modeline göre, siparişlerin sadece dönem başlarında verildiği ve derhal temin edildiği varsayılmaktadır. Dolayısıyla, her dönem başında sipariş miktarına bağlı olarak bir satın alma veya sipariş maliyeti oluşmaktadır. Sipariş miktarının z düzeyinde olduğu düşünüldüğünde, ilgili döneme ait satın alma/sipariş maliyeti $c(z)$ gibi bir fonksiyonla ifade edilmektedir. Dönem başında katlanılan maliyete ek olarak, dönem sonlarında oluşan iki ayrı maliyetten söz edilebilir. Bunlar, dönem içerisinde gerçekleşen tüm talebin karşılanması durumunda dönem sonunda elde kalan envanter miktarına bağlı bir fonksiyon olan $h(\cdot)$ ve dönem boyunca karşılanamayan talep miktarının fonksiyonu olan $p(\cdot)$ ile matematiksel olarak ifade edilmektedirler. Bununla beraber, karşılanamayan talebin, söz konusu envanter temin edildiği vakit, gecikmeli olarak teslim edildiği varsayılmaktadır.

Herhangi bir dönem için talebe ait olasılık yoğunluk fonksiyonu φ ile ifade edilmektedir. Böylelikle, dönem başında envanter pozisyonunun, verilen siparişlerin temin edilmesiyle y seviyesine yükseltilmesi neticesinde, söz konusu dönemde oluşan elde bulundurma ve stoksuz kalma maliyetlerinin beklenen değeri (10) no'lu eşitlikte gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$L(y) = \begin{cases} \int_0^y h(y - \varepsilon)\varphi(\varepsilon)d\varepsilon - \int_y^\infty p(\varepsilon - y)\varphi(\varepsilon)d\varepsilon & y \geq 0, \\ \int_0^\infty p(\varepsilon - y)\varphi(\varepsilon)d\varepsilon & y < 0. \end{cases} \quad (10)$$

İlgilenilen envanter probleminin n dönemlik bir zaman dilimini kapsadığı ve planlama ufku başlangıç stok düzeyinin x adet olduğu varsayımları altında, n dönem boyunca oluşan beklenen indirgenmiş değerleri aşağıdaki gibi bir $C_n(x)$ dinamik programlama formülasyonu ile tanımlanmaktadır. İndirgeme faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir ve α ile gösterilmektedir.

$$C_n(x) = \min_{y \geq x} \{c(y - x) + L(y) + \alpha \int_0^\infty C_{n-1}(y - \varepsilon)\varphi(\varepsilon)d\varepsilon\} \quad (11)$$

Eşitlik (11)'da yer alan eşitliği minimize eden sipariş/satın alma sonrası envanter düzeyinin, x 'e bağlı bir fonksiyon $y_n(x)$ olarak tanımlanması halinde, optimal başlangıç sipariş miktarı $y_n(x) - x$ değeri ile ifade edilmektedir.

Planlama ufkunun sadece tek bir dönemi kapsamaması ve sipariş/kurulum maliyetinin $c(z) = cz$ şeklinde doğrusal bir yapıya sahip olması halinde, optimal politika, \bar{x} gibi bir kritik sipariş noktası ile tanımlanmaktadır. Bu politikaya göre, başlangıç envanter düzeyi x olmak üzere, eğer $x < \bar{x}$ ise $\bar{x} - x$ kadar sipariş verilmekte, aksi durumda ise sipariş/satın alma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Çok dönemli problemler için de benzer bir politika geçerli olmaktadır. Bu politikaya göre ise, her bir dönem için farklı $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ kritik değerleri belirlenmekte ve sipariş kararı ilgili döneme ait kritik sipariş noktaları göz önünde bulundurularak verilmektedir. Elde bulundurma ve bulundurmama maliyetlerinin orijinde 0 değeri alan, konveks ve artan fonksiyonlar olması ile $L(y)$ fonksiyonu konveks bir yapıya bürünmektedir ve ancak bu şekilde geçerli kritik sipariş noktası değerleri elde edilebilmektedir.

Sipariş/kurulum maliyetinin doğrusal olmadığı durumlarda ise model çok daha karmaşık bir yapıdadır. Doğrusal olmayan bir sipariş/kurulum maliyetinin en basit hali (12) no'lu eşitlikte yer almaktadır. Söz konusu eşitlikte sabit ve değişken maliyet sırasıyla, K ve c gibi sabit değerlerle ifade edilmektedir.

$$c(z) = \begin{cases} 0 & z = 0, \\ K + cz & z > 0. \end{cases} \quad (12)$$

Sipariş/kurulum maliyetinin (12) no'lu eşitlikteki gibi doğrusal olmayan bir yapıya ve tek dönemli bir planlama ufkuna sahip bir model için optimal politika çoğu zaman (s, S) tipi bir politika olmaktadır. Bu politika, dönem başı envanter düzeyi x olmak üzere, eğer $x < s$ ise $S - x$ düzeyinde sipariş verilmesini, aksi durumda ise herhangi bir sipariş işlemi yapılmamasını önermektedir. Bu tip bir politikanın optimal olmadığını gösteren örnekler olsa da, elde bulundurma ve bulundurmama fonksiyonlarının Eşitlik (13) ve (14)'da gösterildiği gibi doğrusal bir yapıda olması halinde veya bir diğer deyişle, (10) no'lu eşitlikte yer alan fonksiyonun konveks bir yapıda olması halinde tek dönemli bir envanter modeli için optimal politika (s, S) envanter politikasıdır.

$$h(u) = hu \quad (13)$$

$$p(u) = pu \quad (14)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, elde bulundurma maliyeti h , stoksuz kalma maliyeti p ve ilgilenilen miktar u ile ifade edilmektedir.

Maliyet fonksiyonlarının (13) ve (14) no'lu eşitliklerdeki gibi bir yapıda olması durumunda ve talebin zaman içerisinde değişkenlik gösterdiği varsayımı altında, her bir dönem için, optimal politikanın her bir dönem için, ek bir koşula ihtiyaç duyulmadan ve her zaman (s, S) tipi olduğu Scarf (1959) tarafından ispatlanmıştır. Söz konusu politikanın her zaman ve ek bir koşula ihtiyaç duyulmadan optimal sonucu vermesi, aşağıda yer alan maliyet fonksiyonunu temel almasından kaynaklanmaktadır.

$$G_n(y) = cy + L(y) + \alpha \int_0^{\infty} C_{n-1}(y - \varepsilon) \varphi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (15)$$

Dönem başı envanter düzeyi x olarak tanımlanıyor olsun. Bu bağlamda, sipariş verme kararı ancak $G_n(x) > K + G_n(y)$ koşulunu sağlayan x 'den büyük bir y değeri var ise optimal bir karar olmaktadır. İlgili koşulları ise ancak $G_n(y)$ fonksiyonunu minimize eden bir y değeri sağlamaktadır ve bu değer envanter seviyesinin yükseltileceği sipariş veya üretim yükseltme düzeyi S_n olarak tanımlanmaktadır. Yeniden sipariş noktası s_n ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$G_n(s_n) = G_n(S_n) + K \quad (16)$$

(31) no'lu eşitliği sağlayan kritik değerlerin saptanmasıyla optimal (s_n, S_n) politikası elde edilmektedir. Buna rağmen, G_n fonksiyonu birçok minimum ve maksimum noktasına sahip olabilmektedir. Scarf (1959), G_n fonksiyonunda yer alan salınımların, optimal (s, S) politikası parametrelerinden sapmalara yol açacak büyüklükte olamayacaklarını ispatlamıştır.

Tanım: $K \geq 0$ ve $f(x)$ türevlenebilir bir fonksiyon olmak üzere, aşağıdaki eşitsizliği sağlayan $f(x)$ fonksiyonu K-konveks bir yapıdadır (Scarf, 1959).

$$K + f(a + x) - f(x) - af'(x) \geq 0, \quad a > 0 \text{ ve } \forall x \text{ için} \quad (17)$$

K-konveks yapıya sahip bir fonksiyon birçok özelliğe sahiptir. Scarf (1959), çalışmasında K-konveksliğe ait ve aşağıda belirtilen bazı basit özelliklerinden yararlanmaktadır.

- 0 konvekslik, sıradan bir konveksliğe denktir.
- Eğer $f(x)$ konveks ise, bütün h değerleri için, $f(x+h)$ fonksiyonu da K-konveks yapıdadır.
- Eğer f ve g sırasıyla K-konveks ve M-konveks ise, α ve β 0'dan büyük olmak üzere, $\alpha f + \beta g$, $(\alpha K + \beta M)$ -konvektir.

Böylece, $L(y)$ fonksiyonunun K-konveks bir yapıda olması halinde, aşağıdaki eşitsizliğin sağlanıyor olması gerekmektedir.

$$K + G_n(a+x) - G_n(x) - aG'_n(x) \geq 0 \quad (18)$$

(18) no'lu eşitsizliğin ispatlanabilmesi için öncelikle, her bir $G_1(x), G_2(x), \dots$ fonksiyonunun K-konveks yapıda olduğunun gösterilmesi gerekmektedir. $G_1(x)$ fonksiyonu (15) no'lu eşitlikten görüleceği üzere $cx + L(x)$ değerine eşittir. Bu yüzden, 0-konveks ve dolayısıyla, K-konvektir. Yukarıda verilen K-konvekslik özelliklerinden yola çıkarak, $C_n(x)$ 'in K-konveks olduğunun gösterimi, $G_{n+1}(x)$ fonksiyonunun K-konveks olduğunun ispatı için yeterli olmaktadır.

$G_n(x)$ fonksiyonunun K-konveks olması halinde, n dönemli bir envanter problemi için optimal politika (s, S) tipi olmaktadır. Bu doğrultuda, eğer S_n , $G_n(x)$ fonksiyonunu minimize eden nokta ve s_n , $x < S_n$ olmak üzere, $K + G_n(S_n) = G_n(s_n)$ eşitliğini sağlayan nokta olarak tanımlanıyor ise, optimal politika, eğer $x < s_n$ ise S_n düzeyine kadar sipariş vermek, aksi halde sipariş vermemek olmaktadır.

Dolayısıyla, $C_n(x)$ 'in K-konveksliği aşağıdaki eşitlik kullanılarak ispatlanmaktadır. Bu bağlamda, (17) no'lu eşitlik için geçerli olan notasyon kullanılarak, üç değişik durum ele alınmaktadır.

$$C_n(x) = \begin{cases} K + c(S_n - x) + C_n(S_n) = K - cx + G_n(S_n) & x < S_n, \\ -cx + G_n(x) & x > S_n. \end{cases} \quad (19)$$

Durum 1: $x > s_n$

Bu durumda, $C_n(x)$ doğrusal bir fonksiyon ile K-konveks bir fonksiyonun toplamına eşittir ve dolayısıyla, K-konvektir.

Durum 2: $x < s_n < x + a$

Bu durumda, $C_n(x)$ fonksiyonunun pozitif olması gerekmektedir.

$$K + C_n(x + a) - C_n(x) - aC'_n(x) \geq 0 \quad (20a)$$

$$K + C_n(x + a) - C_n(x) + ac \geq 0 \quad (20b)$$

$$G_n(x + a) - G_n(s_n) \geq 0 \quad (20c)$$

$G_n(x)$ fonksiyonunu minimize eden x değerinin S_n olduğu bilindiğine göre, yukarıdaki ifadenin sağlandığı oldukça açıktır.

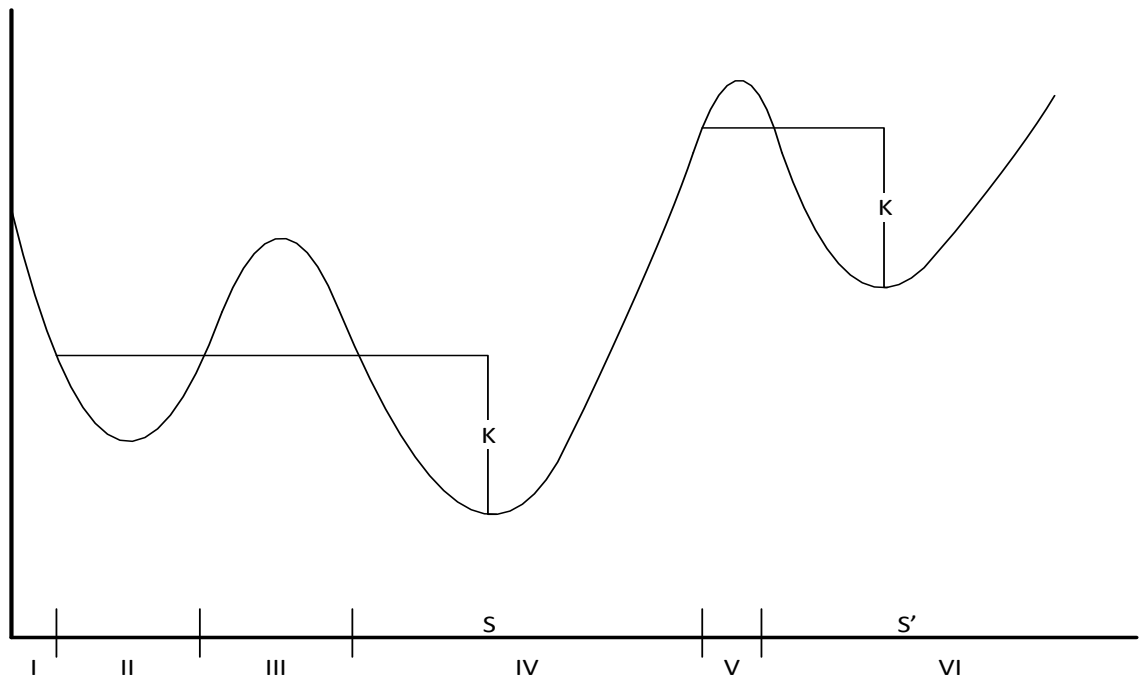
Durum 3: $x + a < s_n$

Bu durumda, $C_n(x)$ doğrusal bir fonksiyondur ve bu yüzden, K-konvektir.

Olası üç durumun da incelenmesiyle C_n ve G_n fonksiyonlarının K-konveks oldukları ispatlanmaktadır. Buradan yola çıkarak, her bir dönem için optimal politikanın (s, S) tipi olduğu ispatı yapılmış olmaktadır.

(18) no'lu eşitsizlik, optimal politikanın (s, S) tipi olduğu vurgusunu yapmaktadır. Bu çerçevede, aşağıdaki grafikte olağan bir duruma kıyasla daha karmaşık politikaların beklendiği bir örnek üzerinden $G_n(x)$ salınımları gösterilmektedir.

Şekil 2.5 $G_n(x)$ Fonksiyonu Salınımları



Şekil 2.5'te verilen grafik incelendiğinde görülmektedir ki, her bir dönem için uygulanması gereken sipariş kararları şu şekilde olmaktadır; I aralığında S noktasına kadar sipariş verilmeli, II aralığında herhangi sipariş yer almamalı, III aralığında S düzeyine kadar sipariş verilmeli, IV aralığında sipariş verilmemeli, V aralığında S' düzeyine kadar sipariş verilmeli ve VI aralığında sipariş verilmemelidir. Bununla beraber, (18) no'lu eşitsizliğe göre böyle bir durum olası değildir. Şöyle ki, III numaralı aralığa ait yerel minimum noktası x ve $x + a = S$ olsun. Bu durumda, $G'_n(x) = 0$ olmaktadır ve (18) no'lu eşitsizliğe göre, aşağıdaki eşitsizlik sağlanmak durumundadır.

$$K + G_n(S) - G_n(x) \geq 0 \quad (21)$$

(21) no'lu eşitsizlik Şekil 2.5 ile çelişmektedir ve optimal politika (s, S) politikasından farklı bir politika olmaktadır. Bunun sebebi, Şekil 2.5'te yer alan salınımların K değerini aşmasıdır. Hâlbuki ilgili eşitsizliğe göre salınımlar arasında meydana gelen fark K değerinden büyük olmamalıdır. Dolayısıyla, G_n K-konveks bir yapıda olduğu müddetçe salınımlar K değerinden büyük olamayacak ve (13) ve (14) no'lu eşitliklerde yer alan maliyet fonksiyonlarıyla, optimal politika her dönem için (s, S) tipi olacaktır. S' noktası için de aynı mantık geçerli olmaktadır.

2.3.3 Durağan Olmayan (R, S) Envanter Modeli

Tarim & Kingsman (2006) tarafından ortaya konulan çalışmada, talebe ait olasılık dağılım fonksiyonunun zaman içerisinde değişim gösterdiği varsayımı altında, (R, S) politikasına ilişkin optimal parametre değerlerinin elde edilmesine yönelik karışık tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Böylelikle, öne sürülen envanter modeli ile planlama ufku başında toplam beklenen maliyeti minimize etmek üzere, eşit olma zorunluluğu bulunmayan tedarik aralıkları (R^n) ve her bir tedarik dönemine ilişkin sipariş yükseltme düzeylerinin (S^n) belirlenmesi hedeflenmektedir. Söz konusu çalışmanın temelinde, doğrusal olmayan amaç fonksiyonunun eşdeğer parçalı doğrusal bir maliyet fonksiyonu ile ifade edilmesi yatmaktadır.

Tarim & Kingsman (2006), N dönemli bir envanter problemini ele almışlardır. Çalışma kapsamında; tedarik süresinin sıfır olduğu varsayımı yapılmaktadır. Her bir t dönemine

ait talep, bilinen bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna $g_t(d_t)$ sahip d_t gibi bir rassal değişkenle ifade edilmektedir ve dönem başlarında gerçekleşmektedir. Her bir döneme ait talep ortalaması değişkenlik gösterebilmektedir. Bununla beraber, farklı dönemler içerisinde gerçekleşen talep birbirinden bağımsız olmaktadır. Karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir. Bu doğrultuda, birim ceza maliyeti, birim değişken sipariş maliyeti, birim elde bulundurma maliyeti ve sabit sipariş maliyeti sırasıyla s , v , h ve a gibi sabitlerle tanımlanmaktadır. t ($t \leq T$) dönemine ait sipariş/satın alma miktarı X_t ve δ_t sipariş miktarına bağımlı ikili değişken olmak üzere, sabit maliyet $a\delta_t$ ve vX_t olarak hesaplanmaktadır. Her bir t dönemi sonu envanter miktarı I_t ile ifade edilmektedir. Bir dönemden bir sonraki döneme taşınan fazla envanter miktarı I_t^+ , söz konusu döneme ilişkin karşılanamayan talep miktarı ise I_t^- ile ifade edilmektedir. Planlama ufku başında envanter düzeyinin sıfır olduğu kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, M çok büyük bir sayı olmak üzere, stokastik çok dönemli envanter problemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$\min \mathbf{E}\{TC\} = \int_{d_1} \int_{d_2} \dots \int_{d_T} \sum_{t=1}^N [vX_t + a\delta(X_t) + hI_t^+ + sI_t^-] \times g_1(d_1)g_2(d_2) \dots g_T(d_T)d(d_1) d(d_2) \dots d(d_N) \quad (22a)$$

$$\text{s. t. } t = 1, 2, \dots, N \text{ için,}$$

$$X_t - M\delta_t \leq 0, \quad (22b)$$

$$I_t = \sum_{i=1}^t (X_i - d_i) \quad (22c)$$

$$I_t^+ = \max(0, I_t) \quad (22d)$$

$$I_t^- = -\min(0, I_t) \quad (22e)$$

$$X_t, I_t^+, I_t^- \geq 0, \quad I_t \in \mathbb{R}, \quad \delta_t \in \{0, 1\}$$

Söz konusu envanter modeli, planlama ufku boyunca m sayıda tedarik aralığını kapsıyor olsun. Bu doğrultuda, tedarik işlemi T_1, T_2, \dots, T_m dönemlerinde gerçekleşmektedir. İlk tedarik işleminin planlama ufku başında ($T_1 = 1$) ve en son tedarik işleminin planlama ufkunun sonunda $T_{m+1} = N + 1$ yer aldığı kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, i ve $i + 1$. tedarik işlemleri arasında yer alan her bir t dönemi için, dönem sonu envanter seviyeleri, planlama ufku başından itibaren söz konusu döneme kadar gerçekleştirilen sipariş miktarı

toplamından, meydana gelen toplam talep miktarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Böylelikle, t dönemi sonunda envanter düzeyi aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$I_t = \sum_{j=1}^i X_{T_j} - \sum_{k=1}^t d_k \quad T_i \leq t \leq T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (23)$$

Sipariş sonrası envanter düzeyi S_t ile gösteriliyor olsun. Bu doğrultuda, karar değişkeni X_t , S_t değişkeninden faydalanılarak ifade edilebilir. Böylelikle, sipariş sonrası envanter düzeyi $S_t = X_t + I_{t-1}$ veya (23) no'lu eşitlikten yola çıkılarak $\sum_{j=1}^i X_{T_j} = S_{T_i} + \sum_{k=1}^{T_i-1} d_k$ olarak ifade edilebilmektedir ($t = 1, \dots, N, i = 1, \dots, m$). Açıkça görülmektedir ki, herhangi bir dönemde tedarik işlemi varsa S_t değişkeni sipariş yükseltme düzeyini, aksi halde t dönemi için başlangıç envanter düzeyini ifade etmektedir. Bu çerçevede, t dönemi sonu envanter düzeyine ilişkin (22c), (22d), (22e) no'lu eşitliklerde yer alan kısıtlar aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$I_t = S_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k, \quad T_i \leq t \leq T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (24a)$$

$$I_t^+ = \max(0, S_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k), \quad T_i \leq t \leq T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (24b)$$

$$I_t^- = -\min(0, S_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k), \quad T_i \leq t \leq T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (24c)$$

(24) no'lu eşitliklerde yer alan S_t değişkeni deterministik bir karar değişkenidir. Dolayısıyla, t_1 ve t_2 dönemleri arasında gerçekleşecek toplam talebin rassal değişken $D_{t_1, t_2} = \sum_{j=t_1}^{t_2} d_j$ ile ifade edildiği düşünüldüğünde, (22a)'da verilen toplam beklenen maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi, T_i 'den T_{i+1} 'e ($i = 1, \dots, m$) m tane aralığın toplamı şeklinde gösterilebilmektedir.

$$\mathbf{E}\{TC\} = \sum_{i=1}^m \left(a\delta_{T_i} + \sum_{t=T_i}^{T_{i+1}-1} \mathbf{E}\{C_{T_i, t}\} + vI_N + v \int_{D_{1,N}} D_{1,N} \times g(D_{1,N}) d(D_{1,N}) \right) \quad (25)$$

(25) no'lu denklemde yer alan $\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\}$, T_i ve T_{i+1} . tedarik dönemleri arasında bulunan herhangi bir t dönemi için toplam beklenen dönem sonu maliyetlerini ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\} = \int_{d_{T_i}} \cdots \int_{d_t} [h \max \left(0, S_{T_i} - \sum_{j=T_i}^t d_j \right) - s \min \left(0, S_{T_i} - \sum_{j=T_i}^t d_j \right)] g_{T_i}(d_{T_i}) \cdots g_t(d_t) d(d_{T_i}) \cdots d(d_t) \quad (26)$$

Her bir dönem içerisinde gerçekleşen talep, d_t , farklı dönemler içerisinde gerçekleşen taleplerden bağımsız olduğu için, söz konusu talep yoğunluk fonksiyonlarının Fourier konvolüsyonu, kendilerinin toplamının yoğunluğuna eşit olmaktadır. Bu doğrultuda, (26) no'lu eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\} = \int_{-\infty}^{S_{T_i}} h(S_{T_i} - D_{T_i,t}) \times g(D_{T_i,t}) d(D_{T_i,t}) - \int_{S_{T_i}}^{\infty} s(S_{T_i} - D_{T_i,t}) \times g(D_{T_i,t}) d(D_{T_i,t}) \quad (27)$$

(27) no'lu eşitliğin, $D_{T_i,t}$ talebe sahip tek dönemli envanter problemine ait beklenen maliyet fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bu bağlamda S_{T_i} , T_i dönemine ait sipariş yükseltme düzeyini ve $S_{T_i} - D_{T_i,t}$, söz konusu döneme ilişkin dönem sonu envanter düzeyini göstermektedir. Sade bir gösterim adına, (27) no'lu eşitlikte yer alan T_i ve t indisleri kaldırılarak, tek döneme ilişkin beklenen dönem sonu maliyet (28) no'lu eşitlikte olduğu gibi yazılabilmektedir. Bununla beraber, beklenen talep değerinin μ ve dönem içerisinde gerçekleşen talebe ilişkin stokastik bileşenin, sıfır ortalama, σ^2 varyansa sahip ve normal dağılımı $\phi(x; \sigma)$ takip eden bir x rassal değişkeni ile ifade edildiği varsayılıyor olsun. Böylece, beklenen maliyetler (29) no'lu eşitlikte olduğu gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C\} = h \int_{-\infty}^S (S - D) \times g(D) d(D) - s \int_S^{\infty} (S - D) \times g(D) d(D) \quad (28)$$

$$\mathbf{E}\{C\} = h \int_{-\infty}^{S-\mu} (S - \mu - x) \phi(x; \sigma) dx - s \int_{S-\mu}^{\infty} (S - \mu - x) \phi(x; \sigma) dx \quad (29)$$

(29) no'lu eşitlik normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu açılarak yeniden ele alındığında aşağıda yer alan eşitliklere ulaşılmaktadır.

$$\mathbf{E}\{C\} = h(S - \mu) - (h + s)(S - \mu) \int_{S-\mu}^{\infty} \phi(x; \sigma) dx + (h + s) \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (30)$$

$$\mathbf{E}\{C\} = -s(S - \mu) - (h + s)(S - \mu) \int_{-\infty}^{S-\mu} \phi(x; \sigma) dx + (h + s) \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (31)$$

Yukarıda (30) ve (31) no'lu eşitliklerde yer alan ilk terimler $(h(S - \mu))$ ve $(-s(S - \mu))$ sırasıyla, dönem sonu envanter düzeyinin pozitif olması halinde beklenen elde bulundurma maliyetini ve negatif olması halinde beklenen ceza maliyetini ifade etmektedir. Bu terimler, ortalaması bilinen talep değerleri üzerinden hesaplandıkları için toplam maliyetin deterministik kısmını oluşturmaktadırlar. Her iki eşitlik için de, ilk terimden sonra gelen terimler ise stokastik maliyet bileşenine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, talebe ilişkin belirsizliğin toplam maliyet üzerine etkisini tanımlamaktadırlar. Bir diğer deyişle, gerçekleşen talebin beklenen talep değerinden sapması durumunda ortaya çıkması beklenen maliyeti ifade etmektedirler.

(30) ve (31) no'lu eşitliklerde yer alan stokastik maliyet bileşenleri genel olarak aşağıdaki gibi tek bir eşitlikle ifade edilebilmektedir.

$$-(h + s)|S - \mu| \int_{|S-\mu|}^{\infty} \phi(x; \sigma) dx + (h + s) \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (32)$$

$\Phi(k; \sigma) = \int_{-\infty}^k \phi(x; \sigma) dx$ olmak üzere, (32) no'lu eşitlikte verilen stokastik maliyet bileşeni aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$-(h + s)|S - \mu| + (h + s)|S - \mu| \Phi(|S - \mu|; \sigma) + (h + s) \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (33)$$

(33) no'lu eşitlikte yer alan tek döneme ilişkin stokastik maliyet bileşeni, $y = |S - \mu|/\sigma$ değişkeninin tanımlanmasıyla birlikte aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\sigma(h + s)(-y + y\Phi(y) + \phi(y)) = \sigma(h + s)f(y) \quad (34)$$

(34) no'lu eşitlikte yer alan ifade, stokastik talebin standart sapması, envanter maliyetlerinin toplamı ve normalize edilmiş beklenen dönem sonu envanter düzeyi büyüklüğüne ilişkin bir fonksiyonun çarpılması sonucu elde edilmektedir. Söz konusu eşitlikte yer verilen stokastik maliyet bileşeni ifadesi kontrol edilmesi kolay olmayan bir ifadedir. Bu doğrultuda, söz konusu bileşeni kontrol edilebilir hale getirmek amacıyla, Tarim & Kingsman (2006), $f(y)$ fonksiyonunu α ve β parametrelerini kullanarak, parçalı doğrusal bir fonksiyon $L(y)$ yardımıyla aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir.

$$L(y) = \begin{cases} \beta \left(1 - \frac{y}{\alpha}\right) & y \leq \alpha, \\ 0 & y > \alpha. \end{cases} \quad (35)$$

Yukarıda yer verilen (35) no'lu denklemde y herhangi bir değere karşılık gelebilmektedir. Analizin esas amacı, S_t değişkenine ilişkin en iyi değerleri saptamaktır. Bu sebeple, mümkün olan tüm y değerleri için, mantıklı bir yakınsama gerekli olmaktadır. En iyi yakınsamanın elde edilebilmesi amacıyla minimaks kriterinin kullanımı uygun görülmüştür. Bu doğrultuda, söz konusu kriter kullanılarak $f(y)$ ve $L(y)$ fonksiyonları arasındaki maksimum hatayı ($\epsilon = \max|f(y) - L(y)|$) minimize eden α ve β değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, doğrusal olmayan maliyet fonksiyonunun yerine parçalı doğrusal yaklaşımın kullanılmasıyla birlikte, tek dönemli envanter problemine ilişkin beklenen envanter maliyeti aşağıda yer alan eşitlikle ifade edilebilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C\} = \begin{cases} h(S - \mu) + \max(0, (h + s)(0.362\sigma - 0.260|S - \mu|)), & S \geq \mu \\ -s(S - \mu) + \max(0, (h + s)(0.362\sigma - 0.260|S - \mu|)) & S < \mu. \end{cases} \quad (36)$$

Denklem (36)'da yer alan parçalı doğrusal yaklaşım, tek bir kırılma noktasına sahip parçalı doğrusal bir fonksiyonu temel almaktadır. Daha doğru bir yakınsama elde edebilmek için kırılma sayısının artırılması gerekmektedir.

Tek dönemli envanter problemi analizinden elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, (27) no'lu denklemde yer alan $\mathbf{E}\{C_{T_{i,t}}\}$, parçalı doğrusal yaklaşım kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\} &= h(S_{T_i} - \tilde{D}_{T_i,t}) + \max\left(0, (h+s)(0.362\sigma_{T_i,t} - 0.260|S - \tilde{D}_{T_i,t}|\right), & S_{T_i} \geq \tilde{D}_{T_i,t}, \\
&= -s(S_{T_i} - \tilde{D}_{T_i,t}) + \max\left(0, (h+s)(0.362\sigma_{T_i,t} - 0.260|S - \tilde{D}_{T_i,t}|\right), & S_{T_i} < \tilde{D}_{T_i,t}.
\end{aligned} \tag{37}$$

Yukarıdaki denklemde yer alan $\tilde{D}_{T_i,t}$ ifadesi, T_i döneminden t dönemine kadar olan dönemler için beklenen talep ortalamalarının toplanmasıyla elde edilmektedir ($\tilde{D}_{T_i,t} = \sum_{j=T_i}^t \check{d}_j$). Benzer şekilde, $\sigma_{T_i,t}$, söz konusu dönemler arasında meydana gelen kümülatif talebin, $D_{T_i,t}$, standart sapması olarak tanımlanmaktadır.

Herhangi bir dönem sonunda beklenen envanter düzeyi, eğer $S_{T_i} \geq \tilde{D}_{T_i,t}$ ise $\tilde{I}_t^+ = \max(0, \tilde{I}_t)$ veya $\tilde{I}_t^+ = S_{T_i} - \tilde{D}_{T_i,t}$ olarak, eğer $S_{T_i} < \tilde{D}_{T_i,t}$ ise $\tilde{I}_t^- = -\min(0, \tilde{I}_t)$ veya $\tilde{I}_t^- = \tilde{D}_{T_i,t} - S_{T_i}$ olarak elde edilebilmektedir ($t = 1, \dots, N$). \tilde{I}_t^+ ve \tilde{I}_t^- terimleri, aynı anda negatif olmayan değer alamamaktadırlar. Dolayısıyla, $\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\}$ aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\} = h\tilde{I}_t^+ + s\tilde{I}_t^- + \max\left(0, (h+s)(0.362\sigma_{T_i,t} - 0.260(\tilde{I}_t^+ + \tilde{I}_t^-))\right) \tag{38}$$

(38) no'lu eşitlikte yer alan stokastik maliyet bileşeni, sürekli ve negatif olmayan değişken $Q_{T_i,t}$ ile ifade ediliyor olsun. Böylelikle, (38) no'lu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$\mathbf{E}\{C_{T_i,t}\} = h\tilde{I}_t^+ + s\tilde{I}_t^- + Q_{T_i,t} \tag{39}$$

Denklem (39)'dan faydalanılarak, (25) no'lu denklemde verilen çok dönemli envanter probleminin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\mathbf{E}\{TC\} = v\tilde{I}_N + v\tilde{D}_{1,N} + \sum_{i=1}^m \sum_{t=T_i}^{T_{i+1}-1} (a\delta_t + h\tilde{I}_t^+ + s\tilde{I}_t^- + Q_{T_i,t}) \tag{40}$$

j döneminden itibaren t dönemine kadar (t dönemi dahil) meydana gelen kümülatif talebin standart sapması ε_{tj} ile gösteriliyor olsun. İlgilenilen envanter problemi sonlu sayıda N dönemden oluşan bir planlama ufkuna sahip olduğu için, her bir durum için standart sapmaların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, P_{tj} değişkeninin, en son siparişin $t - j + 1$ döneminde gerçekleşmesi durumunda 1 değerini alan, aksi halde 0 değerine karşılık gelen ikili bir değişken olduğu düşünüldüğünde, söz konusu çok dönemli envanter problemi için karışık tamsayı programlama modeli aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\min \mathbf{E}\{TC\} = \{TC\} = v\tilde{I}_N + v\tilde{D}_{1,N} + \sum_{t=1}^N a\delta_t + h\tilde{I}_t^+ + s\tilde{I}_t^- + Q_t \quad (41a)$$

$$\text{s. t. } t = 1, 2, \dots, N \quad j = 1, \dots, t \text{ için,}$$

$$\tilde{I}_t = S_t - \tilde{d}_t, \quad (41b)$$

$$S_t \geq \tilde{I}_{t-1} \quad (41c)$$

$$S_t \leq M\delta_t + \tilde{I}_{t-1} \quad (41d)$$

$$\tilde{I}_t^+ \geq \tilde{I}_t, \quad \tilde{I}_t^- \geq \tilde{I}_t, \quad \tilde{I}_t - \tilde{I}_t^+ + \tilde{I}_t^- = 0 \quad (41e)$$

$$\sum_{j=1}^t P_{tj} = 1 \quad (41f)$$

$$P_{tj} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k \quad (41g)$$

$$Q_t \geq (h + s)(0.362 \sum_{j=1}^t P_{tj}\varepsilon_{tj} - 0.260(\tilde{I}_t^+ + \tilde{I}_t^-)) \quad (41h)$$

$$Q_t, \tilde{I}_t^+, \tilde{I}_t^- \geq 0, \quad -\infty \leq S_t, \tilde{I}_t < +\infty, \quad \delta_t, P_{tj} \in \{0,1\} \quad (41i)$$

Yukarıda verilen matematiksel modelin çözüme kavuşturulmasıyla birlikte, δ_t ikili değişkeninin 1 değerini aldığı her bir dönem için S_t değeri optimal sipariş yükseltme düzeyini ifade etmektedir.

3 DİNAMİK FİYATLANDIRMA VE ENVANTER YÖNETİMİ

Envanter yönetimi, daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, işletmenin en düşük düzeyde envanter maliyetlerine katlanması amacını gütmektedir. Bu amaca paralel olarak, başarılı bir envanter yönetimi uygulaması ile ilgili mamule yada mamullere ait oluşan talebin mümkün olduğunca vaktinde karşılanması hedeflenmektedir. Matematiksel envanter modelleri ise, işletmenin içerisinde bulunduğu envanter sisteminin özelliklerini de göz önüne alarak, ilgili amaçları gerçekleştirecek sipariş zamanı ve miktarına ait optimal kararların verilmesine odaklanmaktadır.

Matematiksel envanter modelleri oluşturulurken talebe ilişkin varsayımlar ilgili modelin yapısını belirleyen en önemli etkidir. Bu kapsamda, envanter yönetimi literatüründe yer alan klasik envanter modelleri, optimal envanter planını belirlemek üzere, talebin karar verici tarafından kontrol edilemeyen bir değişken olduğu varsayımını temel almaktadır (Chen & Simchi-Levi, 2004). Bir diğer deyişle, klasik envanter yönetimi modelleri gelirin sabit olduğu varsayımı altında envanter maliyetlerinin minimize edilmesi problemine ve dolayısıyla, arz yönetimine odaklanmaktadır. Bu doğrultuda, envanter yönetimine ait genel görüşe göre, herhangi bir işletme için talep yönetimine ilişkin kararlar pazarlama departmanının sorumluluğu altındadır ve envanter kararlarından bağımsız bir şekilde gerçekleşen kararlar olarak görülmektedir. Halbuki, uygulamada envanter ve talebe ilişkin kararların birbirlerinden bağımsız olarak ele alınması arz ve talep kararları arasında koordinasyon eksikliğine yol açmakta ve sonuç olarak, işletmenin genel hedefi olan maksimum karın elde edilmesi önünde büyük bir engel teşkil etmektedir (Zhu & Thonemann, 2009).

Temel envanter modellerinin temelinde yer alan varsayımın aksine, çok açıktır ki, bir mamule ait gerçekleşen talep ile söz konusu mamulün fiyatı arasında çok sıkı bir ilişki vardır ve fiyatın zaman içerisinde değişkenlik göstermesi ile talep sürecinin arzu edilen biçimde yönlendirilmesi oldukça mümkündür. Fiyatın, müşterileri farklı zümrelere ayırmaksızın, zaman içerisinde karar vericinin isteği doğrultusunda zaman içerisinde değişkenlik gösteren bir yapıda olması durumu ise *dinamik fiyatlandırma* olarak tanımlanmaktadır.

Gerçek hayat uygulamalarında, dinamik fiyatlandırma iki farklı formda meydana gelmektedir. Bunlar, (i) *ilan fiyat (posted price)* ve (ii) *fiyat keşfi (price discovery)* yöntemleridir (Elmaghraby & Keskinocak, 2003). İlan fiyatı yöntemine göre, satış fiyatının belirlenmesi işlemi tümüyle satıcının sorumluluğu altındadır ve müşteri ilgili fiyatı kabul ederek satın alma işlemini gerçekleştirebilir veya fiyatı reddederek mamule olan ilgisini kaybedebilir. Bir başka deyişle, ilan fiyatı pazarlığa tabi olmayan fiyatlardır: Havayolu firmalarının uyguladığı dinamik fiyatlandırma uygulaması, ilan fiyat yöntemine örnek teşkil etmektedir. Bununla beraber sabit fiyat uygulaması da aslında dinamik olmayan bir ilan fiyat yöntemi olarak yorumlanmaktadır (Sahay, 2007) . Fiyat keşfi yöntemi ise, bir mamule ait fiyatın müşteriler tarafından müzakere edilmesiyle belirlenmesi yöntemidir. Bu yöntem açık artırma şeklinde uygulanabileceği gibi açık eksiltme usulü ile de uygulanabilmektedir.

Son yıllarda, dinamik fiyatlandırma uygulamaları, perakende, e-ticaret, otomobil, ulaşım, eğlence, telekomünikasyon ve enerji sektörü gibi birçok farklı endüstride kendisine yer bulmaktadır. Örneğin, Ford Motor Şirketi, 1998 yılında, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) içerisinde yer alan 5 satış bölgesinde dinamik fiyatlandırma yöntemini uygulamıştır. Söz konusu bölgeler için toplamda yaklaşık 1 milyar dolarlık kara ulaşarak daha önceden belirlenen kar hedefinin çok üzerine çıkmıştır. Eski fiyatlandırma yönteminin uygulandığı 13 bölgede ise toplamda 250 milyon dolarlık kar elde edilmiş ve kar hedefinin altında kalmıştır (Talluri & Van Ryzin, 2006). Benzer şekilde, 2005 yılı içerisinde, mamullerin açık artırma yöntemi kullanılarak fiyatlandırılması ile birlikte, elektronik ticaret firması olan Ebay. Inc yirmi milyar dolarlık ürün satışı sağlamıştır (Sahay, 2007). İlgili örnekler dinamik fiyatlandırma tekniklerinin doğru uygulanması halinde işletme karlılığını arttırmada ne kadar etkili bir araç olduğuna işaret etmektedir.

Gerçek hayat uygulamalarında, dinamik fiyatlandırma stratejilerine olan ilgi her geçen gün daha da yoğun bir hal almaktadır ve bunun altında birçok sebep yatmaktadır. Bu doğrultuda,

- Bilişim teknolojisinde meydana gelen olumlu değişimler neticesinde müşteriye ait doğru verinin elde edilmesinin ve fiyat değişimlerinin oldukça kolay hale gelmesi,
- Elde edilen müşteri verisinin analizi ve sonucunda fiyat optimizasyonu için karar destek sistemlerinin geliştirilmesi,

- Havayolu endüstrisinde ortaya çıkan gelir yönetimi stratejisinin başarı ile uygulanması

gibi etmenler, birçok farklı endüstride dinamik fiyatlandırma stratejisi kullanımını oldukça cazip hale getirmektedir (Elmaghraby & Keskinocak, 2003, Philips, 2005, Xin & Simchi-Levi, 2012). Yukarıda belirtildiği üzere, bilgi teknolojilerinin yükselişi ve gelir yönetiminin başarısı dinamik fiyatlandırmanın gelişiminde en büyük paya sahiptir. Dolayısıyla, aşağıda yer alan iki başlık altında söz konusu etmenlerin detaylı bir şekilde incelenmesi uygun görülmektedir.

3.1 BİLGİ TEKNOLOJİSİNİN YÜKSELİŞİ

Müşterinin bir mamule verdiği değerin tahmin edilmesi ve gelecekte gerçekleşecek olan talebin tam olarak bilinmemesi sebebiyle ilgili mamule ait en yüksek karı getirecek fiyatın belirlenmesi işlemi oldukça güç bir işlemdir (Elmaghraby & Keskinocak, 2003). İçerisinde bulunduğumuz yüzyıla kadar olan süreçte müşterinin satın alma davranışına ilişkin bilginin doğru bir şekilde elde edilmesi pek mümkün olmamaktaydı veya elde edilmesi bir hayli zaman almaktaydı. Bununla beraber, bilgi teknolojilerin ani gelişimi ve neticesinde XXI. yüzyılın başlarıyla beraber internet kullanımının hızla artmasıyla, işletmelerin müşteriye ait veriyi toplaması oldukça kolay hale gelmiştir. Bu kapsamda, işletmeler, Müşteri İlişkileri Yönetimi (MİY) ve Kurumsal Kaynak Planlaması (KKP) gibi müşteri ihtiyaçlarını saptamayı amaçlayan sistemlerden faydalanarak müşterilerine ait doğru ve en yüksek düzeyde bilgiye sahip olmak arzusu içerisindeyler. İşletmelerin bu yönde bir talebi olması bahsi geçen sistemlere olan ilgiyi oldukça artırmıştır. Zira Oracle, SAP, PeopleSoft, Clarify, SAS ve Siebel gibi yazılım üreticisi firmalar satışa hazır mamuller için MİY uygulamaları geliştirmek üzere birbirleri ile kıyasıya rekabet içerisindeyler (Chen & Popovich, 2003).

Müşteri verisi, tüketici davranışına ilişkin önemli bilgiler içerebileceği gibi, farklı fiyatlara nasıl karşılık verecekleri bilgisini de içermektedir (Boer, 2015). Dolayısıyla, günümüzde işletmelerin müşterilerine ilişkin bolca veriye sahip olmaları dinamik fiyatlandırma stratejilerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır ve doğru uygulanması halinde mamule ait fiyatın zaman içerisinde değiştirilmesi işlemi işletmeler için rekabetçi

bir avantaj halini almaktadır. İşletmelerin, müşteriye ait veriye sahip olma amacıyla MİY ve KKP gibi sistemlere olan yoğun talebin temelinde bu sebep yatmaktadır.

Son yirmi yıla kadar, birçok işletme, mamule ait fiyatı zaman içerisinde değiştirmek yerine çoğunlukla sabit, tek bir fiyat yöntemini tercih etmiştir. Müşteriye ilişkin doğru veriye erişmenin zorluğu işletmeleri görece olarak daha güvenilir bulunan sabit fiyat yöntemini kullanmaya yöneltmiştir. İşletmeleri sabit fiyat yöntemi kullanmaya zorlayan bir diğer sebep ise, fiyat değişimi sürecinin oldukça vakit alması ve fiyatın tekrar ayarlanması uygulamasının çok yüksek maliyetler doğurmasıdır.

Fiyat ayarlamasına ait maliyetler toplamı, menü maliyetleri ve yönetsel maliyetlerinin bir araya getirilmesi sonucu elde edilmektedir. Mamul raflarında yer alan fiyat etiketlerinin değişimi için gereken işgücü maliyeti veya mamule ait yeni bir katalog yayınlanması gibi fiziksel çaba sonucu ortaya çıkan maliyetler *menü maliyetleri* olarak tanımlanmaktadır (Bergen, Ritson, Dutta, Levy, & Zbaracki, 2003). Karar vericilerin ilgili fiyat değişimini uygulamak üzere mamule ait yeni fiyata ilişkin bilgiyi toplaması için harcadıkları zaman ve ilginin parasal karşılığı ise *yönetsel maliyetler* olarak ifade edilmektedir (Ball & Mankiw, A sticky-price manifesto, 1994). ABD üretim sektöründe yer alan büyük bir firmadan elde edilen veriler göz önüne alınarak yapılan bir çalışmada, fiyat ayarlaması maliyetlerinin işletmeye ait gelirler toplamının %1,22'lik kısmına denk geldiği belirtilmiştir (Zbaracki, Ritson, Levy, Dutta, & Bergen, 2004). Bununla beraber, çok sayıda ürüne sahip bir işletme için, ilgili fiyat değişimini tüm dağıtım sistemine adapte etmek çok uzun vakit alabilmektedir (Kung, Monroe, & Cox, 2002). İnternetin gelişimi ve beraberinde e-ticaretin ortaya çıkışı ile birlikte fiyat değişimleri çok daha kolay uygulanabilir hale gelmiştir. Dolayısıyla, özellikle son 15 yılda, fiyatlandırma kararlarının çok daha hızlı alınmakta olduğu gözlemlenmektedir. Günümüzde, büyük bir havayolu işletmesinin bir hafta süresince ortalama 500.000 fiyat değişikliği ile ilgilenmesi, bilgi teknolojilerinin ve internetin dinamik fiyatlandırma stratejilerinin kolay bir şekilde uygulanması açısından yaptığı katkıya örnek olarak verilebilir (Philips, 2005).

Yukarıda sözü edilen avantajlarının yanında, bilgi işlem teknolojilerinde meydana gelen atılım, fiyat optimizasyonuna yönelik karar destek yöntemlerinin ortaya çıkmasına da olanak sağlamıştır. Bu kapsamda, birçok işletme ilgili karar destek sistemlerinden faydalanarak dinamik fiyatlandırma stratejisini benimsemekte ve karını maksimize

etmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, perakende sektöründe yer alan, GAP'ten Marks & Spencer'a kadar birçok işletme için karın optimize edilmesi amacıyla ProfitLogic işletmesi tarafından sağlanan perakende fiyat optimizasyonu karar destek sistemlerini kullanmaktadırlar. Benzer şekilde, PROS fiyat optimizasyon sistemi, Lufthansa ve Emirates Havayolu Şirketi gibi sektörünün önde gelen isimlerinden olan birçok işletme tarafından kullanılmaktadır.

3.2 GELİR YÖNETİMİNİN BAŞARISI

1970'li yılların sonlarına kadar, ABD'de havayolu bilet ücretleri ve işletmelerin havayolu endüstrisine giriş-çıkışları Sivil Havacılık Kurumu (SHK) tarafından kontrol edilmektedir (Morrison & Winston, 1986). Bununla beraber, 1978'de Havayolları Serbestleştirme Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile birlikte havayolu işletmeleri sektör bileşenlerine ilişkin birçok konuda karar verici pozisyonuna gelmişlerdir. Bu doğrultuda, işletmeler bilet ücretlerini ve uçuş programlarını arzu ettikleri biçimde düzenlemeye başlamışlardır (Talluri & Van Ryzin, 2006).

Havayolu işletmelerinin hareket serbestisinin artması ile birlikte ilgili sektöre gösterilen ilgi artmış ve yeni işletmeler ortaya çıkmıştır. Bu işletmelerden en dikkat çeken PeopleExpress Havayolu İşletmesi olmuştur. Söz konusu işletmeyi American Havayolları gibi sektörün öncü işletmelerinden ve diğer toy işletmelerden farklı kılan izledikleri ücretlendirme politikalarıdır: PeopleExpress Havayolu İşletmesi düşük fiyatla hizmet sunan veya bir diğer deyişle, bütçe dostu bir politika benimsemiştir. Böylelikle, müşteriler aldıkları temel hizmetin yanında talep ettikleri fazla bagaj taşıma, uçakta içecek hizmeti gibi her bir ekstra servis için ayrı bir fiyat ödemek durumunda kalmışlardır (Moore, 1986). Bu kapsamda, PeopleExpress Havayolu İşletmesi, müşterilerine, sektörde yer alan ana havayolu firmalarına kıyasla neredeyse %70 oranında daha düşük bir fiyatla seyahat imkânı sunmaktadır (Jerez, 2008). Bu yüzden, ulaşım için araba, otobüs yolculuğu tercih eden aileler veya yüksek ulaşım ücretleri sebebiyle seyahat etmeyen öğrenciler gibi fiyata oldukça duyarlı kişiler PeopleExpress'in müşterisi haline gelmişlerdir. Nitekim 1981'de kurulmuş olan PeopleExpress Havayolu İşletmesi üç yıl içerisinde olağanüstü bir büyüme kaydederek 1984 yılı sonunda 60 milyon dolar kar açıklamıştır (Talluri & Van Ryzin, 2006).

Havayolları Serbestleştirme Kanunundan sonra gelişen bu süreçte, sektöre yeni giren PeopleExpress gibi bütçe dostu havayolu firmaları yüksek karlara ulaşırken American Havayolları İşletmesi potansiyel birçok müşterisini kaybetmiştir. Öyle ki, American Havayolları uçakları ortalama olarak kapasitesinin sadece yarısı kadar yolcu taşımaya başlamıştır (Cross, Higbie, & Cross, 2011). Bu doğrultuda, 1985 yılının Ocak ayında, uçuş doluluk oranını ve nihayetinde geliri arttırmak hedefiyle American Havayolları İşletmesi DINAMO (Dynamic Inventory Optimization and Maintenance Optimizer) adını verdikleri gelir yönetimi sistemi geliştirmiştir. Bu sisteme göre, her bir uçuşta sınırlı sayıda indirimli koltuk satılmaktadır ve bu koltukları satın almak isteyen müşteriler belirli kısıtlamalara tabi tutulmaktadır (Philips, 2005). Bu tip koltuklar “nihai süper tasarruflu tarife (ultimate super saver fares)” adı altında satılmıştır. American Havayolları uyguladığı bu tarifeye, PeopleExpress’den daha düşük fiyatla bilet satışına başlamıştır. Bu doğrultuda, bir yıl içerisinde, karında %50’ye yakın bir artışa giderek PeopleExpress’in hedef pazarını tehdit etmesine daha fazla müsaade etmemiştir. Sonuç olarak, 1986 yılının Ağustos ayında iflas etmek üzere olan PeopleExpress, Eylül ayı sonunda başka bir havayolu şirketine çok büyük bir değer kaybı ile satılmıştır.

American Havayollarının DINAMO adı verilen bilişim aracını kullanarak elde ettiği başarı gelir yönetimi uygulamalarının çıkış noktası olmuştur. Bu doğrultuda, ilerleyen süreçlerde birçok havayolu firması bilgisayar yazılımına dayalı gelir yönetimi sistemlerini bünyelerine adapte etmek için yoğun çaba harcamışlar ve benzer başarılar elde etmişlerdir (Cross, Higbie, & Cross, 2011).

Envanter ve fiyat kararlarının sonuçları göz önüne alındığında görülmektedir ki, ilgili kararlar, sırasıyla, arz ve talebin yönetilmesi üzerinde yadsınamaz bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, arz ile talep arasında meydana gelmesi muhtemel dengesizlik riskini azaltma amacı doğrultusunda envanter ve fiyatlandırma kararları birbirlerini tamamlamaktadırlar (Zhang, 2013). Şöyle ki, karar verici tarafından belirlenen fiyatlar talep sürecini etkilemekte olduğundan, ilgili kararların envanter düzeyleri üzerinde de doğrudan etkisi bulunmaktadır. Bu kapsamda, fiyatlandırma kararlarının stok kararlarına dahil edilmesi ve söz konusu kararların eş zamanlı olarak verilmesiyle işletmenin karlılığı ve müşteri memnuniyeti ciddi oranda artırılabilir. Gelir yönetiminin havayolu sektöründe yarattığı etki, bu entegrasyonun ne ölçüde önemli olduğuna ilişkin bilgi vermektedir.

Gelir yönetimi uygulamalarının havayolu endüstrisine başarı ile adapte edilmesi ve olağanüstü sonuçlara ulaşılması ile birlikte konaklama, araç kiralama, gemi turu gibi birçok sektörde gelir yönetimine olan ilgi oldukça artmıştır (McGill & Van Ryzin, 1999). Tüm bu sektörler benzer özelliklere sahip olduğundan, ilgili sektörlerde de gelir yönetimi uygulamaları havayolu endüstrisindeki benzer, oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Gelir yönetiminin karın optimize edilmesi doğrultusunda öncül bir silah olarak kullanıldığı bu sektörler temel olarak şu özelliklere sahiptirler: (i) Sınırlı sayıda ve sınırlı ömre sahip envanterin tüketiciye satılması ile ilgilenilmektedir. (ii) Müşteriler ödeme güçlerine göre belirli sınıflara ayrılabilir. (iii) Talep zaman içerisinde değişkenlik göstermektedir. (iv) Gelecekte karşılanacak talep için satış işlemi çok önceden gerçekleştirilebilmektedir. (v) Marjinal satış maliyetleri düşük, marjinal üretim maliyetleri ise oldukça yüksektir (Kimes, 1989). Bu kapsamda, sınırlı kapasitenin tahsis edilmesi ve dinamik fiyatlandırma kararlarının koordine edilmesi işlemi, gelir yönetiminin odak noktası olmaktadır.

Gelir yönetimi kavramı olarak birçok farklı şekilde tanımlanmaktadır. Literatürde genel olarak kullanılan tanıma göre, gelir yönetimi, gelirin maksimize edilmesi amacıyla doğru tür kapasitenin doğru müşteriye doğru fiyattan tahsis edilmesi süreci olarak ifade edilmektedir (Kimes, 1989). Benzer şekilde, Sunmee ve Mattila (2004)'e göre, karı optimize etmek üzere, sınırlı miktarda elde bulundurulmuş envanterin en karlı müşteri karmasına satma uygulaması gelir yönetimi olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer tanıma göre ise, gelir yönetimi, mikro pazarlama düzeyinde müşteri talebinin tahmin edilmesi ve kullanılabilir kapasitenin ve fiyatların optimize edilmesi bilimidir (Cross, 2011). Philips (2005), gelir yönetimini, sınırlı miktarda olan arzın fiyatlandırılmasına ilişkin özel bir yöntem olarak düşünmüştür. Gallego ve Van Ryzin (1997) ise, gelir yönetimi, rezervasyon politikalarının bilişim sistemi verileri ile birlikte kullanılarak sınırlı kapasiteyle talebin eşleştirilmesi ve sonuç olarak, gelirin artırılması uygulamasıdır. Özetle, gelir yönetimi, envanter ve fiyatlandırma kararlarının bir araya getirilmesi ile gelirin optimize edilmesini amaçlayan özel bir yaklaşım olarak ifade edilebilir.

Yukarıda da anlatılmakta olan doğası gereği, gelir yönetimi, tedarik kararlarını saf dışında bırakmaktadır. Bir başka deyişle, söz konusu yaklaşımın arzu edilen sonucu vermesi için satış sezonu süresince envanter tedarik imkanının bulunmaması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu yaklaşım, perakende veya üretim endüstrisi gibi tedarik kararlarının

önemli yer tuttuğu sektörler için uygulanabilirliğini yitirmektedir. Gelir yönetiminin bu sınırlılığı, dinamik fiyatlandırma ve tedarik kararlarının bir arada yapılmasını sağlayan girişimlerin hem akademik dünyada hem de gerçek hayat uygulamalarında artması sonucunu doğurmaktadır. Chan, Shen, Simchi-Levi, & Swann (2004)'ın çalışmasında belirttiği üzere, fiyatlandırma ve tedarik stratejilerinin koordineli bir şekilde ele alınması tedarik zinciri etkinliğini arttırmada esastır ve gelir yönetimi uygulamalarının, yukarıda bahsi geçen endüstrilerde yarattığı etkiye benzer bir iz bırakma potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, son yıllarda, dinamik fiyatlandırma ve tedarik kararlarının eş zamanlı olarak verilmesi problemi önemli bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, dinamik fiyatlandırma ve tedarik kararlarının eşzamanlı olarak verildiği bir matematiksel fiyatlandırma-envanter modeline yer verilmektedir. İlgili problem literatürde birleşik fiyatlandırma-tedarik/envanter kararları problemi olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda, bir sonraki başlıkta Bölüm 4'te sunulacak olan matematiksel modele ilişkin literatürde yer alan çalışmalar anlatılacaktır.

3.3 LİTERATÜR TARAMASI

Fiyatlandırma ve tedarik kararlarının bir araya getirilmesi problemi oldukça geniş bir çalışma alanıdır. Bu tez çalışmasında, stokastik talep varsayımı altında bir birleşik fiyatlandırma-tedarik problemi ele alınmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu varsayımlara sahip olan çalışmalar bu başlık altında kendine yer bulacaktır.

Bu alanda yapılmış birçok farklı literatür taraması çalışması bulunmaktadır. Petruzzi ve Dada (1999), 1999 yılına kadar gerçekleştirilen koordineli fiyatlandırma ve gazeteci çocuk modeli ile ilgili çalışmaları içeren literatürü incelemiştir. Elmaghraby ve Keskinocak (2003), dinamik fiyatlandırma ve envanter kararlarının eşzamanlı olarak verilmesi problemi ile ilgilenen çalışmaları, müşterilerin satın alma alışkanlıkları ve planlama ufku boyunca tedarik imkanına ilişkin varsayımlar gibi birçok farklı açıdan sınıflandırarak, oldukça geniş bir biçimde incelemiştir. Chan, Shen, Simchi-Levi, & Swann (2004), ilgili literatürü işletmeler arasındaki rekabeti göz önüne alan veya talep öğreniminin karar verme süreci içerisinde yer aldığı varsayımları altında yapılan çalışmaları da kapsayacak biçimde incelemiştir. Ek olarak çalışmalarında, fiyat ve

envanter kontrolüne ilişkin sektörel uygulamalara yer vermişlerdir. Xin ve Simchi-Levi (2012), envanter tedarikinin kritik rol oynadığı envanter sistemleri için koordineli fiyatlandırma ve tedarik kararları çalışmalarını içeren bir literatür taraması yapmışlardır.

Bu başlık altında ilk olarak fiyata bağımlı talep fonksiyonuna ilişkin bilgiler verilecektir. Daha sonra, tek dönem planlama ufkuna sahip fiyatlandırma-tedarik problemini ele alan çalışmalara yer verilecektir. Son olarak ise, çok dönemli fiyatlandırma-tedarik problemlerine odaklanan çalışmalar, sabit sipariş maliyeti varsayımına göre kategorize edilerek iki ayrı başlık altında tanıtılacaktır.

3.3.1 Talep Fonksiyonları

Stokastik birleşik fiyatlandırma ve envanter modellerinin birçoğu, fiyata p bağlı deterministik bir talep fonksiyonu, $d(p)$, ve fiyattan bağımsız bir rassal terimin, ϵ , bir araya getirilmesiyle oluşan bir stokastik talep fonksiyonuna, $D(p, \epsilon)$, sahip olmaktadır. Söz konusu rassal terim, belirli bir dağılımdan gelen ve talebe ait belirsizliği ifade eden bir rassal değişkendir. Talebe ait kritik olan nokta, rassallığın talep fonksiyonuna entegre edilme yöntemidir. Bir başka deyişle, talep modelinin yapısını, rassal terimin modele dahil edilme biçimi belirlemektedir. Bu doğrultuda, genelleştirilmiş talep fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Chen & Simchi-Levi, 2004).

$$D(p, \epsilon) = d(p)\epsilon_1 + \epsilon_2 \quad (42)$$

Yukarıda verilen talep fonksiyonu (42)'de yer alan ilk rassal gürültü terimi ϵ_1 beklenen değeri 1 olan, $\mathbf{E}[\epsilon_1] = 1$, bir rassal değişkendir. Diğer rassal değişken ϵ_2 ise beklenen değeri 0, $\mathbf{E}[\epsilon_2] = 0$, olan bir değişken olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla bahsedilen koşullar altında, her iki talep fonksiyonuna ait beklenen değer deterministik talep fonksiyonuna karşılık gelmektedir. Talep fonksiyonunun deterministik kısmını oluşturan fonksiyon, $d(p)$, fiyata bağlı azalan bir fonksiyondur ve literatürde genel olarak doğrusal bir biçimde ifade edilmektedir. Dolayısıyla, $a > 0$ ve $b > 0$ olmak üzere matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$d(p) = b - ap \quad (43)$$

Literatürde en sık kullanılan fiyata bağımlı talep fonksiyonları ise yukarıda (42) no'lu eşitlikte verilen talep fonksiyonunun varyasyonlarıdır. Bu doğrultuda, (42) no'lu eşitlikte yer alan ϵ_2 değerinin 0 olarak kabul edilmesi, $\epsilon_2 = 0$, çarpımsal talep fonksiyonunu, $D(p, \epsilon_1) = d(p)\epsilon_1$, meydana getirmektedir. Çarpımsal talep fonksiyonunda yer alan deterministik talep fonksiyonu, $d(p)$, $a > 0$ ve $b > 1$ olmak üzere, genellikle $d(p) = ap^{-b}$ olarak ifade edilmektedir. ϵ_1 değerinin 1 olarak kabul edilmesi ile, $\epsilon_1 = 1$, toplamsal talep fonksiyonu, $D(p, \epsilon_2) = d(p) + \epsilon_2$, elde edilmektedir ve deterministik talep genellikle (43) no'lu eşitlikte yer aldığı gibi ifade edilmektedir. Rassal terim, çarpımsal talep modelinde, deterministik talep fonksiyonunu ölçeklendirirken, toplamsal talep modelinde, talebin deterministik talep üzerinde rassal olarak hareket etmesini sağlamaktadır.

Bu başlık altında en sık kullanılan stokastik ve deterministik talep fonksiyonlarına yer verilmiştir. Bununla beraber, literatürde birçok farklı formda talep fonksiyonları kullanılmaktadır. Fiyata bağımlı talep fonksiyonlarına ilişkin detaylı bir inceleme Talluri & Van Ryzin (2006) ve Xin & Simchi-Levi (2012)'ye ait çalışmalarda bulunabilir.

3.3.2 Tek Dönemli Modeller

Bu başlık altında, tek dönemli bir planlama ufkuna sahip mamul veya mamuller için birleşik fiyatlandırma ve envanter kararlarını konu edinen çalışmalara yer verilmektedir. İlgili problem, çok dönemli birleşik fiyatlandırma-envanter problemleri için bir yapıtaş niteliğindedir. Temel olarak, Başlık 2.3.1'de incelenen gazeteci çocuk modeline, fiyatın karar verici tarafından kontrol edildiği ve talebin ilgili fiyata bağımlı olarak meydana geldiği varsayımının dahil edilmesiyle problem oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda, karar verici, bir dönemlik satış sezonu sonunda elde edilen karın beklenen değerini optimize edecek şekilde, sipariş miktarı q ($q \geq 0$) ve birim satış fiyatının p belirlenmesi problemiyle ilgilenmektedir. Dolayısıyla, bir dönem süresince gerçekleşen olaylar dizisi şu şekilde olmaktadır. Dönem başında, her bir mamul bir birim başı sipariş maliyetine c katlanılarak temin edilmektedir. Bu durumda, dönem başında oluşan toplam sipariş maliyeti cq ile ifade edilmektedir. Dönem boyunca fiyata bağımlı talep $D(p, \epsilon)$ meydana gelmektedir ve dönem sonunda elde kalan her bir birim stok için elde bulundurma

maliyetine h , karşılanamayan her bir birim talep içinse kayıp satış veya bir diğer deyişle ceza maliyetine s katlanılmaktadır. Böylelikle, talep miktarına ve dönem başı sipariş miktarına ilişkin dönem sonunda elde edilecek gelirin ve katlanılacak olan envanter maliyetinin beklenen değeri sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$R(q, p) = \mathbf{E}[p \min(q, D(p, \epsilon))] \quad (44)$$

$$H(q, p) = \mathbf{E}[h \max(q - D(p, \epsilon), 0) + s \max(D(p, \epsilon) - q, 0)] \quad (45)$$

(44) ve (45) no'lu eşitlikler göz önüne alınarak, beklenen geliri maksimize eden amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\max R(q, p) - cq - H(q, D(p, \epsilon)) \quad (46)$$

Eşitlik (46)'da yer alan probleme ilişkin literatürde yer alan çalışmaların temel olarak iki ana odak noktası bulunmaktadır. Dolayısıyla, çalışmaların bir bölümü, rassal terimin talep modeline dahil edilme yöntemine göre, (46) no'lu eşitliği maksimize eden optimal fiyat üzerine etkisini incelemişlerdir. Diğer bölümü ise, ilgili probleme ilişkin optimal çözümün varlığını ve tekliğini farklı varsayımlar altında inceleyen çalışmalardan oluşmaktadır.

Birleşik fiyatlandırma ve envanter kararları problemi üzerine akademik araştırmalar Whitin (1955)'in çalışması ile başlamıştır. Bir başka deyişle, fiyatın karar değişkeni olarak yer aldığı gazeteci çocuk modeli ilk defa, Whitin (1955) tarafından incelenmiştir. İlgili çalışmada, beklenen marjinal gelir ile beklenen marjinal kayıp fonksiyonlarını eşitliğe kavuşturan sipariş miktarı düzeyinin optimal sipariş seviyesi olduğu belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak, fiyata bağımlı stokastik talebin, sürekli tekdüze dağılıma sahip olduğu varsayımı altında, probleme ilişkin kapalı formda bir çözüm sunulmuştur. Bu doğrultuda, ilk olarak fiyata bağlı bir fonksiyon olarak optimal sipariş miktarı belirlenmekte ve sonraki aşamada ise, beklenen karı maksimize eden optimal fiyat elde edilmektedir. Whitin (1955)'in çalışması talep varsayımı açısından kısıtlı olsa da çok daha karmaşık talep modelleri ile ilgilenen çalışmalar için son derece önemli ve ufuk açıcı bir başlangıç noktası olmuştur.

Mills (1959), elde bulundurma ve bulundurma maliyetini göz ardı ederek (46) no'lu eşitlikte yer alan problem ile ilgilenmiştir. Bu varsayım altında, fiyata bağımlı talep

fonksiyonunun belirsizlik içermediği durumda elde edilen optimal fiyatı risksiz fiyat olarak, belirsizliğin söz konusu fonksiyona dahil edildiği vakit hesaplanan optimal fiyatı ise optimal riskli fiyat olarak ifade etmiştir. Bu doğrultuda, fiyata bağımlı talep fonksiyonunun toplamsal bir yapıda olduğu varsayımı altında optimal riskli fiyat ile optimal risksiz fiyat değerlerini karşılaştırarak rassal terimin optimal fiyat üzerine olan etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, çalışmada, optimal riskli fiyatın marjinal maliyet eğrisinin şekline göre değiştiği, fakat hiçbir zaman optimal risksiz fiyattan daha yüksek olmadığı gösterilmiştir.

Karlin & Carr (1962), (46) no'lu eşitlikte yer alan tek dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini, talebin çarpımsal bir formda olduğu varsayımı altında incelemiştir. Çalışmalarında, Mills (1959)'in çalışmasında elde edilen bulguların aksine, sabit marjinal maliyet ve çarpımsal talep varsayımı altında elde edilen optimal fiyatın her zaman için optimal risksiz fiyattan yüksek olduğu gösterilmiştir.

Mills (1959) ve Karlin & Carr (1962)'a ait çalışmalar göz önüne alındığında görülmektedir ki, fiyattan bağımsız olan rassal terimin talep modeline dahil edilme biçimine göre optimal riskli fiyat, risksiz fiyat karşısında farklı pozisyon almaktadır. Petruzzi & Dada (1999), literatürde yer alan bu çelişkinin altında yatan nedene odaklanmışlardır. Bu doğrultuda, toplamsal talep modelinde, talep varyansının fiyattan bağımsız ve varyasyon katsayısının ise fiyata bağlı yükselen bir fonksiyon olduğu belirtmişlerdir. Çarpımsal talep modelinde ise, talep varyansının fiyata bağlı azalan bir fonksiyon ve varyasyon katsayısının ise fiyattan bağımsız olduğunu ifade etmişlerdir. Böylelikle, belirsizlik ortamında, dönem boyunca talebin elde bulundurulmuş envanterden fazla veya az gelme riskini azaltmak amacıyla, toplamsal talep modelinde, talebe ait varyasyon katsayısını düşürmek gerektiğini ve bunun ancak optimal risksiz fiyattan daha düşük bir satış fiyatı belirlemek ile mümkün olduğunu açıklamışlardır. Benzer şekilde, çarpımsal talep modelinde, aynı amaçla talep varyansının optimal risksiz fiyattan daha yüksek bir fiyat belirlenerek azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Petruzzi & Dada (1999), ek olarak, birleşik envanter ve fiyatlandırma modelinin sonuçlarını, stokastik terimin talep modeli içerisine dahil edilmiş biçimine bakmaksızın anlamaya yönelik bir yapı geliştirmişlerdir. Bunun için, stoklama faktörü kavramını tanıtmışlardır. Her iki model için de, z stoklama faktörünü temsil etmektedir ve toplamsal

model için, $z = q - d(p)$, çarpımsal model için ise, $z = q/d(p)$ olarak gösterilmektedir. Bu doğrultuda, (46)'da verilen amaç fonksiyonu, stoklama faktörü cinsinden ifade edilerek, denk bir optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Dolayısıyla, ilgili dönüşümden sonra, optimal kararlar satış fiyatı ve stoklama faktörü üzerine olmaktadır. Sipariş miktarının stoklama faktörü yardımı ile ifade edilmesi problemin analitik olarak daha kolay çözülebilir hale getirmektedir. Geliştirilen yapının temelinde, z değişkenine bağlı bir baz fiyat konsepti yatmaktadır ve baz fiyat, beklenen satış değerini optimize eden değer olarak tanıtılmaktadır. Optimal fiyat ise baz fiyat üzerine prim fiyatın eklenmesiyle elde edilmektedir. Prim fiyatın değeri, dönem boyunca talebin elde bulundurulmuş envantere fazla veya az gelme riskine bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, toplamsal model varyansı altında, talebin varyansı fiyattan bağımsız olduğu için, prim fiyat sıfır olmaktadır. Çarpımsal modelde ise, prim fiyat kullanılarak ilgili risk düşürülmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla, Petruzzi & Dada (1999), her iki talep modeli için de optimal fiyatın baz fiyattan daha yüksek veya eşit olduğunu göstermişlerdir.

Li & Atkins (2005), toplamsal ve çarpımsal talep modellerini göz önüne alarak, ilgili probleme ait optimal fiyat kararı ve beklenen kar ile talep modellerinde yer alan rassal terimin değişkenlik düzeyi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İlgili modele, ceza ve elde bulundurma maliyeti dahil edilmemiştir. Stokastik talep modelinde yer alan deterministik talep fonksiyonunun (43) no'lu eşitlikte olduğu gibi doğrusal olduğu varsayımlardır. Bu doğrultuda, $\check{\epsilon}$, beklenen değeri μ ve varyansı σ^2 olan bir rassal değişken olmak üzere, fiyattan bağımsız olarak gerçekleşen rassal değişken aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\check{\epsilon}_\beta = \beta\check{\epsilon} + (1 - \beta)\mu \quad (47)$$

Toplamsal talep modeli için $\check{\epsilon}$, $[\underline{\alpha}, \bar{\alpha}]$ aralığında tanımlı bir rassal değişken iken çarpımsal talep modeli için negatif olmayan olarak tanımlanmıştır. İlgili çalışmada, $\check{\epsilon}_\beta$ 'ye ait değişkenliğin artırılması β 'nin artırılması ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla, talep belirsizliğine ait değişkenliğin artırılması ile, toplamsal talep modelinde daha düşük optimal satış elde edildiği gösterilmiştir. Çarpımsal talep modelinde ise, stokastik olarak değişkenlik arttıkça optimal satış fiyatı artarken, beklenen kar düşmektedir.

Xu, Chen, & Xu (2010), fiyata bağlı talep modelinde yer alan belirsizliğin, birleşik fiyatlandırma ve gazeteci çocuk modeline ilişkin optimal kararlar üzerine etkisini

incelemişlerdir. Dönem sonunda elde bulundurulan envanterin birim başına bir hurda değeri karşılığında elden çıkarıldığını ve karşılanamayan her bir talep için birim ceza maliyetine katlanıldığı bir model üzerine düşünmüşlerdir. Çalışmalarında, hem toplamsal talep modeli hem de çarpımsal talep modeli kullanarak, talebe ait belirsizlik parametreleri dışında özdeş olan iki envanter sistemi için stokastik kıyaslamalara yer vermişlerdir. Bu kapsamda, kıyaslamalara imkan vermek amacıyla stokastik büyüklük¹ ve stokastik baskınlık² tanımlarından tanımından faydalanılmıştır.

Xu, Chen, & Xu (2010), stokastik olarak daha büyük olan rassal değişkenin daha büyük bir beklenen değere ($E[\epsilon_1] \geq E[\epsilon_2]$) sahip olduğunu belirtmişlerdir. $E[\epsilon_1] = E[\epsilon_2]$ olması durumunda ise, stokastik olarak daha baskın olan rassal değişkenin ($\epsilon_1 \succ_{ssd} \epsilon_2$) daha az değişkenlik gösterdiğini ifade etmişlerdir ($\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$). Buradan yola çıkarak, ilgili çalışmada, talebin toplamsal olduğu varsayımı altında, stokastik olarak daha büyük olan talebin daha yüksek optimal satış fiyatına, stokastik olarak daha değişken talebin ise belirli koşullar altında daha düşük optimal satış fiyatına sebebiyet verdiği gösterilmiştir. Talebin çarpımsal olduğu varsayımı altında ise, stokastik olarak daha büyük olan talebin fiyata ilişkin herhangi bir sonucu verebileceği, stokastik olarak daha değişken olan talebin ise belirli koşullar altında daha yüksek optimal satış fiyatına sahip olduğu gösterilmiştir. Xu, Chen, & Xu (2010)'nun söz konusu çalışmasında elde edilen bulguların Li & Atkins (2005)'de yer alan sonuçlarla örtüştüğü görülmektedir.

Chua & Liu (2015), deterministik talep fonksiyonunun stokastik terimle çarpımsal olarak bir araya geldiği, hurda değer ve kayıp satış durumunun söz konusu olduğu bir tek dönemli birleşik fiyatlandırma-envanter modelini ele almışlardır. Bununla beraber, talebin yükselen bir fiyat esnekliğine sahip olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Dolayısıyla, Chua & Liu (2015), Li & Atkins (2005)'in çalışmasında yer alan deterministik talep varsayımını yumuşatmış ve birçok talep yapısı için geçerli olmak üzere, talebin değişkenliği arttıkça optimal satış fiyatının yükseldiği göstermişlerdir. Buna ek olarak, iso-esnek deterministik talep yapısı için, $d(p) = p^{-q}$, hurda değer sıfır

¹ Bütün t 'ler için, eğer $\Pr\{\epsilon_1 > t\} \geq \Pr\{\epsilon_2 > t\}$ ise, rassal değişken ϵ_1 rassal değişken ϵ_2 'den stokastik olarak daha büyüktür ve $\epsilon_1 \succ_{st} \epsilon_2$ olarak ifade edilmektedir.

² ϵ_1 ve ϵ_2 , $[L_\epsilon, U_\epsilon]$ aralığında tanımlı iki rassal değişken olsun. Böylelikle, $z \in [L_\epsilon, U_\epsilon]$ tüm z değerleri için geçerli olmak üzere, eğer $\int_{L_\epsilon}^z F_1(x)dx \leq \int_{L_\epsilon}^z F_2(x)dx$ ise, ϵ_1 ikinci dereceden stokastik olarak ϵ_2 'ye baskın gelmektedir ve $\epsilon_1 \succ_{ssd} \epsilon_2$ olarak ifade edilmektedir.

olmak üzere, talebe ait belirsizlik arttıkça, optimal sipariş miktarının daha düşük bir değer aldığı gösterilmiştir.

Söz konusu probleme ilişkin kimi çalışmalar, karar vericinin beklenen karının optimize edilmesi yanında üreticinin karının da beklenen karına ait optimal çözüm ile de ilgilenmiştir. Bu doğrultuda, Emmons & Stephen (1998), iade politikalarının, tek dönemlik planlama ufkuna sahip katalog ürünlerine ilişkin birleşik fiyatlandırma ve envanter kararları üzerine etkisini incelemiştir. Klasik gazeteci çocuk modelinden farklı olarak, perakendecinin envanteri satış dönemi öncesinde bir üreticiden birim başına toptan satış fiyatı karşılığında satın aldığı ve satış sezonu sonunda elde kalan envanteri, belirli bir birim fiyattan iade ettiği bir envanter ortamı incelenmiştir. İlgili modelde, elde bulundurma ve bulundurmama maliyetleri saf dışı bırakılmıştır. Bu doğrultuda, talebin çarpımsal formda olduğu ve fiyata bağlı deterministik talep fonksiyonunun doğrusal olduğu varsayımında bulunulmuştur. İlgili envanter ortamında, Karlin & Carr (1962)'da elde edilen bulgulara paralel olarak optimal riskli satış fiyatının her zaman için optimal risksiz fiyattan daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Buna ek olarak, birim toptan satış fiyatının belirli bir eşik fiyattan yeterince büyük belirlenmesi durumunda, iade imkanının hem üretici hem de perakendecinin beklenen karını arttırmakta olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen, üreticiye ait beklenen karı maksimize edecek optimal çözümü analitik olarak elde edememişlerdir.

Granot & Yin (2005), Emmons & Stephen (1998)'in ortaya koyduğu problemden yola çıkarak, aynı varsayımlarla, üreticinin beklenen denge karını optimize eden optimal denge toptan satış fiyatı ve optimal denge iade fiyatını veren kapalı formda ifadeleri elde etmişlerdir. Benzer şekilde, üreticinin optimal kararlarına ilişkin kapalı formda ifadelerden faydalanarak, perakendecinin denge karını maksimize eden optimal denge satış fiyatı ve optimal denge sipariş miktarını elde etmeye yönelik formülasyonları sunmuşlardır. Fiyata bağlı beklenen talebin doğrusal olduğu varsayımının yanında, Granot & Yin (2005), ilgili problemi, beklenen talebin iso-elastik, $d(p) = p^{-q}$, veya üstel, $d(p) = e^{-p}$ bir fonksiyon olduğu varsayımları altında da incelemiştir. Bu bağlamda, beklenen talep fonksiyonunun iso-elastik olduğu varsayımı altında, üretici için optimal politikanın perakendeciye iade seçeneği sunmamak, doğrusal veya üstel olduğu varsayımları altında ise, iade politikası uygulamak olduğu gösterilmiştir.

Şu ana kadar incelenen çalışmalar karar vericinin riske duyarsız olduğu varsayımı altında incelenmiştir. Agrawal & Seshadri (2000), riskten kaçınan bir perakendeci için tek dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini beklenen faydanın optimize edilmesi amacı altında çalışmışlardır. Daha önce incelenen çalışmalardan farklı olarak, söz konusu makalede, dönem boyunca gerçekleşen talebin elde bulundurulmuş envanter miktarını aşması halinde, dönem başı satın alma fiyatından daha yüksek olan acil satın alma fiyatı karşılığında envanter tedarik imkanı bulunduğu varsayımı yapılmaktadır. Benzer şekilde, dönem sonunda elde envanter bulundurulması durumunda perakendecinin ilgili envanter biri başına hurda fiyatı karşılığında iade etme seçeneğinin bulunduğu varsayımı kabul edilmektedir. İlgili envanter sistemi için fiyatlandırma ve sipariş kararları ile belirsizlik arasındaki ilişkiye dikkat çekilmektedir. Bu bağlamda, Agrawal & Seshadri (2000), toplamsal talep modeli varsayımı altında, riskten kaçınan karar vericinin, riske duyarsız karar vericiye kıyasla daha düşük bir optimal fiyata ve daha düşük bir optimal sipariş miktarına, çarpımsal talep modelinde ise, riskten kaçınan karar vericinin, riske duyarsız karar vericiye oranla daha yüksek bir optimal fiyata ve daha düşük bir optimal sipariş miktarına sahip olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, literatürde yer alan bulgulardan farklı olarak, talep modelinin toplamsal bir yapıda olduğu varsayımı altında, riske duyarsız karar vericiye ait optimal fiyatın optimal risksiz fiyatla aynı olduğunu göstermişlerdir. Bu farklılığın, talebin karşılanamaması durumunda katlanılan maliyetin literatürde yer alan yöntemlerin aksine, acil satın alma fiyatı kullanılarak elde edilmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar farklı talep modellerinde yer alan belirsizliğin fiyat üzerine olan etkisini konu edinmiştir. Bununla beraber, ilgili literatürün bir diğer odak noktası (46) no'lu eşitlikte yer alan formülasyon veya varyasyonları için optimal çözümün varlığı ve eşsizliğinin gösterimidir.

Zabel (1970), dönem başında, sipariş verilmeden önce elde bulundurulmuş envanter düzeyinin negatif olmayan herhangi bir miktar olabileceği varsayımı altında ilgili modeli incelemiştir. (46) no'lu eşitlikten farklı olarak, ceza maliyetini sıfır kabul etmişlerdir. Söz konusu çalışmada, çarpımsal bir talep modeli ele alınmış ve talebin üstel veya tekdüze dağılıma sahip olması durumunda optimal bir fiyat ve sipariş miktarının varlığı ve eşsizliği gösterilmiştir.

Young (1978), talebin aşağıda gösterildiği gibi bir yapıda olduğu varsayımında bulunmuştur.

$$D(p, \epsilon) = d(p)\epsilon + u(p) \quad (48)$$

Denklem (48)'de yer alan $d(p)$ ve $u(p)$ fiyata bağlı deterministik talep fonksiyonlarıdır ve ϵ , beklenen değeri 1 olan bir rassal değişkendir. İlgili talep modeli ve ceza maliyeti varsayımı altında Zabel (1970)'in çalışması genişletilmiştir. Bu doğrultuda, Young (1978), talebe ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun logaritmasının talebe bağımlı konkav bir fonksiyon olduğu (Beta, Gama, Weibull dağılımlarına ait olasılık yoğunluk fonksiyonları bu özelliği taşımaktadır.) veya lognormal dağılımını takip ettiği durumlar için optimal çözümün eşsizliğini ve varlığını göstermiştir. Bunun yanı sıra, Mills (1959) ve Karlin & Carr (1962)'in çalışmalarında yer alan bulgulara paralel olarak, talebin toplamsal olduğu varsayım altında, optimal riskli fiyatın hiçbir zaman optimal risksiz fiyattan daha yüksek olmadığını, çarpımsal talep varsayımı altında ise, optimal fiyatın her zaman için optimal risksiz fiyattan daha yüksek olarak belirlendiğini göstermiştir.

Literatürde sıkça kullanılan toplamsal ve çarpımsal talep modeli üzerine yapılan varsayımlarının fiyat ve talep varyansı arasındaki ilişkiyi kısıtlıyor olması, araştırmacıları yeni talep modeli varsayımları arayışına itmiştir (bkz. Petruzzi & Dada (1999)). Yao, Chen, & Yan (2006), toplamsal ve çarpımsal talep modelleri üzerine çok daha genel varsayımlarda bulunmuşlardır. Bu sebeple, fiyat esnekliği ve hata oranı kavramlarını literatüre kazandırmışlardır. Fiyat esnekliği kavramı, fiyatta, p , meydana gelen yüzdelik değişimin talebin beklenen değerinde, $d(p)$, oluşturduğu yüzdelik değişimin ölçümü ile ilgilenmektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$e = \frac{-p \partial d(p)}{\partial p} / d(p) \quad (49)$$

Yao, Chen, & Yan (2006), talebin beklenen değerinin fiyata göre birinci türevinin sıfırdan büyük olması halinde, talebin beklenen değerinin yükselen fiyat esnekliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Hata oranı kavramı ise stokastik talep modelinde yer alan rassal değişken, ϵ , ile ilgilenmektedir. Söz konusu rassal değişkene ait kümülatif

yoğunluk fonksiyonu ve olasılık yoğunluk fonksiyonu, sırasıyla, $F(\epsilon)$ ve $f(\epsilon)$ olmak üzere rassal değişkenin hata oranı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$r(\epsilon) = \frac{f(\epsilon)}{1 - F(\epsilon)} / d(p) \quad (50)$$

İlgili rassal değişkenin, sahip olduğu hata oranı ile çarpılması sonucu genelleştirilmiş hata oranı fonksiyonu, $g(\epsilon)$, elde edilmektedir ve. Yao, Chen, & Yan (2006), $g(\epsilon)$ 'nin birinci türevinin sıfırdan büyük olması halinde, ϵ 'un genelleştirilmiş sıkı yükselen hata oranına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Marjinal üretim maliyeti c , elde bulundurma ve ceza maliyetleri sıfır ve fiyat üst sınırı \bar{p} olsun. Bu kapsamda, çalışmada, çarpımsal talep modeli için, $d(p)$ 'nin yükselen fiyat esnekliğine ve ϵ 'un genelleştirilmiş sıkı yükselen hata oranına sahip olması durumunda, fiyat $[c, \bar{p}]$ aralığında tanımlı iken, beklenen kar fonksiyonunun kuasi-konkav olduğu ve dolayısıyla eşsiz bir maksimum noktasına sahip olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, toplamsal talep modeli için ise, çarpımsal talep modelinden farklı olarak, ϵ 'un yükselen hata oranına sahip olması durumunda, beklenen karı maksimize eden optimal bir fiyatın ve sipariş miktarının bulunduğu gösterilmiştir.

Kocabiyikoglu & Popescu (2011), sadece sipariş maliyetini içeren bir model ile ilgilenmiştir ve kayıp satış oranı esnekliği kavramını temel olarak oluşturulan genel bir talep modeli yapısını literatüre sunmuşlardır. Kayıp satış oranı esnekliğini, belirli bir sipariş miktarına ilişkin, fiyatta meydana gelen yüzdelik değişime karşılık kayıp satış oranında oluşan yüzdelik değişim olarak tanımlamışlardır. Sipariş miktarı, x , satış fiyatı, p olmak üzere ve fiyata duyarlı talep, $D(p)$ olmak üzere, Kocabiyikoglu & Popescu (2011), kayıp satış oranı ve kayıp satış oranı esnekliğini, sırasıyla, aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade etmişlerdir.

$$q(p, x) = 1 - F(p, x) = 1 - \Pr \{D(p) \leq x\} \quad (51)$$

$$\varepsilon(p, x) = \frac{-p \partial q(p, x)}{\partial p} / q(p, x) \quad (52)$$

Kocabiyikoglu & Popescu (2011), risksiz gelir fonksiyonunun, $pd(p, \epsilon)$, konkav olduğu varsayımında bulunmuştur. Bu kapsamda, tek dönemi kapsayan birleşik fiyatlandırma-envanter kararlarına ait beklenen kara ilişkin optimal çözümün, kayıp satış oranı esnekliği

üzerinden tanımlanan yeterli şartlar sağlandığı takdirde, varlığını ve tekliğini göstermişlerdir. Kayıp satış oranının esnekliğinin yükselen bir fonksiyon olması bu şartlardan bir tanesidir ve Yao, Chen, & Yan (2006) tarafından öne sürülen yükselen hata oranı varsayımı ile örtüşmektedir. Bununla beraber, Kocabiyikoglu & Popescu (2011), önerilen yaklaşımın toplamsal ve çarpımsal talep modelinin yanı sıra, daha genel talep modelleri için de uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Lu & Simchi-Levi (2013), Young (1978) tarafından öne sürülen toplamsal-çarpımsal talep modelini kullanmışlar ve rassal değişkenin beklenen değerinin sıfır, varyansının ise 1 olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Karar vericinin, maliyet olarak sadece sipariş/üretim maliyetine katlandığı kabul edilmiştir. Ek olarak, (i) risksiz kar fonksiyonunun logaritmasının konkav, (ii) talebe ait değişim katsayısını veren fonksiyonunun logaritmasının konveks ve (iii) dönem sonunda elde envanter bulundurulmasına koşullu olarak rassal terimin beklenen değeri veren fonksiyonunun logaritmasının konveks bir fonksiyon olması durumunda beklenen kar fonksiyonunun logaritmasının konkav olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, Kocabiyikoglu & Popescu (2011)'nin çalışmasının temelinde yer alan yükselen kayıp satış oranı esnekliği, dolayısıyla, yükselen hata oranı varsayımı ile (iii) numaralı koşulun birbirleri yerine kullanımı sorusuna cevap aramışlar ve bu iki varsayımın birbirini tamamlayıcı varsayımlar olduğunu belirtmişlerdir.

Xu, Cai, & Chen (2011), dönem sonunda elde kalan envanterin birim hurda değeri ile elden çıkarıldığı ve karşılanamayan talep için herhangi bir maliyete katlanılmadığı varsayımında bulunmuştur. Yao, Chen, & Yan (2006)'e ait çalışmada, deterministik talep fonksiyonu ve rassal gürültü terimi üzerine kabul edilen varsayımlarını temel alan bir model üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu doğrultuda, beklenen kar fonksiyonunu maksimize eden optimal kararların elde edilmesine ilişkin genel bir çözüm prosedürü öne sürmüşlerdir.

Raza (2014), Scarf, Arrow, & Karlin (1958) tarafından ortaya konulan min-max şemasını kullanarak, tek dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemine ait beklenen gelir fonksiyonu için bir alt sınır tahmini geliştirmişlerdir ve böylelikle, beklenen değeri ve standart hatası bilinen fiyata bağımlı talep için kullanılabilir dağılımdan bağımsız bir deterministik yaklaşım geliştirmişlerdir. Raza (2014), ilgili deterministik yaklaşımla elde

edilen gelir fonksiyonun kuasi-konkav bir yapıda olduğunu ve dolayısıyla, optimal çözümün toplamsal ve çarpımsal talep modelleri için eşsizliğini göstermişlerdir. Ek olarak, ilgili yaklaşıma ilişkin optimal fiyat ve miktar değerleri için bir çözüm prosedürü sunmuşlardır.

Abad (2014), ilgili problemi, ceza maliyeti yerine hizmet düzeyi kısıtı altında incelemiştir. Talebin toplamsal veya çarpımsal olduğu ve talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin kısaltılmış (truncated) normal dağılımı takip ettiği varsayımında bulunmuşlardır. Ek olarak, deterministik talep fonksiyonunun yükselen fiyat esnekliğine sahip olduğunu varsaymışlar, fakat sonuçları vurgulamak amacıyla doğrusal veya sabit fiyat esnekliği fonksiyonunu (fiyat esnekliği > 1 koşulu ile) kullanmışlardır. Bu doğrultuda, her iki talep modeline ilişkin, hizmet düzeyi kısıtı altında ilgilenilen problemi optimize eden bir çözüm prosedürü önermişlerdir. Bu çözüm prosedürüne göre, Petruzzi & Dada (1999) tarafından kullanılan stoklama faktörü belirlenmekte ve ilgili stoklama faktörüne ilişkin optimal fiyat belirlenmektedir.

Jammerneegg & Kischka (2013), gazeteci çocuk modelini, talebin fiyata bağımlı ve çarpımsal bir fonksiyon olduğu varsayımı altında incelemiştir. İlgili modelde, dönem sonunda elde kalan envanter bir hurda satış değeri karşılığında başka bir dağıtım kanalına satılmaktadır. Bununla beraber, minimum hizmet düzeyi kısıtı ve negatif kar olasılığına ilişkin bir üst sınır kısıtı yer almaktadır. Bu anlamda, literatürde yer alan çalışmalardan ayrılmaktadır. Jammerneegg & Kischka (2013), minimum hizmet düzeyi ve negatif kar olasılığı üst sınırı değerlerine ilişkin farklı kabul edilebilir fiyat aralıkları bulunduğunu göstermiştir. Beklenen gelirin fiyata bağımlı kuasi-konkav bir varsayımında bulunarak ve fiyat aralıklarından yararlanarak optimal fiyat, miktar ve karın elde edilmesine ait adımları içeren bir çözüm yaklaşımı öne sürmüşlerdir.

Dana Jr & Petruzzi (2001), firmanın karşılaştığı stokastik talebin fiyat ve envanter seviyesine bağlı olduğu bir model üzerine odaklanmışlardır. İlgili çalışma, şimdiye kadar incelen çalışmalarda müşteri üzerine yer alan varsayımlardan farklı olarak müşterinin rasyonel olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımına göre, müşteri ilgili mamulü satın almak üzere firmaya gitme ile ikame ürünü haricen temin etme kararı arasında bir seçim yapmak durumundadır ve firmayı ziyaret edip ilgili mamulü stokta bulamama olasılığını göz önüne almaktadır. Bu doğrultuda, müşteri, seçim kararını verirken, firmanın hizmet

düzeyini, firmaya ait mamule ve ikame ürüne biçtiği değeri göz önüne almaktadır. Müşteri, verdiği karar neticesinde bir fayda elde etmektedir ve beklenen faydasını optimize etme amacını gütmektedir. Dana Jr & Petruzzi (2001) müşteriye ait bu tercih kararını da modelin içerisine dahil ederek ilgili fiyat ve envanter politikasına ait optimal çözümün varlığını ve eşsizliğini göstermişlerdir. Bununla beraber, ilgili iki boyutlu karar problemini, iki aşamada çözülen tek değişkenli optimizasyon problemine dönüştürmüşlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların tümü fiyatın deterministik bir karar değişkeni olduğu varsayımı üzerine yoğunlaşmıştır. Sana (2012), talebin fiyata duyarlı olduğu ve fiyatın bir olasılık yoğunluk fonksiyonunu takip ettiği varsayımı altında ilgili problemi incelemiştir. Bu doğrultuda, belirli talep fonksiyonları ve fiyata ait dağılım fonksiyonları için optimal çözümün varlığını göstermiştir.

Arikan & Jammerneegg (2009), (46) no'lu eşitlikte yer alan problem için, talep modelinin deterministik talep fonksiyonu ve rassal terimin herhangi bir kombinasyonundan oluştuğu varsayımı yerine fiyatı talep dağılımının bir parametresi olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Bu kapsamda, talep dağılımına odaklanmışlardır. Literatürde beklenen talep değeri üzerine yapılan varsayıma karşılık gelecek şekilde, fiyatın yükseldikçe düşük talep elde etme olasılığının da yükseldiğini varsayımlardır. Bu doğrultuda, (52) no'lu eşitlikte yer alan deterministik talep fonksiyonu yerine beklenen satış fonksiyonun eklenmesiyle beklenen satışın fiyat esnekliği kavramını tanıtmışlardır. Sonuç olarak, beklenen satışın fiyat esnekliğinin fiyata bağlı yükselen bir fonksiyon olması durumunda, beklenen karın unimodal formda olduğu ve dolayısıyla, optimal çözümün eşsiz olduğunu göstermişlerdir.

3.3.3 Çok Dönemli Modeller

Bu başlık altında, stokastik talebe sahip bir veya birçok ürüne ait birleşik fiyatlandırma ve envanter kararlarının birden fazla dönem için verilmesi ile ilgilenen çalışmalara yer verilecektir. Söz konusu çalışmalar, sipariş maliyetlerinin yapısına göre ikiye ayrılmaktadır. Bu doğrultuda, ilk olarak, maliyet kalemleri içerisinde sabit sipariş maliyetine yer vermeyen çok dönemli çalışmalar incelenecektir. Sonrasında ise her bir

sipariş sonucunda, birim değişken maliyete ek olarak, sabit bir sipariş maliyetine katlanıldığı varsayımını içeren çok dönemli modeller incelenecektir.

3.3.3.1 Sabit Sipariş Maliyeti İçermeyen Çok Dönemli Modeller

Sipariş verme sürecinde sadece birim değişken maliyete katlanıldığı varsayımında bulunan birleşik fiyatlandırma ve envanter problemi, N dönemden oluşan planlama ufku boyunca elde edilmesi beklenen toplam gelirin maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, her dönem başında optimal sipariş miktarı ve fiyatlandırma kararları verilmektedir. Herhangi bir dönem başında, kararlar dizisi Başlık 3.3.2’de yer verilen birleşik fiyatlandırma ve gazeteci çocuk modeline oldukça benzerlik göstermektedir. Bu doğrultuda, dönem başında optimal karar belirli bir miktarda siparişin verilmesi ise eğer, sipariş miktarına bağlı bir toplam değişken maliyete katlanılmaktadır. Aksi halde dönem başında bir sipariş maliyetine katlanılmamaktadır. Her iki durum için de, sipariş kararı ile birlikte optimal bir satış fiyatı belirlenmektedir. Dönem süresince ise, belirlenen fiyata ilişkin stokastik talep meydana gelmektedir. Dönem boyunca gerçekleşen talebin, dönem başı sipariş sonrası envanter düzeyinden düşük olması durumunda ise kayıp satış veya gecikmeli teslim maliyetine katlanılmaktadır. Gecikmeli teslim durumunda elde edilecek gelir, satışın gerçekleştiği döneme ilişkin mamul fiyatının satış miktarı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Dönem sonu itibarıyla, dönem boyu meydana gelen talebin dönem başı sipariş sonrası envanter miktarından fazla olması durumunda, elde bulundurma maliyetine katlanılmaktadır. Bununla beraber, açıkça görülmektedir ki, dönem sonunda elde bulundurulan envanter miktarı, kendisinden sonra gelen dönem veya dönemlere ait talebi karşılanmak üzere kullanılabilir. Bu çerçevede, söz konusu temel problem, Başlık 3.3.2’de verilen notasyon kullanılarak, dinamik programlama modeli aracılığıyla aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 J_n(y, p) &= p_n E[D_n(p_n, \epsilon_n)] - c_n y - H_n(y, p_n) \\
 &\quad + \alpha E[V_{n+1}(y - D_n(p_n, \epsilon_n))] \\
 V_n(x) &= \max_{s.t. y \geq x, \bar{p} \geq p \geq \underline{p}} \{J_n(y, p)\} + c_n x
 \end{aligned} \tag{53}$$

Yukarıda yer alan formülasyonda, her bir n dönemi için sipariş sonrası envanter düzeyi, y , dönem başı envanter miktarı, x ve indirgeme faktörü, α ile gösterilmektedir. V_n , n döneminden itibaren $((n, n + 1, \dots + N)$ dönemleri için) maksimum beklenen indirgenmiş karı ifade etmektedir. J_n ise n dönemine ait değer fonksiyonunu tanımlamaktadır. Ek olarak, ilgili formülasyon gecikmeli teslim durumu göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, literatürde yer alan çalışmalar, (53) no'lu eşitlikte yer alan formülasyona ve varyasyonlarına ait optimal bir politikanın elde edilmesine ve ilgili politikanın yapısını karakterize eden genel şartların belirlenmesi üzerine odaklanmıştır.

Thowsen (1975), elde bulundurma, bulundurmama maliyetlerinin konveks ve fiyata bağımlı talep fonksiyonunun toplamsal bir yapıda olduğu varsayımı altında çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini incelemiştir. Talep fonksiyonunda yer alan stokastik terim, negatif talep olasılığından kaçınmak amacıyla belirli bir aralıkta tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, Thowsen (1975), herhangi bir dönem sonunda karşılanamayan talebin tamamının veya bir kısmının gecikmeli olarak teslim edildiği durumları içeren bir dinamik programlama modeli sunmuştur. Bu varsayımlara ek olarak, ilgili model, ayrıca kayıp satış durumuna imkan verirken, elde bulundurulan envanterin zaman içerisinde tamamen veya bir bölümünün bozulduğu varsayımlarını da kapsamaktadır. Bozulan envanterlerin belirli bir birim hurda değeri karşılığında elden çıkarıldığı varsayımı kabul edilmektedir.

Thowsen (1975), çalışmasında sunduğu modele ilişkin optimal bir politikanın varlığını göstermek üzere, ilk olarak, problemi iyi konumlandırılmış (well-posed) hale getirecek birkaç varsayımda bulunmuştur. Bu varsayımlardan yola çıkarak, optimal çözüme ilişkin şartları belirlemiştir. Bu bağlamda, optimal politikanın her bir dönem için, n ($0 \leq n \leq N$), bir optimal sipariş yükseltme düzeyi, y_n^* , ve envanter düzeyine bağlı bir optimal fiyat, $p_n^*(x_n)$, ile tanımlandığını göstermişlerdir. Bu politikaya göre, eğer dönem başı envanter düzeyi, x_n , optimal sipariş yükseltme düzeyi y_n^* 'den düşük ise, $y_n^* - x_n$ kadar sipariş verilmeli ve satış fiyatı $p_n^*(y_n^*)$ olarak belirlenmelidir. Aksi halde sipariş verilmemeli ve mamule ait satış fiyatı $p_n^*(x_n)$ olarak ayarlanmalıdır.

Söz konusu çalışmada, öne sürülen şartların sağlanmasının oldukça zor olduğu ifade edilmiştir. Buna rağmen, Thowsen (1975), elde bulundurma maliyetinin konveks, elde

bulundurmama maliyetinin doğrusal, deterministik talep fonksiyonunun doğrusal bir fonksiyon olması varsayımı altında ve stokastik talep fonksiyonunda yer alan rassal terimin PF_2^3 dağılımını takip etmesi durumunda, optimal politikanın yukarıda belirtildiği gibi olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, Thowsen (1975), satışlara ait gelirin satışın gerçekleştiği dönemden λ dönem sonra alındığı durumu ele almıştır. Bu duruma ilişkin, talep eğrisinin konkav ve karşılanamayan talebin tümüyle gecikmeli olarak teslim edildiği varsayımı altında, elde bulundurmama maliyeti fonksiyonunun yapısı ve rassal terime ait olasılık dağılım fonksiyonu üzerine ek varsayımlar yapılmaksızın ilgili politikaya ait optimallik şartlarının sağlandığı gösterilmiştir.

Federgruen & Heching (1999), elde bulundurma, bulundurmama maliyetlerinin konveks ve fiyata bağlı talep fonksiyonunun (48) no'lu eşitlikte yer alan yapıda olduğu varsayımını yapmışlardır. Talep fonksiyonunun fiyata bağımlı artmayan, konkav bir fonksiyon olduğu ve dönem boyunca karşılanamayan talebin tümüyle gecikmeli olarak teslim edildiği varsayılmıştır. Bununla beraber, herhangi bir döneme ait gelirin dönem sonunda elde edildiği ve beklenen gelir fonksiyonunun fiyata bağımlı konkav bir fonksiyon olduğu kabul edilmiştir. Fiyat ve sipariş sonrası envanter düzeyine bağımlı olan tek dönemlik beklenen dönem sonu maliyeti ifade eden $(H_n(y, p_n))$ fonksiyonun ise ortak konveks (joint convex) olduğunu varsayımlardır. Bu varsayımın, beklenen talep fonksiyonunun doğrusal olması ile geçerli olduğunu göstermişlerdir. Bu varsayımlar altında, çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini hem N dönemden oluşan sonlu bir planlama ufku, hem de sonsuz planlama ufku için ele almışlardır.

Fiyatın çift yönlü olarak değiştirilebildiği ve sonlu bir planlama ufkuna sahip envanter ortamı için, Federgruen & Heching (1999), (54) no'lu eşitlikte yer alan $V_n(x)$ fonksiyonunun x 'e bağımlı konkav ve artmayan bir fonksiyon olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, ilgili dönem için optimal fiyatın x 'e bağımlı artmayan bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Bu doğrultuda, toplam beklenen indirgenmiş karı optimize eden politikanın, Thowsen (1975)'in çalışmasında öne sürülen politika olduğunu göstermişlerdir ve bu politikanın, *temek stok liste fiyatı politikası* olduğunu ifade

³ ϵ , olasılık dağılım fonksiyonu $\phi(\epsilon)$, ve birikimli dağılım fonksiyonu, $\varphi(\epsilon)$ olan bir rassal değişken olsun. Bu doğrultuda, her bir s değeri için, eğer $\phi(\epsilon)/(\varphi(\epsilon + s) - \varphi(\epsilon))$ ϵ 'a bağımlı azalmayan bir fonksiyon ise, $\phi(\epsilon)$ PF_2 dağılımına sahip bir rassal değişkendir. Tekdüze, normal ve kesikli normal (truncated normal) dağılımları PF_2 dağılımlarıdır.

etmişlerdir. Fiyat değişikliğinin sadece indirim söz konusu olduğu vakit mümkün olması durumu için ise, optimal politikanın temel stok liste fiyatı politikasına benzer bir politika olduğunu göstermişlerdir. Bu politikaya göre, eğer herhangi bir dönem başında optimal fiyat, bir önceki dönemin optimal fiyatından daha düşük ise optimal politika temel stok liste fiyatı politikası olmaktadır. Aksi halde dönem başı sipariş öncesi envanter düzeyi, x_n , bir önceki dönem optimal sipariş yükseltme düzeyi $y_{n-1}^*(p_{n-1}^*)$ 'den daha düşük ise, envanter düzeyi $y_{n-1}^*(p_{n-1}^*)$ seviyesine yükseltilmeli ve optimal satış fiyatı p_{n-1}^* olarak belirlenmelidir, değilse, herhangi bir sipariş verilmemeli ve optimal fiyat $p_n^*(x_n) \leq p_{n-1}^*$ eşitsizliğini sağlayan bir fiyat olacak şekilde belirlenmelidir.

Federgruen & Heching (1999), planlama ufkunun sonsuz olduğu varsayımı altında, optimal politikanın hem fiyat serbestliği hem de sadece indirimlerin geçerli olduğu durumlar için temel stok liste fiyatı politikası olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, temel modelde yer alan gecikmeli teslim varsayımı yerine karşılanamayan talebin birim sipariş maliyetinden daha yüksek maliyete sebebiyet veren acil sipariş imkanı ile karşılanması varsayımını ilgili modele entegre etmişlerdir. Bu durum için, optimal politikanın yapısının aynı kaldığını göstermişlerdir. Benzer şekilde, temel modele sipariş miktarı üzerine bir kapasite kısıtının olduğu varsayımını eklemişlerdir. Bu bağlamda, optimal politikanın, yukarıda ifade edilen politikanın bir varyasyonu olduğu gösterilmiştir. İlgili politikaya göre, eğer dönem başı envanter düzeyi optimal sipariş yükseltme düzeyinden düşük ise ve optimal sipariş yükseltme düzeyi ile dönem başı envanter düzeyi arasındaki fark kapasite kısıtından küçükse, optimal sipariş yükseltme düzeyine kadar sipariş verilmelidir, aynı zamanda optimal fiyat sipariş sonrası envanter düzeyine göre belirlenmelidir. Aksi halde kapasitenin imkan verdiği düzeyde sipariş verilmeli ve yine, optimal fiyat sipariş sonrası envanter düzeyine göre belirlenmelidir. Federgruen & Heching (1999), ayrıca, gecikmeli teslim varsayımı yerine modele kayıp satış durumunu eklemiş, fakat bu durumda optimalite şartlarının sağlanmadığını ifade etmiş ve dolayısıyla, söz konusu politikanın optimal olmadığı belirtilmiştir.

Son olarak, Federgruen & Heching (1999), optimal politikaya ilişkin parametrelerin elde edilebilmesine yönelik bir çözüm algoritması sunmuşlardır. İlgili algoritmadan yararlanarak, dinamik fiyatlandırma stratejisinin sabit fiyat yaklaşımına karşı avantajlarını ve talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin çalışmalarında sunulan

politikaya ilişkin optimal değerler üzerine etkisini gösteren bir sayısal örneğe yer vermişlerdir.

Federgruen & Heching (2002), bir dağıtım merkezi ve farklı konumda bulunan birçok perakendeciden oluşan bir dağıtım sistemine ait çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemi ile ilgilenmiştir. Söz konusu probleme göre, her bir dönem başında, dağıtım merkezi ihtiyaç duyulan envanter miktarını tedarikçiye sipariş olarak geçmektedir ve ilgili siparişi belirli bir sürede temin etmektedir. Dağıtım merkezinde envanter tutulmamaktadır, dolayısıyla, temin edilen miktar, perakendeciler arasında dağıtılmaktadır. Perakendeciler, karşılanamayan talebi gecikmeli olarak teslim etmektedirler. Dağıtım süresi, perakendeciye bağımlı olarak değişebilmektedir. Her bir perakendeci aynı satış fiyatı ile mamulü satmaktadırlar. Bu doğrultuda, her bir dönem başında verilmesi gereken üç karar bulunmaktadır; (i) tedarikçiden talep edilecek sipariş miktarı, (ii) ilgili döneme ilişkin belirlenecek satış fiyatı, (iii) dağıtım merkezi tarafından temin edilen envanterin perakendeciler arasında dağıtımını kararı. Bu kararlar kapsamında, karar verici toplam beklenen indirgenmiş karın optimize edilmesi ile ilgilenmektedir.

Planlama ufku N dönemden oluşuyor ve ilgilenilen perakendeci sayısı G olsun. Federgruen & Heching (2002), herhangi bir n ($0 \leq n \leq N$) dönemi içerisinde ve g ($j = 1, 2, \dots, G$) perakendecisine ait stokastik talep fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$D_{gn}(p_n) = [\gamma_{gn} + \delta_{gn}p_n]\epsilon_{gn} + [\eta_{gn} + \theta_{gn}p_n] \quad (54)$$

Eşitlik (54)'de verilen stokastik talep fonksiyonu hem toplamsal hem de çarpımsal talep fonksiyonunu kapsamaktadır. Federgruen & Heching (2002), her bir perakendeciye ait her bir dönemdeki belirsizliği ifade eden stokastik terimler vektörünün ($\epsilon^n = \{e_{gn}: g = 1, 2, \dots, G\}$) çok değişkenli dağılıma (multivariate distribution) sahip olduğu varsayımında bulunmuştur. Bununla beraber, tüm birim maliyetler zamana bağımlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Federgruen & Heching (2002), ana hatları çizilen modelin tam karşılığı olan dinamik programlama modelinin çözüme ulaştırılmasının oldukça zor olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple, görece olarak daha basit bir yapıda olan yaklaşık bir model geliştirmişlerdir. Bu doğrultuda, söz konusu yaklaşık model için optimal politikanın temel stok liste fiyatı

politikası olduğunu göstermişlerdir. Buna ek olarak, çalışmada, dört sezgisel strateji geliştirilmiş ve geniş çaplı bir sayısal çalışma üzerinden, yaklaşık model referans alınarak sezgisel yaklaşımların geçerliliği incelenmiştir. Ayrıca ilgili sayısal çalışma ile, talebin değişkenliği, perakendeci sayısı, toplam tedarik süresi gibi sistem parametrelerinin birleşik fiyatlandırma ve envanter stratejisi üzerine etkilerini göstermişlerdir.

Chan, Simchi-Levi, & Swann (2006), karar vericinin kısmi planlama stratejisini benimsediği varsayımında bulunmuşlardır. Kısmi planlama stratejisine göre, kararlardan biri (fiyatlandırma/envanter) tüm dönemler için planlama ufkunun başında verilirken, diğeri, önceki dönemlerde gerçekleşen talep göz önüne alınarak her bir dönemin başında verilmektedir. Planlama ufkunun başında verilen kararın fiyatlandırma olması durumunda, ilgili strateji *ertelenmiş üretim stratejisi* olarak tanımlanmaktadır. Aksi halde ise, *ertelenmiş fiyatlandırma stratejisi* olarak adlandırılmaktadır. Üretimin, mevcut kapasiteye bağımlı olarak kısıtlı olduğu ve dönem boyunca karşılanamayan talebin kayıp satış durumuna düştüğü varsayılmıştır. Buna ek olarak, karar verici, her dönem başında, elde bulunduran envanterin bir kısmını gelecek dönemlerde oluşacak talebi karşılamak ve böylece, karlılığı arttırmak üzere ayırabilmektedir. Chan, Simchi-Levi, & Swann (2006), bu durumu *keyfi satışlar* olarak ifade etmiştir.

Chan, Simchi-Levi, & Swann (2006), stokastik talebin fiyata bağımlı genel bir fonksiyon ve stokastik terime ilişkin dağılımın bilinen bir dağılım olduğunu varsaymışlardır. Ayrıca stokastik terimin fiyata bağımlı bir dağılımı takip edebileceği varsayımını kabul etmişlerdir. Elde bulundurma maliyeti doğrusal bir yapıdadır. Planlama ufku sonunda elde bulunduran envanter belirli bir birim hurda değeri karşılığında elden çıkarılmaktadır. Bununla beraber, optimal fiyatlar belirli bir ayırık (discrete) fiyat kümesinden seçilmektedir. Tüm parametreler zaman içerisinde değişkenlik göstermektedir. Bu kapsamda, gecikmeli üretim stratejisi için, gelir fonksiyonunun konkav olduğu gösterilmiş ve optimal politikanın her döneme ilişkin optimal sipariş yükseltme düzeyi, y_n^* ve keyfi satış miktarı, k_n^* ile tanımlandığı belirtilmiştir. Bu politikaya göre, dönem başı envanter miktarı y_n^* 'den düşükse ve kapasite yeterliyse, y_n^* 'a kadar sipariş verilmeli, k_n^* düzeyinde envanter ise gelecek satışlar için saklanmalıdır. Kapasite, envanter düzeyinin y_n^* 'e kadar yükseltilmesi için yeterli değilse, kapasite yettiğince sipariş verilmeli ve keyfi satış için mümkün olduğunca envanter ayrılmalıdır.

Gecikmeli fiyatlandırma stratejisi için ise, gelir fonksiyonunun konkavlık özelliğini yitirdiği gösterilmiş ve dolayısıyla optimal politikanın temel stok liste fiyatı olmadığı ifade edilmiştir.

Chan, Simchi-Levi, & Swann (2006), her iki strateji için de sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu sezgisel yaklaşımlardan yola çıkarak, sayısal bir çalışmaya yer vermişlerdir. İlgili çalışmaya göre, belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda gecikmeli üretim stratejisi gecikmeli fiyatlandırma stratejisine göre genellikle daha etkin olmaktadır. Bununla beraber, ilgili stratejilerin faydaları talebe ait mevsimselliğe göre değişkenlik göstermektedir. Ek olarak, ilgilenilen stratejilerin sabit fiyat yaklaşımına kıyasla daha yüksek kar getirdiği gösterilmiştir.

Feng, Luo, & Zhang (2013), (48) no'lu eşitlikte yer alan talep fonksiyonu varsayımı altında çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemine odaklanmıştır. Karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiğini ve her bir karşılanamayan talep için birim ceza maliyetine katlanıldığını varsayımlardır. Tek döneme ait dönem sonu envanter maliyetlerini veren fonksiyonun ise konveks bir yapıda olduğu kabul edilmiştir. Federgruen & Heching (1999)'de yer alan ve herhangi bir döneme ait beklenen kar fonksiyonunun konkav olmasını sağlayan ana varsayımların, deterministik talep fonksiyonun fiyata bağlı doğrusal olmayan bir fonksiyon olması durumunda geçersiz olduklarını göstermişlerdir. Bu doğrultuda, temel liste fiyatı politikası için bir takım alternatif optimalite şartları belirlemişlerdir.

Feng, Luo, & Zhang (2013) tarafından öne sürülen optimalite şartlarının temelinde probleme ilişkin karar değişkenlerinin başka karar değişkenleri tarafından ifade edilmesi yatmaktadır: Böylelikle, risk seviyesi ve güvence stoğu değişkenlerini aşağıda gösterildiği gibi, sırasıyla fiyat ve sipariş miktarı değişkenleri açısından tanımlamıştır.

$$g_n(\tau_n) \equiv d_n^{-1}(\tau_n) \quad z_n \equiv q_n - u_n(g_n(\tau_n)) \quad (55)$$

Eşitlik (55)'de verilen denkliklerde n indisi, dönemi ifade etmektedir, $d_n(\cdot)$ ve $u_n(\cdot)$ ise (48) no'lu eşitlikte yer alan fiyata bağımlı deterministik talep fonksiyonlarına karşılık gelmektedir. $g_n(\cdot)$ fonksiyonu $d_n(\cdot)$ fonksiyonunun tersi olarak tanımlanmıştır. Böylelikle, $d_n(p_n) = \tau_n$ eşitliği, $p_n = g_n(\tau_n)$ eşitliğini belirtmektedir ve τ_n , z_n , sırasıyla risk seviyesi ve güvence stoğu olarak adlandırılmaktadır. Sipariş miktarı ise, q_n

olarak gösterilmiştir. Feng, Luo, & Zhang (2013), ilgili dönüşümü kullanarak, birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini, her bir dönem için optimal güvence stoğu ve risk seviyesinin saptanması problemi olarak ifade etmiştir. Bu doğrultuda, her bir dönem için risk seviyesine bağımlı beklenen gelir fonksiyonunun ve $u_n(g_n(\tau_n))$ 'in konkav olduğunu göstermişlerdir. Ek olarak, olurlu kararlar kümesinin (feasible decisions set) konveks olduğunu belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak, amaç fonksiyonunun güvence stoğu ve risk düzeyine bağımlı ortak konkav, belirli bir dönemden itibaren maksimum beklenen karı veren yineleme fonksiyonunun ise envanter düzeyine bağımlı konkav ve artmayan bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Böylelikle, optimal politikanın temel stok liste fiyatı politikası olduğu kanıtlanmıştır.

Söz konusu çalışmada, her bir dönem için risk seviyesine bağımlı beklenen gelir fonksiyonunun ve $u_n(g_n(\tau_n))$ 'in konkav olması için yeterli koşullar, stokastik talep fonksiyonunda yer alan deterministik talep fonksiyonları yardımıyla belirlenmiştir. Böylelikle, optimalite şartları, maliyet parametreleri ve talep fonksiyonunun dağılımdan bağımsız olmaktadır. Çalışma, bu açıdan, literatürde yer alan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Ayrıca, temel stok liste fiyatı politikasının, doğrusal olmayan talep fonksiyonları varsayımı altında da optimal olduğu gösterilmiştir.

Şu ana kadar incelenen çalışmalar arzın bilindiği varsayımında bulunmuşlardır. Li & Zheng (2006), ilgili problemi, arzın belirsiz olduğu varsayımı altında incelemiştir. Bir diğer deyişle, üretimden sağlanan çıktı miktarı bir rassal değişken olarak kabul edilmektedir ve bu değişken, üretim miktarına bağımlı bir dağılımı takip etmektedir. Bu doğrultuda, herhangi bir n döneminde, üretim miktarı, q ve ρ_n pozitif bir rassal değişken olmak üzere, üretim çıktısı miktarı, $Q_n(q) = q\rho_n$ olarak ifade edilmektedir. Stokastik talep fonksiyonunu toplamsal olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, deterministik talep fonksiyonunun doğrusal bir fonksiyon veya kuvvet fonksiyonu olduğu varsayımında bulunulmuştur. Karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir. Bununla beraber, bir döneme ait beklenen gelirin konkav ve elde bulundurma, bulundurmama maliyetlerinin konveks bir yapıda olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, söz konusu çalışmada, toplam beklenen indirgenmiş karı optimize etmek üzere her bir dönem için optimal üretim miktarı ve fiyatın saptanması amaçlanmaktadır.

Li & Zheng (2006), tek bir döneme ilişkin beklenen kar fonksiyonunun, dönem başı envanter miktarı, üretim miktarı ve fiyata bağımlı ortak konkav (jointly concave) bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Buradan yola çıkarak, toplam beklenen indirgenmiş kar fonksiyonunun konkav olduğunu göstermişler ve dolayısıyla, her bir döneme ilişkin dönem başı envanterine bağımlı olarak optimal kararların varlığını ispatlamışlardır. Sonuç olarak, her bir döneme ilişkin bir eşik değeri bulunduğunu ve optimal politikanın, dönem başı envanter miktarının bu eşik değerden düşük olması halinde dönem başı envanter miktarı göz önüne alınarak üretim yapılması olduğunu belirtmişlerdir. Aksi halde üretim yapılmamaktadır. Benzer şekilde, optimal politikaya göre, fiyatlar da dönem başı envanter miktarına göre belirlenmektedir.

Qi (2010), üretim/sipariş miktarının bir kapasite ile sınırlı olduğu ve bu kapasitenin rassal bir değişken olarak kabul edildiği varsayımı altında birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini incelemiştir. Fiyata bağımlı stokastik talep fonksiyonunun toplamsal olduğu varsayımı yapılmıştır. Karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir ve dönem sonunda elde bulunduran envanter bir sonraki döneme taşınmaktadır. Dönem sonu elde bulundurma ve gecikmeli teslim maliyetini ifade eden fonksiyon konveks yapıdadır. Bu doğrultuda, Qi (2010), dönem başı envanter düzeyine bağımlı optimal kar fonksiyonunun konkav olduğunu göstermiştir. Ayrıca, rassal kapasite söz konusu olduğu vakit, ilgili problemin deterministik talep altında incelenmesi halinde bile temel stok liste fiyatı politikasının optimalliğini yitirdiği gösterilmiştir. Dolayısıyla, yeni bir optimal politikanın varlığı gösterilmiştir. Bu politikaya göre, her dönem için sipariş yükseltme düzeyi, hedef güvence stoğu ile risksiz talebin toplanması ile elde edilmektedir. Hedef güvence stoğu, sipariş miktarı ve talebin beklenen değerinden bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, ilgili politika, dönem başı envanter düzeyi sipariş yükseltme düzeyinin altında ise, sipariş verilmeli, aksi halde verilmemelidir. Optimal sipariş miktarı ve fiyat ise hedef güvence stoğuna ulaşmak üzere belirlenmektedir. Qi (2010), rassal kapasitenin çok yüksek belirlenmesi halinde, önerilen politikanın temel stok liste fiyatı politikasıyla örtüştüğünü belirtmiştir.

Zhu & Thonemann (2009), incelenen diğer çalışmalardan farklı olarak, iki mamul satışı ile ilgilenen bir perakendeci için söz konusu problemi ele almışlardır. Her bir mamule ait gerçekleşen talebin, her iki mamulün de fiyatına bağımlı olduğunu kabul etmişlerdir. Dönem sonunda elde bulunduran envanter bir sonraki döneme taşınmaktadır ve her bir

envanter için bir birim maliyete katlanılmaktadır. Karşılanamayan talebin ise gecikmeli olarak teslim edildiği varsayılmaktadır. Bu doğrultuda, perakendeci toplam beklenen karı maksimize etmek amacıyla her bir mamule ilişkin satış fiyatlarını ve sipariş miktarlarını belirlemekle ilgilenmektedir.

Her bir n dönemi için, ilgili mamuller i ($i = 1,2$) ve j ($j = 3 - i$) indisleriyle gösterilmek üzere, i mamulüne ait fiyatlara bağımlı stokastik doğrusal talep fonksiyonu, $D_{it} = \epsilon_{it} - \alpha_{it}p_{it} + \beta_{it}p_{jt}$ olarak ifade edilmektedir. Zhu & Thonemann (2009), ilgili problem için Langarian ve Karush-Kuhn-Tucker koşullarından faydalanarak optimalite şartlarını elde etmiştir. Bu şartlar yardımıyla optimal politikayı belirlemişlerdir. Optimal politikaya göre, eğer dönem başında her iki mamule ait envanter düzeyleri eşik değerin altındaysa, her iki mamul için de sipariş verilmeli, eğer sadece bir mamule ait envanter düzeyi eşik değerin altındaysa ve sadece ilgili mamul için sipariş verilmeli, eğer her iki mamul için de envanter düzeyi eşik değerin üzerindeyse, sipariş verilmemelidir. Bununla beraber, fiyatlandırma kararları ise mamullerin sahip olduğu çapraz fiyat talep esnekliğine, β_{it} , göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, $\beta_{1t} = \beta_{2t}$ ise, fiyatlandırma kararları temel stok liste fiyatı politikasında olduğu gibidir. Fakat, $\beta_{1t} > \beta_{2t}$ durumunda, mamul 1'e ait dönem başı envanter düzeyi eşik değerden yüksek ve mamul 2'ye ait dönem başı envanter düzeyi eşik değerden düşük ise, mamul 1'e ait optimal fiyat temel stok liste fiyatından düşük olurken, mamul 2'nin fiyatı temel stok liste fiyatından daha yüksek olarak belirlenmektedir.

Pang, Chen, & Feng (2012), sipariş verilen envanter miktarının belirli bir tedarik süresi ile işletme stoğuna dahil olduğu varsayımı altında söz konusu problemi incelemiştir. Stokastik talep modelinin fiyata bağımlı toplamsal bir model olduğu varsayımında bulunulmuştur. Herhangi bir döneme ait beklenen gelir fonksiyonunun konkav ve dönem sonu envanter maliyetinin konveks bir fonksiyon olduğu varsayılmıştır. Karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir. Bu bağlamda, Pang, Chen, & Feng (2012), probleme ilişkin optimal beklenen indirgenmiş kar fonksiyonunun $L^\#$ -konkav olduğunu göstermiştir. Bu özellik, belirli optimal çözümlerin, monoton karşılaştırmalı istatistiğe ait sonuçlarının saptanarak kıyaslanmalarına imkan vermektedir (Topkis, 2011). Böylelikle, durum vektörüne bağımlı bir optimal politikanın varlığını ispat etmişlerdir. Bununla

beraber, Pang, Chen, & Feng (2012), optimal politikanın yapısına ait özellikleri kısmen saptamıştır.

Bu bölüme kadar incelenen çalışmalar, fiyat değişimlerinin herhangi bir maliyete katlanılmadan yapıldığı varsayımını temel almaktadır. Chen, Zhou, & Chen (2011), birbirini takip eden dönemler arasında fiyat farkı bulunması durumunda bir fiyat değişimi maliyetinin ortaya çıktığını varsaymışlardır. Fiyata bağımlı stokastik talebin (42) no'lu eşitlikte verilen yapıya benzer doğrusal bir yapıda olduğunu varsaymışlardır. Chen, Zhou, & Chen (2011), probleme ilişkin genel bir modele ait optimal politikanın yapısı sunmanın oldukça zor olması sebebiyle ilgili problemin iki özel durumunu incelemiştir; (i) dönem sonunda elde bulundurulan envanterin bir sonraki döneme taşınmasına imkan tanıyan ve (ii) tanımayan model. İlk modele göre, dönem sonunda elde bulundurulan envanter için bir elde bulundurma maliyetine ve karşılanamayan talep için bir gecikmeli teslim maliyetine katlanılmaktadır. Diğer model için ise, dönem sonunda elde bulundurulan envanter miktarı birim hurda değeri karşılığında satılmaktadır ve karşılanamayan her bir talep için acil sipariş imkanı ile karşılanmaktadır.

Chen, Zhou, & Chen (2011), her bir dönem için beklenen gelir fonksiyonunun konkav olduğunu ifade etmiştir. (i) no'lu model için, fiyat değişikliği maliyeti fonksiyonunun sadece fiyat değişikliğinin boyutuna bağımlı bir fonksiyon olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Buna ek olarak, bir döneme ait maliyet fonksiyonunun konkav ve fiyat değişikliği maliyetinin konveks olduğunu belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, dönem başı envanter miktarı, x ve bir önceki dönemin satış fiyatı, p_{n-1} olmak üzere, n döneminden itibaren maksimum beklenen indirgenmiş karı veren yineleme fonksiyonu $V_n(x, p_{n-1})$ 'in x 'e bağımlı artmayan bir fonksiyon olduğu gösterilmiştir. Sonrasında, $V_n(x, p_{n-1})$ 'in x ve p_{n-1} 'e bağımlı ortak konkav (jointly concave).ve alt modüler (submoduler) bir fonksiyon olduğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, (i) no'lu model için optimal politikanın temel stok liste fiyatı olduğunu belirtmişlerdir. Diğer model için ise, (i) no'lu modelden farklı olarak fiyat değişikliği maliyeti, sabit bir maliyet de içermektedir. İlgili ek maliyet literatürde menü maliyeti veya fiziksel maliyet olarak geçmektedir. Bu doğrultuda, K-konkavlık ve simetrik K-konkavlık kavramlarından yola çıkarak, her bir döneme ilişkin optimal envanter miktarının temel stok politikasını takip ettiği, optimal fiyatın ise (s, S) envanter politikasına bağlı olarak belirlendiği gösterilmiştir.

3.3.3.2 Sabit Sipariş Maliyeti İçeren Çok Dönemli Modeller

Bu başlık altında, sipariş maliyetinin, sabit sipariş maliyeti ve değişken maliyetten oluştuğu varsayımını kabul eden çalışmalara yer verilecektir. Bir başka deyişle, her bir döneme ilişkin toplam sipariş maliyeti fonksiyonunun konkav olduğu varsayımını temel alan çalışmalara odaklanılacaktır. Herhangi bir dönem içerisinde gerçekleşen olayların sırası, siparişe ilişkin sabit bir sipariş maliyetine katlanması haricinde, bir önceki başlık altında incelenen problemle aynı olmaktadır. Sabit sipariş maliyetinin, Eşitlik (53)'de yer alan dinamik programlama modeline dahil edilmesi, problemi çok daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu doğrultuda, literatürde yer alan çalışmalar, genel olarak, optimal fiyatlandırma ve sipariş kararlarına ilişkin yapının özelliklerinin saptanmasına odaklanmaktadır.

(53) no'lu eşitlikte verilen dinamik programlama modelini, sabit sipariş maliyetini göz önüne alarak inceleyen ilk çalışma Thomas (1974) tarafından öne sürülmüştür. Thomas (1974), ilgili çalışmasında, birim değişken sipariş maliyetini sıfır olarak kabul etmiştir ve karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği varsayımında bulunmuştur. Ek olarak, uygun fiyatlar (feasible prices) kümesinin sonlu sayıda elemandan oluştuğunu varsaymıştır. Bu doğrultuda, optimal politikaya ilişkin şartların elde edilmesinin oldukça zor olduğunu belirtmekle beraber, (s_n, S_n, p_n) politikasının optimal olabileceği görüşünde bulunmuştur. Bu politikaya göre, eğer dönem başı envanter miktarı, s_n seviyesinden daha yüksek ise, sipariş verilmemeli ve optimal fiyat dönem başı envanter miktarına göre belirlenmelidir. Aksi halde sipariş S_n düzeyine kadar sipariş verilmeli ve fiyat sipariş sonrası envanter düzeyi olan S_n 'e göre belirlenmelidir.

Thomas (1974), optimal (s_n, S_n, p_n) değerlerini saptayan bir algorithmadan faydalanarak, birçok sayısal örneğe ait sonuçları sunmuştur. Bu sonuçlara göre, (s_n, S_n, p_n) politikasının çoğu zaman optimal olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, uygun fiyatlar kümesinin az sayıda elemandan oluşması ve uygun fiyatlar arasındaki farkın büyük olması durumunda, birçok yerel maksimum noktasının oluşabileceğini ve bu sebeple, (s_n, S_n, p_n) politikasının optimal olmayabileceğini ifade etmiştir.

Polatoglu & Sahin (2000), karşılanamayan talebin kayıp satış durumuna düştüğü ve birim başına bir maliyet oluşturduğu varsayımında bulunmaktadır. Benzer şekilde, dönem

sonunda elde envanter bulundurulması durumunda, her bir birim için elde bulundurma maliyetine katlanıldığı ve planlama ufku sonunda elde bulundurulan envanter miktarının birim başına hurda maliyeti karşılığında elden çıkarıldığını varsaymışlardır. Maliyet parametreleri zaman içerisinde değişkenlik gösterebilmektedir. Her bir dönem içerisinde meydana gelen talep, fiyata bağımlı alt ve üst sınır sınırlar arasında sürekli bir dağılıma sahip olan rassal bir değişken ile temsil etmişlerdir. Bununla beraber, fiyata ilişkin talep dağılımlarının stokastik olarak sıralı olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Bir diğer deyişle, x , herhangi pozitif bir miktar olmak üzere, talebin x 'den az olarak gerçekleşme olasılığı, fiyat arttıkça artmakta veya aynı kalmaktadır. Bu kapsamda, çalışmada, sabit sipariş maliyeti içeren çok dönemli birleşik envanter problemine odaklanılmaktadır.

Polatoglu & Sahin (2000), tek döneme ilişkin beklenen kar fonksiyonunun tek modlu bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Thomas (1974)'ın çalışmasına paralel olarak, optimal politikanın (s, S, p) politikası olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, her bir dönem için birden fazla sipariş yükseltme düzeyi ve her bir sipariş yükseltme düzeyi için birden fazla yeniden sipariş verme düzeyi bulunabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, bu durumun optimal sipariş politikasının belirlenmesine ilişkin ciddi problemler çıkarabileceğini belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, tek bir sipariş noktası ve sipariş yükseltme düzeyinin hangi şartlar altında mevcut olduğunu ortaya koymuşlardır.

Chen & Simchi-Levi (2004), elde bulundurma ve bulundurmama maliyetlerini veren fonksiyonların konveks bir yapıda olduğu varsayımında bulunmuştur. Planlama ufku sonlu sayıda dönemden oluştuğunu ve her bir döneme ilişkin beklenen gelir fonksiyonunun ise talebe bağımlı konkav bir fonksiyon olduğunu kabul etmişlerdir. Karşılanamayan talebin ise gecikmeli olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Toplamsal talep yapısı altında, her bir dönem için, beklenen dönem sonu envanter maliyetinin, sipariş sonrası envanter düzeyi ve talebe bağımlı ortak konveks (jointly convex) bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, Chen & Simchi-Levi (2004), k -konkavlık⁴ kavramını

⁴ k -konvekslik kavramı, (Scarf, 1959) tarafından öne sürülen K -konvekslik tanımına eşdeğer olmaktadır. Bu doğrultuda, $x_0 \leq x_1$ ve $\lambda \in [0,1]$ ise, tüm $k \geq 0$ değerleri için, aşağıdaki eşitsizliği sağlayan f fonksiyonu gerçel değerli k -konveks bir fonksiyondur.

$$f((1 - \lambda)x_0 + \lambda x_1) \leq (1 - \lambda)f(x_0) + \lambda f(x_1) + \lambda k$$

Eğer $-f$ fonksiyonu k -konveks bir yapıda ise, f fonksiyonu k -konkav bir yapıya sahiptir.

öne sürmüş ve bu kavrama ilişkin tanımdan yola çıkarak, optimal bir politikanın varlığını göstermişlerdir. Bu doğrultuda, (53)'da yer alan dinamik programlama modelinin, sabit sipariş maliyetini içerdiği varsayımı altında, $V_n(x)$ ve değer fonksiyonunun k -konkav olduğunu ispatlamışlardır. Böylelikle, ilk olarak Thomas (1974) tarafından öne sürülen (s_n, S_n, p_n) politikasının aslında optimal olduğunu göstermişlerdir.

Chen & Simchi-Levi (2004), talep fonksiyonunun (42) no'lu eşitlikte olduğu gibi kabul edilmesi durumunda ise, $V_n(x)$ fonksiyonunun k -konkavlık özelliğini yitirebileceğini ve dolayısıyla, (s_n, S_n, p_n) politikasının optimal olmayabileceğini göstermişlerdir. Optimal politikanın ispatına ilişkin bu zorluğun üstesinden gelmek için, k -konvekslikten daha zayıf bir koşul olan simetrik k -konvekslik⁵ kavramını öne sürmüşler ve $V_n(x)$ fonksiyonunun x 'e bağımlı simetrik k -konveks bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Bu doğrultuda, optimal politikanın yapısı karakterize etmişlerdir ve ilgili politikayı (s_n, S_n, A_n, p_n) politikası olarak isimlendirmişlerdir. Bu politikaya göre, $A_n \subset [s_n, (s_n + S_n)/2]$ olmak üzere, eğer dönem başı envanter düzeyi yeniden sipariş düzeyi s_n 'den düşük veya A_n kümesinin elemanı ise, sipariş yükseltme düzeyi S_n 'e kadar sipariş verilmeli, aksi halde sipariş verilmemelidir.

Chen & Simchi-Levi (2004b), söz konusu problemi, sonsuz planlama ufku varsayımı altında ele almışlardır. Bu bağlamda, Chen & Simchi-Levi (2004)'ye ait çalışmada yer alan varsayımlardan farklı olarak, maliyet, talep süreci ve gelir fonksiyonuna ilişkin parametrelerin zaman içerisinde değişmediği varsayılmıştır. Chen & Simchi-Levi (2004)'ye ait diğer varsayımlar ise geçerli olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, indirgenmiş ve ortalama kar kriteri altında optimal çözümün varlığını ve tekliği incelenmiştir. Chen & Simchi-Levi (2004) tarafından öne sürülen k -konvekslik kavramını temel alarak, hem toplamsal hem de (42) no'lu eşitlikte yer alan genel talep fonksiyonları için, optimal politikanın her iki performans ölçütü altında durağan (s, S, p) politikası olduğunu göstermişlerdir. Buna ek olarak, çalışmalarında, parametreleri bilinen bir (s, S, p) politikası için, sonsuz sayıda döneme ilişkin beklenen indirgenmiş veya ortalama

⁵ Herhangi bir x_0, x_1 değerleri mevcut ve $\lambda \in [0,1]$ ise, tüm $k \geq 0$ değerleri için, aşağıdaki eşitsizliği sağlayan f fonksiyonu gerçel değerli simetrik k -konveks bir fonksiyondur.

$$f((1 - \lambda)x_0 + \lambda x_1) \leq (1 - \lambda)f(x_0) + \lambda f(x_1) + \max\{\lambda, 1 - \lambda\}k$$

Eğer $-f$ fonksiyonu simetrik k -konveks bir yapıda ise, f fonksiyonu simetrik k -konkav bir yapıya sahiptir

karın nasıl belirlenmesi gerektiğini göstermişlerdir. Son olarak ise, parametreleri bilinen bir (s, S) politikası için, sonsuz sayıda dönemi kapsayan planlama ufkuna ait optimal fiyatlandırma stratejisinin nasıl oluşturulması gerektiğini saptamışlardır.

Chen, Ray, & Song (2006), karşılanamayan talep miktarının kayıp satışlar olarak görüldüğü varsayımı altında söz konusu problemi incelemiştir. Stokastik talep fonksiyonu toplamsal bir yapıdadır. Elde bulundurma ve bulundurmama maliyetleri fonksiyonlarının doğrusal olduğu varsayılmıştır. Sonlu planlama ufkunun sonunda elde kalan envanter miktarının, birim değişken satın alma maliyetine eşit olan birim hurda değeri karşılığında elden çıkarıldığı kabul edilmektedir. Talep fonksiyonunda yer alan deterministik talep fonksiyonunun azalan, konkav bir fonksiyon olduğu varsayılmaktadır. Bununla beraber, birim satın alma maliyeti c ve olası en yüksek fiyat P^u olmak üzere, ilgili fonksiyonun, $p \in [c, P^u]$ aralığında, $3d'' + pd''' \leq 0$ eşitsizliğini sağladığı varsayılmaktadır. Deterministik talep fonksiyonu parametreleri, stokastik terim, birim elde bulundurma ve bulundurmama maliyeti zaman içerisinde değişkenlik göstermemektedir. Talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin dağılımının ise artan hata oranına sahip olması gerektiği varsayımında bulunulmuştur. Daha açık bir ifadeyle, $F(u)$ ve $f(u)$, sırasıyla ilgili stokastik terime ait olasılık dağılım ve birikimli dağılım fonksiyonu olmak üzere, stokastik terime ilişkin hata oranı $r(u) = \frac{f(u)}{1-F(u)}$ olarak ifade edilmektedir ve hata oranının $r'(u) + 2[r(u)]^2 > 0$ eşitsizliğini sağladığı varsayılmaktadır. Bu varsayımları göz önüne alarak, Chen, Ray, & Song (2006), ilgilenilen problem için optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) politikası olduğunu göstermişlerdir.

Huh & Janakiraman (2008), maliyet parametreleri ve talep sürecinin Chen, Ray, & Song (2006)'a ait çalışmada olduğu gibi, zaman içerisinde değişmediğini varsayımlardır. Ek olarak, talep sürecinin, fiyat kararına ek olarak satış gücü teşvikleri, reklam bütçesi kararları gibi başka karar değişkenleri tarafından kontrol edilebildiği varsayımında bulunmuşlardır. Bu değişkenlerin talep süreci üzerine kontrolünü satış kaldıracı olarak adlandırmışlardır ve bu satış kaldıracını \mathbf{d} vektörü ile modellemişlerdir. Bu doğrultuda, Huh & Janakiraman (2008), optimal politikanın varlığını göstermek amacıyla, tek döneme ilişkin beklenen kar fonksiyonu $(\pi(y, \mathbf{d}))$ üzerine bir takım şartlar belirlemiştir. $Q(y) = \max_{\mathbf{d}} \pi(y, \mathbf{d})$ ve y^* , $Q(\cdot)$ fonksiyonunu maksimize eden nokta olsun. Bu doğrultuda, söz konusu çalışmada tanımlanan ilk şarta göre, $Q(y)$ fonksiyonunun kuasi-

konkav bir fonksiyon olması gerekliliği belirtilmiştir. Bu koşul, sipariş sonrası envanter düzeyi, y^* düzeyine ne kadar yakınsa, tek dönem sonunda o kadar yüksek kar elde edileceğini belirtmektedir. $\psi(\cdot)$ fonksiyonu bir sonraki döneme ilişkin başlangıç envanter düzeyi olarak kabul edilmektedir ve gecikmeli teslim durumunda $\psi(x) = x$ olurken, kayıp satış durumunda $\psi(x) = x^+$ olmaktadır. Böylelikle, ikinci koşula göre, $y^* \leq y^1 < y^2$ eşitsizliğini sağlayan y değerleri için, $\pi(y^1, \mathbf{d}) \geq \pi(y^2, \mathbf{d}^2)$ ve $\psi(y^1 - D(\mathbf{d}^1, \epsilon)) \leq \max\{\psi(y^2 - D(\mathbf{d}^2, \epsilon)), y^*\}$ eşitsizlikleri geçerli olmaktadır. Bu koşul ise, sipariş sonrası envanter düzeyi, optimal sipariş düzeyine ne kadar yakınsa, ilgili döneme ait o kadar yüksek beklenen kar elde edilebileceğini ve bir sonraki dönem başlangıç envanter düzeyinin o kadar iyi olacağını belirtmektedir. Benzer şekilde, üçüncü koşula göre, $y^* \geq y^1 > y^2$ eşitsizliğini sağlayan y değerleri için, $\pi(y^1, \mathbf{d}) \geq \pi(y^2, \mathbf{d}^2)$ ve $\psi(y^1 - D(\mathbf{d}^1, \epsilon)) \geq \psi(y^2 - D(\mathbf{d}^2, \epsilon))$ eşitsizlikleri geçerli olmaktadır.

Huh & Janakiraman (2008), karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği varsayımı altında, talep modelinin konkav ve tek döneme ilişkin beklenen kar fonksiyonunun kuasi-konkav bir fonksiyon olması ile birinci ve ikinci koşulun sağlandığını belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, indirgenmiş kar kriteri altında, sonsuz planlama ufku için optimal politikanın (s, S, p) olduğunu göstermişlerdir. Benzer şekilde, talep modelinin toplamsal bir yapıda olması halinde, herhangi bir döneme ilişkin gelir fonksiyonunun kuasi-konkav ve dönem sonu maliyet fonksiyonunun kuasi-konveks olması ile her bir şartın sağlandığını ifade etmişlerdir. Böylelikle, sonlu planlama ufku için optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) politikası olduğunu göstermişlerdir. Huh & Janakiraman (2008), karşılanamayan talebin kayıp satış durumuna düştüğü varsayımı altında ise, Chen, Ray, & Song (2006)'e ait çalışmada sunulan varsayımların, ilgili üç koşulu da sağladığını göstermişlerdir. Böylelikle, kayıp satış durumu için de optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) politikası olduğunu belirtmişlerdir.

Huh & Janakiraman (2008), birçok durumu ele almasına karşın, talebin çarpımsal olması ve karşılanamayan talebin kayıp satış olarak düşünüldüğü varsayımı altında optimal politikanın varlığına ilişkin bir değerlendirmede bulunmamıştır. Literatürde yer alan bu boşluk, Song, Ray, & Boyaci (2009)'a ait çalışma ile giderilmiştir. İlgili çalışmada, çarpımsal talep fonksiyonu, kayıp satış durumu varsayımlarının yanında maliyet ve talep parametrelerinin durağan olduğu varsayımında bulunulmuştur. Sonlu planlama ufku

sonunda elde bulundurulan envanter, birim satın alma maliyetine eşdeğer olan birim hurda değeri karşılığında elden çıkarılmaktadır. Song, Ray, & Boyaci (2009), optimal bir politikanın varlığına işaret etmek amacıyla, her bir döneme ilişkin beklenen talep fonksiyonunun ve stokastik terimin sahip olması gereken özellikleri tanımlamıştır. Buna göre, (a) $d(p)$, pozitif ve sıkı azalan bir fonksiyondur, (b) $d(p)$, artan fiyat esnekliğine sahiptir, (c) $d(p)/d'(p)$ oranı fiyata bağımlı monoton ve konkav iken, $p + d(p)/d'(p)$ sıkı artan bir fonksiyondur. Song, Ray, & Boyaci (2009), beklenen talep fonksiyonu üzerine tanımlanan ilgili şartların ((a),(b),(c)), sıkça kullanılan birçok talep fonksiyonu tarafından sağlandığını belirtmiştir. Bununla beraber, yazarlar, talep fonksiyonunda yer alan rassal terimin genelleştirilmiş sıkı artan hata oranına sahip olması gerekliliğini belirtmişlerdir. Bu varsayımlar altında, tek döneme ait beklenen kar fonksiyonunun tek modlu bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Böylelikle, beklenen talep fonksiyonu ve stokastik terimin arzu edilen özellikleri taşıması durumunda, Huh & Janakiraman (2008)'a ait çalışmada yer alan optimalite şartlarının sağlandığını ve sonlu planlama ufku için optimal politikanın (s_n, S_n, A_n, p_n) politikası olduğunu göstermişlerdir.

Chen, Zhang, & Zhou (2010), planlama ufkunun sonlu sayıda N dönemden oluştuğu ve her bir dönem içerisinde karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği varsayımında bulunmuştur. Bununla beraber, satın alma işlemi, farklı sabit sipariş maliyeti ve birim değişken maliyetine yol açan farklı tedarikçilerden gerçekleştirilebilmektedir. Bir diğer deyişle, toplam satın alma maliyetinin, parçalı doğrusal bir yapıda olduğu kabul edilmektedir. Deterministik talep fonksiyonu ve rassal terim toplamsal olarak bir araya gelerek stokastik talep fonksiyonunu oluşturmaktadır. Her bir döneme ait beklenen gelir fonksiyonu ise konkav bir fonksiyondur. Bu doğrultuda, Chen, Zhang, & Zhou (2010), kuasi-K-konkavlık⁶ kavramına ilişkin yeni bir koruma özelliği (preservation property) öne sürmüşlerdir. Bu özelliğe göre, $\alpha(\cdot)$ ve $\beta(\cdot)$ tek boyutlu ve kuasi-K-konkav fonksiyonlar olmak üzere, $\max_d [\alpha(d) + \beta(y - d)]$ kuasi-K-konkav bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Buradan yola çıkılarak, n

⁶ Eğer $x_0 \leq x_1$ ve $\lambda \in [0,1]$ ise, tüm $K \geq 0$ değerleri için, aşağıdaki eşitsizliği sağlayan tek boyutlu f fonksiyonu kuasi-K-konveks bir fonksiyondur.

$$f((1 - \lambda)x_0 + \lambda x_1) \geq \min \{f(x_0), f(x_1) - K\}$$

döneminden itibaren $((n, n + 1, \dots + N)$ dönemleri için) maksimum beklenen indirgenmiş karı ifade eden V_n fonksiyonunun kuasi-K-konkav bir fonksiyon olduğunu ve talep fonksiyonunda yer alan rassal terimin pozitif Polya veya tekdüze dağılımını takip etmesi koşuluyla, optimal politikanın genelleştirilmiş (s, S, p) politikası olduğunu belirtmişlerdir. Bu politikaya göre, yeniden sipariş verme noktası ve sipariş yükseltme düzeyine ilişkin bir sıralı bir dizi bulunmaktadır $(s_m \leq s_{m-1} \leq \dots \leq S_{m-1} \leq S_m)$. $i = 1, 2, \dots, m - 1$ olmak üzere, eğer herhangi bir döneme ait başlangıç envanter seviyesi x için, $s_{i+1} \leq x < s_i$ eşitsizliği geçerli ise, optimal karar S_i düzeyine kadar sipariş vermektir. Aksi halde, sipariş verilmemelidir.

Chen & Yang (2010), söz konusu temel problemi, karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği ve talebin çarpımsal bir fonksiyon olduğu varsayımı altında incelemiştir. Her bir dönem için beklenen gelir fonksiyonunun ise konkav bir fonksiyon olduğu kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, yazarlar, talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin tekdüze dağılımı takip etmesi durumunda, V_n fonksiyonunun kuasi-K-konkav bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Böylelikle, optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) politikası olduğunu göstermişlerdir.

Lee J. (2014), karşılanamayan talebin kayıp satış durumuna düştüğü varsayımı altında, sabit sipariş maliyeti içeren çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemini incelemiştir. Talep fonksiyonunun toplamsal yapıda bir fonksiyon olduğunu kabul etmiştir. Planlama ufku sonlu sayıda dönemden oluşmaktadır ve maliyet, talep parametreleri zaman içerisinde değişkenlik gösterebilmektedir. Herbir döneme ilişkin beklenen gelir fonksiyonunun konkav olduğunu varsaymıştır. Bu bağlamda, maksimum beklenen indirgenmiş karı veren fonksiyonun K-konkavlık özelliğine sahip bir fonksiyon olduğunu ve böylelikle, optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) politikası olduğunu göstermişlerdir. Söz konusu çalışmada, talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin hata oranı fonksiyonuna veya dağılımına ilişkin kısıtlayıcı bir varsayımda bulunulmamıştır. Bir diğer deyişle, sunulan model herhangi bir dağılıma sahip bir stokastik terim için geçerliliğini korumaktadır.

Şu ana kadar incelenen çalışmalar satın alma kapasitesinin sınırsız olduğu varsayımında bulunmaktadır. Chao, Yang, & Xu, (2012) ise sipariş miktarının bir kapasite ile sınırlı olduğu varsayımında bulunmuşlardır. Planlama ufku sonlu sayıda dönemden

oluşmaktadır. Fiyata bağımlı talep fonksiyonu toplamsal bir yapıdadır. Bununla beraber, karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği ve her bir dönem için beklenen gelir fonksiyonunun konkav olduğu varsayımını kabul etmişlerdir. Maliyet ve talep sürecine ilişkin parametrelerin zaman içerisinde değişkenlik göstermediği kabul edilmektedir. Bu çerçevede, Chao, Yang, & Xu, (2012), optimal politikanın yapısını karakterize etmek üzere, katı CK-konkavlık⁷ kavramına ilişkin tanımdan faydalanmışlardır. Böylelikle, V_n fonksiyonunun, katı CK-konkav bir fonksiyon olduğunu ve buradan yola çıkarak, optimal bir politikanın varlığını göstermişlerdir. Her n dönemi için, optimal politika iki kritik değerle karakterize edilmektedir ($s_n \leq s'_n$). Sipariş miktarına ilişkin kapasite kısıtı C ile ifade edilmek üzere, eğer dönem başı envanter düzeyi, x_n , $\min\{s'_n - C, s_n\}$ değerinden daha düşük veya eşitse, optimal karar C düzeyi kadar sipariş vermek olmaktadır. Eğer, $x_n \geq s'_n$ ise, sipariş verilmemelidir. Başlangıç envanter düzeyi, $\min\{s'_n - C, s_n\} \leq x_n \leq s'_n$ aralığında yer alıyor ise, optimal karar $s'_n - C \leq s_n$ ve $s'_n - C > s_n$ eşitsizliklerinden hangisinin sağlandığına göre değişmektedir. Eğer, ilk eşitsizlik sağlanıyorsa, optimal karar en az s'_n seviyesine kadar sipariş verilmesidir. Diğer eşitsizliğin sağlanması durumunda ise, ya sipariş verilmemelidir ya da en az s'_n düzeyine kadar sipariş verilmelidir. Optimal fiyatlar, her bir durum için, sipariş sonrası envanter düzeyi göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Yang, Gao, Liu, & Xu (2015), fiyat değişimlerinin belirli bir maliyetle yapıldığı varsayımında bulunmuştur. Fiyat değişimine ilişkin maliyet fonksiyonu konveks bir fonksiyondur. Bununla beraber, sipariş miktarı üzerine bir kapasite kısıtı bulunmaktadır. Planlama ufku sonlu sayıda dönemi kapsamaktadır. Talep fonksiyonunun toplamsal bir fonksiyon olduğu varsayılmıştır. Karşılanamayan talep ise gecikmeli olarak teslim edilmektedir. Yang, Gao, Liu, & Xu (2015), Chao, Yang, & Xu, (2012)'a ait çalışmada olduğu gibi, katı CK-konkavlık kavramını kullanarak optimal politikanın yapısını karakterize etmişlerdir. Bu doğrultuda, maksimum indirgenmiş beklenen karı ifade eden fonksiyonun, katı CK-konkav bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir. Böylelikle,

⁷ Eğer, C ve K negatif olmayan sabit değerler ve $a \geq 0$, $b > 0$, $\forall z \in [0, C]$ ise, tüm y değerleri için aşağıdaki eşitsizlik sağlanıyorsa, f fonksiyonu katı CK-konkav bir fonksiyondur.

$$\frac{z}{b}f(y - a) + f(y) \geq \frac{z}{b}f(y - a - b) + f(y + z) - K$$

optimal politika, Chao, Yang, & Xu, (2012)'da olduğu gibi, (s_n, s'_n, p_n) politikası olmaktadır.

Literatürde yer alan çalışmaların birçoğu, her bir dönem içerisinde gerçekleşen talebin bağımsız bir değişken olduğu varsayımında bulunmaktadır. Bununla beraber, Yin & Rajaram (2007), Chen & Simchi-Levi (2004)'in çalışmasında sunulan modeli, talebin Markov süreci izlediği varsayımını kullanarak genişletmiştir. Bir diğer deyişle, her bir dönemde gerçekleşen talebin, kendisinden bir önce gelen döneme ait talep durumuna bağımlı olarak gerçekleştiği varsayımını kabul etmişlerdir. Planlama ufku sonlu sayıda dönemden oluşmaktadır ve her bir dönem için talep fonksiyonu toplamsal bir yapıdadır. Karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir ve dönem sonu envanter maliyetleri fonksiyonunun konveks olduğu varsayılmaktadır. Her döneme ilişkin beklenen gelir ise fiyata bağımlı konkav bir fonksiyon olarak kabul edilmektedir. Yin & Rajaram (2007), literatürde yer alan çoğu çalışmadan farklı olarak, dönem sonu envanter maliyetlerine bir sonraki dönemin başında katlanıldığı varsayımında bulunmuşlardır. Bu doğrultuda, K-konvekslik tanımını kullanarak, her dönem için optimal politikanın, bir önceki talebin durumu olan i 'ye bağımlı olarak, (s_n^i, S_n^i, p_n^i) politikası olduğunu göstermişlerdir. Söz konusu çalışmada, ayrıca, karşılanamayan talebin acil siparişler verilerek karşılandığı veya gecikmeli teslim varsayımı altında, sipariş miktarı ve servis düzeyi üzerine bir kısıt olduğu durumlar ele alınmıştır. Her iki durum için de optimal politikanın (s_n, S_n, p_n) tipi politikalar olduğu gösterilmiştir. Bununla beraber, Yin & Rajaram (2007), optimal politika için nümerik bir örnek vermiştir ve sonuç olarak, sabit sipariş maliyetinin ve talebe ilişkin belirsizliğin yüksek olması durumunda, dinamik fiyatlandırma politikasının uygulanmasının daha yararlı olacağını ifade etmişlerdir.

Şu ana kadar taranan çalışmalara ait bulgulardan, açıkça anlaşılmaktadır ki, çok dönemli birleşik fiyatlandırma ve envanter problemi için optimal politikanın yapısının karakterize edilmesinde, sabit sipariş maliyeti varsayımı çok kritik rol oynamaktadır. Sabit sipariş maliyetinin modele dahil edilmesi, optimal politikanın (s, S, p) politikası olarak belirlenmesi sonucunu doğurmaktadır. Bir diğer yandan, sabit sipariş maliyeti varsayımını göz ardı eden modeller için optimal politika temel stok liste fiyatı politikası olmaktadır. Aşağıdaki tablo, sabit sipariş maliyeti varsayımına ilişkin çok dönemli

birleşik fiyatlandırma ve envanter problemi için optimal politikaların yapısını özetlemektedir (Simchi-Levi, Chen, & Bramel, 2014).

Tablo 3-1 Sabit Sipariş Maliyeti Varsayımına Göre Optimal Politikanın Yapısı

Sabit Sipariş Maliyeti Yok	Temel Stok Liste Fiyatı Politikası		
Sabit Sipariş Maliyeti Var	Sonlu Planlama Ufku		Sonsuz Planlama Ufku
	Toplamsal Talep	Genelleştirilmiş Talep	
	(s, S, p) Politikası	(s, S, A, p) Politikası	(s, S, p) Politikası

Tablo 3-2’de şu ana kadar incelenen literatür özetlenmektedir. İlgili tabloda, çalışmalar modelleme varsayımlarına göre sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla, tabloda yer alan her bir başlık belirli bir varsayımı ifade etmektedir. Böylelikle, gösterim kolaylığı olması açısından, planlama ufku “PU”, talep modeli “TM”, sabit sipariş maliyeti “SSM”, kapasite kısıtı “KK”, karşılanamayan talep “KT”, fiyat değişim maliyeti ise “FDM” olarak kısaltılmıştır. Çalışmalardan herhangi biri tek döneme sahip bir problem ile ilgileniyor ise “TD”, çok dönemli bir problem ile ilgileniyor ise “ÇD” ile gösterilmektedir. Benzer şekilde, eğer çalışmada kullanılan talep modeli toplamsal ise “TTM”, çarpımsal ise “ÇTM” veya genelleştirilmiş ise “GTM” ile ifade edilmektedir. Kullanılan talep modeli varsayımı bahsi geçen üç talep modelinden farklı ise “D” ile gösterilmektedir. Herhangi bir çalışmada karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim ediliyorsa, ilgili varsayım “GT” ile, kayıp satış durumuna düştüğü kabul ediliyorsa, “KS” ile belirtilmektedir. Bununla beraber, tabloda yer alan artı işaretleri, ilgili varsayımın söz konusu çalışmalarda kabul edildiğini göstermek amacıyla, eksi işaretleri ise ilgili varsayımın göz ardı edildiğini belirtmek için kullanılmaktadır.

Tablo 3-2 Literatür Özeti Tablosu

	<i>PU</i>	<i>TM</i>	<i>SSM</i>	<i>KK</i>	<i>KT</i>	<i>FDM</i>
<i>Whitin (1955)</i>	TD	D	-	-	-	-
<i>Mills (1959)</i>	TD	TTM	-	-	-	-
<i>Karlin & Carr (1962)</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-
<i>Zabel (1970)</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-
<i>Thomas (1974)</i>	ÇD	D	+	-	GT	-

<i>Thowsen (1975)</i>	ÇD	TTM	-	-	KS, GT	-
<i>Young (1978)</i>	TD	GTM	-	-	-	-
<i>Emmons & Stephen (1998),</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-
<i>Federgruen & Heching (1999)</i>	ÇD	GTM	-	+	GT	-
<i>.Petruzzi & Dada (1999)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Polatoglu & Sahin (2000)</i>	ÇD	D	+	-	KS	-
<i>Agrawal & Seshadri (2000)</i>	TD	TTM	-	-	-	-
<i>Dana Jr & Petruzzi (2001)</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-
<i>Federgruen & Heching (2002)</i>	ÇD	GTM	-	-	GT	-
<i>Chen & Simchi-Levi (2004)</i>	ÇD	TTM, GTM	+	-	GT	-
<i>Chen & Simchi-Levi (2004b)</i>	ÇD	TTM, GTM	+	-	GT	-
<i>Li & Atkins (2005)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Granot & Yin (2005)</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-
<i>Chan, Simchi-Levi, & Swann (2006)</i>	ÇD	GTM	-	+	KS	-
<i>Li & Zheng (2006)</i>	ÇD	TTM	-	-	GT	-
<i>Chen, Ray, & Song (2006)</i>	ÇD	TTM	+	-	KS	-
<i>Yao, Chen, & Yan (2006)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Yin & Rajaram (2007)</i>	ÇD	TTM	+	-	GT	-
<i>Huh & Janakiraman (2008)</i>	ÇD	TTM	+	-	KS, GT	-
<i>Zhu & Thonemann (2009)</i>	ÇD	TTM	-	-	GT	-
<i>Song, Ray, & Boyaci (2009)</i>	ÇD	ÇTM	+	-	KS	-
<i>Arikan & Jammerneegg (2009)</i>	TD	D	-	-	-	-
<i>Qi (2010)</i>	ÇD	TTM	-	+	GT	-
<i>Chen, Zhang, & Zhou (2010)</i>	ÇD	TTM	+	-	GT	-
<i>Chen & Yang (2010)</i>	ÇD	ÇTM	+	-	GT	-
<i>Xu, Chen, & Xu (2010)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Chen, Zhou, & Chen (2011)</i>	ÇD	TTM	-	-	GT	-
<i>Kocabiyikoglu & Popescu (2011)</i>	TD	TTM, ÇTM, GTM	-	-	-	-
<i>Xu, Cai, & Chen (2011)</i>	TD	TTM, ÇTM, GTM	-	-	-	-
<i>Pang, Chen, & Feng (2012)</i>	ÇD	TTM	-	-	GT	-
<i>Chao, Yang, & Xu, (2012)</i>	ÇD	TTM	+	+	GT	-
<i>Sana (2012)</i>	TD	D	-	-	-	-
<i>Feng, Luo, & Zhang (2013)</i>	ÇD	GTM	-	-	GT	-
<i>Lu & Simchi-Levi (2013)</i>	TD	GTM	-	-	-	-
<i>Jammerneegg & Kischka (2013)</i>	TD	ÇTM	-	-	-	-

<i>Lee J. (2014)</i>	ÇD	TTM	+	-	KS	-
<i>Abad (2014)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Raza (2014)</i>	TD	TTM, ÇTM	-	-	-	-
<i>Yang, Gao, Liu, & Xu (2015)</i>	ÇD	TTM	+	+	GT	+
<i>Chua & Liu (2015)</i>	TD	ÇTM	-	-	KS	-

4 ÇOK DÖNEMLİ DİNAMİK FİYATLANDIRMA VE ENVANTER PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ

Küreselleşme süreci bilgi teknolojisinde meydana gelen gelişmelerle birlikte oldukça hızlanmaktadır. Bu süreç, işletmelere karlılıklarını arttırma adına çok önemli fırsatlar yaratırken, işletmeler arası rekabeti daha yoğun hale getirerek birçok riski de beraberinde getirmektedir (Chopra & Meindl, 2007). Son zamanlarda, küreselleşme sürecinin sunduğu fırsatlardan faydalanmak ve risklerden kaçınmak adına, tedarik zincirinde yer alan işletmeler arasında işbirliği ve koordinasyon ihtiyacı önemli ölçüde artış göstermektedir. Bu doğrultuda, tedarik zinciri yöneticilerinin yaygın olarak karşılaştığı güçlüklerden bir tanesi, tedarik zincirinde yer alan ve müşteri ile yakın iletişim halinde olan işletmeler tarafından sürekli güncelleştirilen tedarik kararları olmaktadır (Tunc H. , Kilic, Tarim, & Eksioğlu, 2013). Özellikle, uygulamada gerçekleşen talebin planlama ufku süresince beklenen talepten sapmalar göstermesine karşılık olarak sipariş büyüklüğü ve zamanlaması gibi tedarik kararlarının güncellenme ihtiyacı oluşabilmektedir. Bu güncelleştirmeler, daha önceden planlanmış olan siparişin iptali şeklinde olabileceği gibi, sipariş miktarlarının revize edilmesi ile de meydana gelebilmektedir. Bu durum, literatürde genel olarak *sistem sinirliliği* olarak adlandırılmaktadır (Inderfurth, 1994, Heisig, 2001).

Sistem sinirliliği, tedarik zincirinde yer alan işletmeler arasındaki işbirliği ve koordinasyonun zarar görmesine neden olmaktadır ve genellikle üretim planlamasında aksamalara yol açmaktadır (Zhao, Goodale, & Lee, 1995). Bununla beraber, planlama ufku başında ortaya konulan tedarik planının zaman içerisinde revize edilmesi ek maliyetlere sebebiyet verebilmektedir (Kazan, Nagi, & Rump, 2000, Kilic & Tarim, 2011). Tedarik planlarının revize edilmesi işleminin belirli bir maliyet ortaya çıkardığı düşünüldüğünde, birçok envanter yöneticisi kar veya maliyet bakımından optimal sonucu sağlamıyor olsa bile, sabit bir tedarik planı sunan bir envanter kontrol sistemi ile çalışmayı tercih etmektedir (Robert C., Jucker, & Kropp, 1979). Dahası, tedarik zamanlarına ve ilgili sipariş miktarlarına ilişkin kararların sürekli olarak değişikliğe uğraması, yönetim düzeyinde envanter planına ilişkin memnuniyetsizlikten kaynaklanan bir güven kaybı sonucunu doğurmaktadır.

Sistem sınırlılığı iki ayrı formda meydana gelebilmektedir. Bunlardan ilki, sipariş tabanlı sistem sınırlılığı iken, diğeri miktar tabanlı sistem sınırlılığı olarak tanımlanmaktadır. Sipariş tabanlı sistem sınırlılığı, daha önceden belirlenmiş olan tedarik dönemlerinin revize edilmesi ile oluşmaktadır. Miktar tabanlı sistem sınırlılığı ise, tedarik dönemlerine ilişkin sipariş miktarlarının değiştirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Inderfurth (1994) ve Heisig (2001)'in çalışmalarında belirttiği üzere, sipariş tabanlı sistem sınırlılığı gerçek hayat uygulamalarında çok daha ciddi problemlere sebep olmaktadır. Bunun sebebi, tedarik dönemine ilişkin bir değişiklik durumunda, arzu edilen sürede tedarikçiden mamulün temin edilmesinin oldukça güç olmasıdır. Söz konusu problem, lojistikte yer alan sevkiyat konsolidasyonları (Mutlu, Çetinkaya, & Bookbinder, 2010), fiyatın değişken olduğu pazarlarda hammadde satın alımı (Kingsman, 2014) ve ortak tedariklerin yönetimi (Silver, Pyke, & Peterson, 1998) gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde görülmektedir.

Başlık 3.3'te dinamik fiyatlandırma ve envanter kararlarının eş zamanlı olarak verilmesi problemine ilişkin literatüre yer verilmişti. Söz konusu başlıktan görüleceği üzere, fiyata bağımlı talep fonksiyonunun stokastik olduğu varsayımı altında dinamik fiyatlandırma ve envanter problemini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar temel olarak kar bakımından optimal olan politikaların varlığının araştırılmasına odaklanmaktadır. Bu doğrultuda, sabit sipariş maliyetinin amaç fonksiyonuna dahil edilmesi halinde, farklı durumlar altında optimal stratejinin (s, S) envanter politikasını temel alan fiyatlandırma stratejisi olduğu görülmektedir. Bu politikaya göre, envanter düzeyinin s kritik değerinin altında kaldığı her dönem sipariş yükseltme düzeyine kadar sipariş verilmekte ve optimal fiyat sipariş sonrası envanter düzeyine göre belirlenmektedir. Aksi halde sipariş verilmemekte ve mevcut envanter düzeyine göre fiyatlandırma kararı alınmaktadır.

Inderfurth (1994) ve De Kok & Inderfurth (1997)'un çalışmaları göstermektedir ki, sipariş tabanlı sistem sınırlılığı açısından incelenen birçok sayıda envanter politikası arasında en kötü performansa sahip olan politika (s, S) envanter politikası olmaktadır. Bir diğer deyişle, söz konusu politika, tedarik zinciri yöneticilerine hangi dönemde sipariş verileceği bilgisini sağlamamaktadır ve böylelikle, daha önceden belirlenmiş tedarik zamanlarının sık bir şekilde revize edilmesi durumuna sebep olabilmektedir. Bu sebeple,

(s, S) politikası, uygulamada optimal olma özelliğini kaybedebilmektedir. Buradan, söz konusu politikayı temel alan fiyatlandırma stratejisinin de daha önce belirtilen ve envanter yöneticilerinin arzu etmediği problemlere sebep olabileceği çıkarımı yapılmaktadır.

Envanter kontrolü literatüründe, sipariş tabanlı sistem sınırlılığından uzak durmak adına kullanışlı ve alternatif bir yaklaşım yer almaktadır. Bu yaklaşım, statik-dinamik strateji olarak da adlandırılan (R, S) politikasıdır. Inderfurth (1994)'e ait çalışmadan elde edilen bulgulara göre, statik-dinamik strateji sistem sınırlılığı kriteri bakımından incelenen diğer envanter politikalara kıyasla daha üstün bir politika olmaktadır. Bununla beraber, söz konusu politika optimal maliyet değerlerine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bu politikaya göre, planlama ufku başında sabit bir tedarik planı sunulmakta, sipariş miktarları ise envanter pozisyonunu ilgili sipariş yükseltme düzeyine getirecek şekilde dinamik olarak belirlenmektedir.

(s, S) politikasının ve dolayısıyla söz konusu politikayı temel alan fiyatlandırma stratejisinin uygulamada kullanılmasına ilişkin yukarıda yer verilen sakıncalardan yola çıkarak, bu çalışmada, geleneksel (R, S) politikasının genişletilmesi ile elde edilen ve (s, S, p) politikasına alternatif oluşturacak yeni bir birleşik fiyatlandırma ve envanter politikasının sunulması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada sunulacak olan politika, (R, S, p) politikası olarak adlandırılmaktadır. (R, S, p) politikasına göre tedarik dönemlerine ilişkin sipariş miktarları dinamik olarak elde edilirken, fiyatlandırma ve envanter kararları planlama ufku başında verilmektedir. Özellikle, (R, S, p) politikasına ilişkin optimal parametre değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla iki ayrı kuadratik karışık tamsayı programlama modelinin kurulması hedeflenmektedir. Bu başlık altında önerilmesi planlanan ilk model, Tarim & Kingsman (2006)'a ait çalışmadan yola çıkarak oluşturulurken, ikinci model, Tunc H. , Kilic, Tarim, & Rossi (2015)'e ait çalışmada yer alan karışık tamsayı programlama modelini temel almaktadır. Böylelikle, ilgilenilen problemin stokastik formülasyonuna denk olan kuadratik karışık tamsayı modelleri elde edilmektedir.

Bu çalışmada yer verilen ve her bir döneme ilişkin fiyatların planlama ufku başında belirlenmesine olanak tanıyan fiyatlandırma stratejisi birçok günlük hayat uygulamasında kullanılmaktadır. Örneğin, birçok havayolu işletmesi, tüm yolcu sınıfları ve her bir uçuş

rotası için fiyatları satış sezonu başında belirlemekte ve koltukların uygunluk durumunu dinamik olarak güncellemektedirler (Bertsimas & Boer, 2005). Bir diğer yandan, kimi tedarikçi işletme, mamul sağladığı işletme ile imzaladığı sözleşme gereği, zamana göre değişkenlik gösteren birim başına fiyat listesini planlama ufku başında sözleşmenin diğer tarafında yer alan işletme ile paylaşmak durumunda olurken, her bir dönem için üretim miktarı kararını envanter düzeyine ve beklenen siparişe göre vermektedir (Chan, Simchi-Levi, & Swann, 2006). Bununla beraber, söz konusu fiyatlandırma stratejisi belirli zaman aralıkları için internetin ücretlendirilmesi sırasında kablosuz erişim sağlayıcıları tarafından kullanılmaktadır (Mazlounian, Manshaei, Félegyházi, & Hubaux, 2008). Ek olarak, ülkemizde gün içerisinde değişim gösteren elektrik ücretlendirmesi EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından üç aylık bir satış sezonu için belirlenen fiyatlar ile yapılmaktadır.

Bu bölümde, ilk olarak ilgilenilen problemin tanımına yer verilecektir. Sonrasında ise (R,S) politikasını ve fiyata bağımlı stokastik talep varsayımını temel alan birleşik envanter ve fiyatlandırma politikasına ilişkin iki ayrı matematiksel model oluşturulacaktır. Tanıtılan matematiksel modeller, gerçek hayat uygulamalarında sıkça karşılaşılan ilave varsayımlar kullanılarak genişletilecektir. Son olarak ise söz konusu matematikse modellere ilişkin sayısal bulgulara yer verilip bölüm tamamlanacaktır.

4.1 PROBLEM TANIMI

Problemimizde tek bir ürün satışı yapan ve T döneme sahip sonlu bir planlama ufku için her bir döneme ilişkin fiyatlandırma ve envanter kararlarının verilmesini amaçlayan bir işletme ele alınmaktadır. Söz konusu işletmenin amacı, planlama ufku boyunca oluşacak toplam beklenen karın maksimize edilmesidir. Satın alma/sipariş maliyeti, birim sipariş maliyeti v ve siparişi verilen mamul miktarından bağımsız olan sabit sipariş maliyeti K 'dan oluşmaktadır. Dönem boyu oluşan talebin, dönem başı envanter düzeyinden fazla olması halinde birim elde bulundurma maliyetine h katlanılmaktadır. Herhangi bir dönem için, dönem sonunda elde bulundurulan envanter miktarı bir sonraki döneme taşınmaktadır. Ayrıca, herhangi bir dönem için, karşılanamayan talep gecikmeli olarak teslim edilmektedir ve bir birim karşılanamayan talep için belirli bir gecikmeli teslim maliyetine s katlanılmaktadır. Elde bulundurma maliyeti ve gecikmeli teslim maliyeti

fonksiyonları doğrusaldır. Farklı dönemlerde gerçekleşen talepler birbirlerinden bağımsız rassal değişkenlerdir ve parametreleri satış fiyatına bağımlı bir fonksiyon olmaktadır. Sadelik adına, tedarik süresi sıfır olarak kabul edilmektedir.

İşletme fiyata bağımlı stokastik taleple karşılaşmaktadır. Her bir t ($t \leq T$) dönemi içerisinde gerçekleşen talep toplamsal olarak aşağıdaki gibi modellenmektedir.

$$D_t(p_t, \epsilon_t) = d(p_t) + \epsilon_t \quad (56)$$

(56) no'lu talep modelinde yer alan deterministik talep fonksiyonu $d(p_t) = b_t - a_t p_t$ eşitliği ile ifade edilmektedir ($a_t > 0, b_t > 0$). Talep modelinde yer alan stokastik terim ϵ_t ise ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 olan bir rassal değişkendir. ϵ_t ile deterministik fonksiyon $d_t(p_t)$ 'nin doğrusal bir kombinasyonu olmasından ötürü, $D_t(p_t, \epsilon_t)$ fonksiyonunun da bir rassal değişken olduğu açıkça görülmektedir. Böylelikle, $D_t(p_t, \epsilon_t)$ fonksiyonu, $f_t(\cdot)$ olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip, ortalaması $d_t(p_t)$ ve varyansı σ^2 olan bir rassal değişken olmaktadır. Ayrıca, talep fonksiyonunda yer alan stokastik terim ϵ_t , satış fiyatından bağımsız ve talep değerlerinin ortalama talep etrafında kaymasını sağlayan bir rassal değişken iken, ortalama talep, $d_t(p_t)$, satış fiyatına bağımlı azalan bir fonksiyondur. Satış fiyatı p_t , negatif talep durumundan kaçınmak adına belirli bir sürekli fiyat aralığından $[p_{min}, p_{max}]$ seçilmek durumundadır. İlgili aralık için, p_{min} , seçilebilir en düşük fiyatı ifade ederken, p_{max} , seçilebilir en yüksek fiyatı ifade etmektedir. Gösterim kolaylığı olması açısından, bu bölümün geri kalan kısmında talep fonksiyonuna ait argümanlar düşürülecektir. Dolayısıyla, şu andan itibaren herhangi bir döneme ilişkin stokastik talep fonksiyonu D_t ile ifade edilecektir.

Ele alınan işletme, üç parametre ile karakterize edilen bir envanter politikasına göre arz ve talebi kontrol etmektedir. Bu doğrultuda, tedarik aralıkları R ile belirtilmektedir. Bir diğer deyişle, optimal R değerleri, planlama ufkunun en başından itibaren her bir sipariş dönemi için kaç dönemlik talebin karşılanması gerektiği sorusunu cevaplamaktadır ve her iki sipariş dönemi arasında bulunan dönem sayısı *tedarik aralığı* olarak ifade edilmektedir. Her bir sipariş döneminde, ilgili tedarik aralığı süresince meydana gelecek talebi karşılamak üzere envanter seviyesi sipariş yükseltme düzeyi S_t 'ye kadar sipariş verilmektedir. Tedarik aralığı boyunca talebin kontrolü ise her bir dönem için satış fiyatının uygulanmasıyla olmaktadır.

Probleme ilişkin amaç, fiyatlandırma ve tedarik planına ait kararların beklenen toplam karı maksimize edecek şekilde eşzamanlı olarak verilmesidir. Dolayısıyla, satış fiyatının, tedarik planının ve bu plana ilişkin sipariş miktarlarının belirlenmesine odaklanan genel bir stokastik programlama formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\max \int_{D_1} \dots \int_{D_N} \sum_{t=1}^T [p_t D_t - (K\delta_t + vq_t + h\max(0, x_t) + s\max(0, -x_t))] \times f_1(p_1, D_1) \dots f_T(p_T, D_T) d(D_1) \dots d(D_T) \quad (57a)$$

s. t. $t = 1, 2, \dots, T$ için,

$$\delta_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } q_t > 0, \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (57b)$$

$$x_t = x_0 + \sum_{i=1}^t (q_i - D_i) \quad (57c)$$

$$q_t \geq 0, \quad \delta_t \in \{0, 1\}, \quad p_t \in \{p_{min}, p_{max}\}$$

Yukarıda yer verilen modelde,

- p_t , t dönemine ilişkin satış fiyatını,
- q_t , t dönemine ilişkin sipariş miktarını
- x_t , t dönemine ait dönem sonu envanter düzeyini
- δ_t eğer t döneminde sipariş verme kararı alındı ise, 1 değerini, aksi halde 0 değerini alan ikili değişkeni ifade etmektedir.

Söz konusu stokastik programlama formülasyonunda amaç fonksiyonu (57a) no'lu denklemlerle ifade edilmektedir ve toplam beklenen karı maksimize etmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda, amaç fonksiyonu, her bir döneme ilişkin toplam gelir, sabit ve değişken sipariş maliyetleri ve dönem sonu envanter maliyeti bileşenlerinden oluşmaktadır. (57b) no'lu kısıt, sipariş verme kararı ile ikili değişken arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. (57c) no'lu kısıt ise, standart envanter koruma eşitliğini temsil etmektedir. Bu eşitlik, t dönemi sonu envanter düzeyinin, planlama ufku envanter düzeyi ile ilgili döneme kadar gerçekleştirilen toplam sipariş miktarı ve gerçekleşen toplam talep arasındaki farkın toplamına eşit olması gerekliliğini belirtmektedir.

4.2 (R, S, p) POLİTİKASI

Bu bölümde, yukarıda varsayımları bahsedilen envanter sistemini kontrol etmek üzere (R, S, p) adı verilen bir envanter politikası önerilmektedir. (R, S, p) politikasının temelinde, tedarik planı ve fiyatlandırma kararlarının planlama ufku başında belirlenmesi yatmaktadır. Bir diğer yandan, sipariş miktarlarının büyüklüğü, gerçekleşen talepler gözden geçirildikten sonra belirlenmektedir. Böylelikle, ilgili politika, tedarik dönemlerinin ve fiyatlandırma kararlarının planlama ufku başında sabitlendiği bir sipariş yükseltme düzeyi politikası sunmaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışmada, (R, S, p) politikası parametrelerinin optimale yakın olacak şekilde elde edilmesine imkan veren bir kuadratik karışık tamsayı programlama formülasyonu öne sürülmektedir. Geliştirilecek olan kuadratik karışık tamsayı programlama formülasyonu yukarıda (57) no'lu denklemde verilen stokastik programlama formülasyonu ile denk olmaktadır. Bu bölümün geri kalan kısmında, sunulacak olan kuadratik karışık tamsayı programlama formülasyonunun amaç fonksiyonu ve kısıtları tartışılacaktır.

Modelimizin amaç fonksiyonu, (57a) no'lu denklemde olduğu gibi planlama ufku süresince beklenen karın maksimize edilmesini ifade etmektedir ve beklenen gelir, dönem sonu envanter maliyeti, sabit sipariş maliyeti ve değişken maliyet bileşenlerinin bir araya gelmesi ile oluşturulmaktadır. Beklenen değer işleci $\mathbf{E}[\cdot]$ ile gösteriliyor olsun. Böylelikle, planlama ufku boyunca toplam beklenen gelir $\mathbf{E}[TG]$ ve sipariş maliyeti $\mathbf{E}[TSM]$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{E}[TG] = \sum_{t=1}^T p_t d_t(p_t) \quad (58)$$

$$\mathbf{E}[TSM] = \sum_{t=1}^T K \delta_t + v \mathbf{E}[q_t] \quad (59)$$

Dikkat edilirse, (58) no'lu eşitlikte toplam beklenen gelir, satış fiyatı ve fiyata bağımlı beklenen talebin çarpımı sonucu elde edilmektedir. Bu bağlamda, (58) no'lu eşitlik, fiyat değişkenin kendisi ile çarpımını gerektirdiğinden, kuadratik bir ifade olmaktadır. Böylelikle, söz konusu ifadenin, kurulması planlanan karışık tamsayı programlama

formülasyonuna ait amaç fonksiyonuna dahil edilmesi, ilgili formülasyonun aslında kuadratik bir karışık tamsayı programlama modeli olduğuna işaret etmektedir.

Toplam beklenen dönem sonu envanter maliyetinin hesaplanması ise, amaç fonksiyonunda yer alan diğer bileşenlerin hesaplanmasında olduğu gibi açık değildir. Dönem sonu envanter maliyetinin hesaplanmasına ilişkin zorluk, beklenen elde bulundurma ve bulundurmama maliyetlerinin ilgili kayıp fonksiyonu üzerinden belirlenmesi ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Kayıp fonksiyonlarıyla işlem yapmak genel olarak oldukça zorlu olduğundan, bu çalışma boyunca, her bir döneme ilişkin talep fonksiyonunda yer alan rassal değişken ϵ_t 'un normal dağılımı takip ettiği varsayımı yapılmaktadır. Envanter kontrolü teorisi (bkz. Axsäter, 2013) ve stokastik dinamik parti büyüklüğü literatüründe bu varsayım sıklıkla yer verilmektedir.

Normal dağılıma sahip rassal değişken varsayımı, önemli bir özelliği de beraberinde getirmektedir. Buna göre, eğer ϵ_t , ortalaması sıfır ve varyansı σ_t^2 olan ve normal dağılıma sahip bir rassal değişken ise, her dönem içerisinde gerçekleşen talep D_t de ortalaması $d_t(p_t)$, varyansı σ_t^2 olan ve normal dağılımı takip eden bir rassal değişken olmaktadır. Böylelikle, t döneminden önce gerçekleşen en son sipariş dönemi j ile gösteriliyor olsun. Aynı zamanda, j dönemine ait sipariş yükseltme düzeyi y ile ifade ediliyor olsun. Bu doğrultuda, t dönemine ilişkin toplam elde bulundurma ve bulundurmama maliyeti aşağıdaki gibi bir eşitlikle ifade edilebilmektedir.

$$H_t = \int_{D_j} \dots \int_{D_t} h \cdot \max\left(0, y - \sum_{i=j}^t D_i\right) + s \cdot \max\left(0, \sum_{i=j}^t D_i - y\right) \times \quad (60)$$

$$f_j(p_j, D_j) \dots f_t(p_t, D_t) d(D_j) \dots d(D_t)$$

Daha açık bir anlatım açısından, yukarıda yer alan eşitlik, beklenen değer işlemleri yardımıyla aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir.

$$H_t = h \cdot \mathbf{E} \left[\max\left(0, y - \sum_{i=j}^t D_i\right) \right] + s \cdot \mathbf{E} \left[\max\left(0, \sum_{i=j}^t D_i - y\right) \right] \quad (61)$$

Her bir dönem sonu için beklenen negatif ve pozitif envanter düzeyleri, sırasıyla $\mathbf{E}[x_t^-]$ ve $\mathbf{E}[x_t^+]$ ile gösteriliyor olsun. Bu terimler, ayrıca, ilgili literatürde birinci dereceden kayıp ve tamamlayıcı birinci dereceden kayıp fonksiyonları olarak adlandırılmaktadırlar. Tanım gereği, $y - \sum_{i=j}^t D_i$ ifadesi t dönemi sonu envanter düzeyine işaret ettiğinden, (61) no'lu eşitlik dönem sonu envanter düzeyini belirten x_t değişkeni vasıtasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$H_t = h \cdot \mathbf{E}[x_t^+] + s \cdot \mathbf{E}[x_t^-] \quad (62)$$

$$= h \cdot \mathbf{E}[x_t] + (h + s) \cdot \mathbf{E}[x_t^-] \quad (63)$$

Her dönem içerisinde gerçekleşen talebin normal olarak dağıldığı varsayılmaktaydı. Bununla beraber, sipariş sonrası dönem başı envanter düzeyi ile söz konusu döneme ilişkin stokastik talebin doğrusal bir kombinasyonu olduğu bilindiğinden, dönem sonu envanter düzeyini ifade eden x_t rassal değişkeninin de normal dağılımı takip ettiği çıkarımı yapılmaktadır. Öyle ki, x_t rastlansal değişkeninin ortalaması, $\mathbf{E}[x_t] = y - \sum_{i=j}^t d_i(p_i)$, varyansı ise $\theta_t = \sum_{i=j}^t \sigma_i^2$ olmaktadır. Dönem sonu envanter düzeyi ile ilgili yapılan bu tanımlama, H_t 'nin standart normal kayıp fonksiyonu, $L(\cdot)$, vasıtasıyla aşağıdaki gibi ifade edilmesine olanak sağlamaktadır (bkz. Peterson & Silver, 1979, Porteus, 2002).

$$H_t = h \cdot \mathbf{E}[x_t] + \theta_t(h + s) \cdot L\left(\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t}\right) \quad (64)$$

Standart normal dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonunun $\phi(\cdot)$ ve birikimli dağılım fonksiyonunun $\Phi(\cdot)$ ile gösterildiği kabul ediliyor olsun. Böylece, $\mathbf{E}[x_t]/\theta_t$ değerine ilişkin standart kayıp fonksiyonu $L(\mathbf{E}[x_t]/\theta_t)$ aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$L\left(\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t}\right) = -\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t} + \frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t} \Phi\left(\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t}\right) + \phi\left(\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t}\right) \quad (65)$$

(65) no'lu eşitlikten görüleceği üzere standart normal kayıp fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Bununla beraber, konveks ve azalan bir fonksiyondur (Rossi, Kilic, & Tarim, 2015, Rossi, Tarim, Hnich, & Prestwich, 2014). Her bir dönem sonu için envanter maliyetini veren H_t 'yi amaç fonksiyonunun içerisine dahil etmek amacıyla, bu çalışmada,

standart normal kayıp fonksiyonunun parçalı doğrusal yaklaşımından faydalanılmaktadır. Standart normal kayıp fonksiyonu konveks bir yapıda olduğundan, söz konusu parçalı doğrusal yaklaşım, doğrusal parçaların maksimum değerleri vasıtasıyla elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda, standart normal kayıp fonksiyonunun parçalı doğrusal yaklaşımı $\hat{L}(\cdot)$, N sayıda doğrusal parçadan oluşmaktadır ve her bir doğrusal parça bir eğim ve kesişim noktası ile karakterize edilmektedir. Böylelikle, $\hat{L}(\cdot)$ aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\hat{L}\left(\frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t}\right) = \max_{i=1,\dots,N} \left\{ \alpha_i + \beta_i \frac{\mathbf{E}[x_t]}{\theta_t} \right\} \quad (66)$$

Standart normal kayıp fonksiyonunun parçalı doğrusal yaklaşımı yukarıdaki gibi tanımlandıktan sonra, her bir döneme ilişkin dönem sonu envanter maliyetini veren (64) no'lu eşitliğin yaklaşıtırlmış değerini ifade eden eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\hat{H}_t = h \cdot \mathbf{E}[x_t] + (h + s) \cdot \max_{i=1,\dots,N} \{ \theta_t \cdot \alpha_i + \beta_i \cdot \mathbf{E}[x_t] \} \quad (67)$$

Yukarıda verilen (67) no'lu eşitliğe ilişkin kritik olan konu yaklaşımın sahip olması gereken doğrusal parça sayısı ile ilgilidir. Doğrusal parça sayısının yüksek tutulması ile yaklaşımın doğruluğunu artırırken, bir diğer yandan, bu çalışmada önerilen optimizasyon probleminin karmaşıklık seviyesini yükseltmektedir. Bununla beraber, α_i ve β_i değerlerinin hesaplanma yöntemi de oldukça önem teşkil etmektedir. Söz konusu parametrelerin optimal değerlerinin hesaplanması, doğrusal parçalı yaklaşımın orijinal doğrusal olmayan fonksiyona mümkün merteye yakın sonuç vermesi açısından oldukça mühim olmaktadır. Bu çalışmada, optimal parametre değerlerini saptamak amacıyla *minimaks* kuramından faydalanılmaktadır. Bu kurama göre, parçalı doğrusal yaklaşımın $\hat{L}(\cdot)$ ve orijinal doğrusal olmayan fonksiyon $L(\cdot)$ arasındaki farkın maksimumu minimize edilmektedir. Standart normal kayıp fonksiyonunun doğrusal parçalı yaklaşımına ilişkin daha detaylı bir çalışma için ilgili okuyucular Rossi, Tarim, Hnich, & Prestwich (2014)'in çalışmasına göz atabilirler.

Bu aşamaya kadar doğrusal olmayan standart normal kayıp fonksiyonunun, konveks bir parçalı doğrusal yaklaşımının oluşturulma yöntemi ile ilgilenilmektedir. Bu aşamadan sonra ise, söz konusu problem için oluşturulacak kuadratik tamsayı programlama

modeline ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtların tanıtılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, kullanılacak olan karar değişkenlerinin burada belirtilmesi faydalı görülmektedir. Bu bağlamda, kullanılan karar değişkenlerine aşağıda yer verilmektedir;

$\mathbf{E}[x_t]$	t dönemi sonunda elde bulundurulması beklenen envanter düzeyi
$\mathbf{E}[q_t]$	t dönemi başında beklenen sipariş miktarı
p_t	t dönemine ilişkin satış fiyatı
\hat{H}_t	t dönemine ilişkin yaklaşık olarak beklenen elde bulundurma ve ceza maliyeti toplamı
π_{tj}	t döneminden önce en son sipariş işleminin j döneminde gerçekleştirildiğini ifade eden ikili değişken
δ_t	t dönemi için siparişin varlığını ifade eden ikili değişken.

Görüleceği üzere, kurulması planlanan modele ait karar değişkenleri arasında her bir dönem için sipariş yükseltme düzeylerini ifade eden bir değişken yer almamaktadır. Bunun yerine, her bir döneme ilişkin sipariş yükseltme düzeyleri, beklenen sipariş miktarları $\mathbf{E}[q_t]$ ve dönem sonu beklenen envanter düzeyleri $\mathbf{E}[x_t]$ kullanılarak elde edilmektedir. Bir diğer deyişle, her bir sipariş dönemine ilişkin sipariş düzeyleri, sipariş sonrası envanter pozisyonuna eşit olmaktadır. Bununla beraber, kimi zaman bir önceki tedarik aralığına ilişkin dönem sonu envanter düzeyi mevcut döneme ait sipariş yükseltme düzeyinden yüksek olabilmektedir. Ancak bu durum çok nadir meydana gelmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada, negatif siparişe (fazla envanter miktarının iade edilmesine) izin verilmemektedir ve maliyet hesaplamalarında fazla envanter miktarının elde bulundurulma maliyetleri göz ardı edilmektedir (Tunc H. , Kilic, Tarim, & Rossi, 2015, Tarim & Kingsman, 2006)

(67) no'lu eşitlikte yer alan standart normal kayıp fonksiyonunun parçalı doğrusal yaklaşımından faydalanılarak, çok dönemli birleşik envanter ve fiyatlandırma problemine ilişkin bölüm başında sunulan stokastik programlama modelinin amaç fonksiyonu, aşağıda yer alan yeni amaç fonksiyonu ile değiştirilebilmektedir.

$$\max \sum_{t=1}^T [p_t d_t(p_t) - (K\delta_t + v\mathbf{E}[q_t] + \hat{H}_t)] \quad (68)$$

Amaç fonksiyonunu, beklenen elde bulundurma ve bulundurmama maliyetlerinin doğrusal parçalı yaklaşımını temel alarak Eşitlik (68)'de olduğu gibi oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu tanımlandıktan sonra, probleme ilişkin kısıtların tanıtılmasına odaklanılacaktır. İlk olarak, her bir dönem sonu envanter düzeyi ile kendisinden sonra gelen dönem başı envanter düzeyi arasındaki ilişki tanımlanacaktır. Bu doğrultuda, beklenen dönem sonu envanter düzeyleri geleneksel envanter koruma eşitlikleri aracılığıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\mathbf{E}[x_t] = \mathbf{E}[x_{t-1}] + \mathbf{E}[q_t] - d_t(p_t), \quad t = 1, \dots, T \quad (69)$$

Yukarıda verilen (69) no'lu eşitliğe ilişkin, hesap kolaylığı sağlaması açısından, planlama ufku başlangıç envanter düzeyinin sıfır olduğu varsayımı yapılmaktadır ($x_0 = 0$). Bu çalışmada önerilen matematiksel model, karşılanamayan talebin gecikmeli olarak teslim edildiği varsayımı altında kurulduğundan, her bir dönem sonu envanter düzeyi pozitif olabileceği gibi negatif de olabilmektedir.

(67) no'lu eşitlikte verilen dönem sonu yaklaşılmış envanter maliyetini hesaplayabilmek adına, her bir dönem için ilgili dönemden önce meydana gelen en son tedarik dönemini belirten ikili değişken π_{tj} modele dahil edilmektedir. Böylelikle, eğer t döneminden önce en son sipariş j döneminde gerçekleşmiş ise ilgili değişken 1 değerini almaktadır. Aksi halde ise 0 değerine karşılık gelmektedir. t döneminden önce gerçekleşen en son sipariş dönemi bir dönemden fazla olamayacağı için, aşağıda yer verilen kısıt her bir t dönemi için sağlanmak durumundadır.

$$\sum_{j=1}^t \pi_{tj} = 1, \quad t = 1, \dots, T \quad (70)$$

Açık bir şekilde görülmektedir ki, π_{tj} değişkeni ile sipariş kararını gösteren ikili değişken δ_t arasında bir bağımlılık söz konusudur. Şöyle ki, eğer t döneminden önce sipariş gerçekleştirilen en son dönem j ise, j dönemi bizzat sipariş dönemi olmaktadır ve sipariş miktarı sıfırdan büyük bir miktar olmaktadır. Bununla beraber, j dönemi ile t dönemi arasında yer alan dönemlerde hiçbir sipariş dönemi bulunmamaktadır ve dolayısıyla, bu

dönemlerde sipariş miktarı sıfır olmak durumundadır. İkili değişkenler arasındaki bu bağımlılık ilişkisi aşağıdaki kısıt yardımıyla ifade edilebilmektedir.

$$\pi_{tj} \geq \delta_j - \sum_{k=j+1}^t \delta_k, \quad t = 1, \dots, T \quad j = 1, \dots, t \quad (71)$$

Eşitlik (70)'de tanıtılan ikili değişken her bir dönem için en son sipariş dönemini belirtmektedir. (67) no'lu eşitlikte verilen dönem sonu yaklaştırılmış envanter maliyeti ise, hatırlanacağı üzere, dönem sonu envanter düzeyinin beklenen değerleri ve varyanslarından yola çıkılarak elde edilmektedir. Bununla beraber, söz konusu maliyetin hesaplanması ancak sipariş dönemlerinin bilinmesiyle olmaktadır. Dolayısıyla, π_{tj} değişkeninden faydalanılarak, her bir t dönemi için, kendisinden önce gelen en son sipariş döneminden itibaren t dönemi sonuna kadar meydana gelen toplam talebin standart sapması, dönem sonu yaklaştırılmış envanter maliyetine dahil edilebilmektedir. Böylelikle, aşağıda yer verilen kısıt, sipariş dönemlerinin söz konusu dönem sonu envanter maliyetlerini minimize edecek şekilde belirlenmesi koşulunu garanti altına almaktadır.

$$\hat{H}_t \geq h \cdot \mathbf{E}[x_t] + (h + s) \left(\alpha_i \sum_{j=1}^t \pi_{tj} \sqrt{\sum_{k=j}^t \sigma_k^2} + \beta_i \mathbf{E}[x_t] \right) \quad (72)$$

$$t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N$$

Her bir sipariş döneminde, δ_t ikili değişkeni 1 değerini almaktadır. Sipariş dönemi harici dönemlerde ise bu değişken sıfır değerini almaktadır. Bu doğrultuda, görülmektedir ki, sipariş miktarı ile söz konusu değişken arasında bir bağımlılık ilişkisi kurulmak durumundadır. M yeterince büyük bir sayı olmak üzere, bu bağımlılık ilişkisi aşağıda verilen kısıtın sağlanmasıyla mümkün olmaktadır.

$$\mathbf{E}[q_t] \leq M \delta_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (73)$$

Son olarak, negatif talep oluşumunu engellemek adına, satış fiyatı üzerine belirli sınırlar tanımlanmaktadır. Bölümün başında da belirtildiği üzere, her bir dönem için satış fiyatı p_t , $[p_{min}, p_{max}]$ aralığından seçilmektedir. İlgili aralıkta en düşük fiyat p_{min} ile

belirtilirken, en yüksek fiyat ise p_{max} ile tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda, her bir dönem için satış fiyatının tanımlanan alt sınır ve üst sınır arasında bir değer aldığından emin olmak adına, aşağıda yer alan kısıttan faydalanılmaktadır.

$$p_t \geq p_{min}, \quad t = 1, \dots, T \quad (74)$$

$$p_t \leq p_{max}, \quad t = 1, \dots, T \quad (75)$$

Şu ana kadar tanıtılan kısıtlar ve amaç fonksiyonu bir araya getirildiğinde, çok dönemli stokastik birleşik envanter ve fiyatlandırma problemine ilişkin kuadratik karışık tamsayı programlama modeli elde edilmektedir. (57a) no'lu denklemde verilen stokastik programlama modeline karşılık gelen bu model aşağıda bir bütün olarak sunulmuştur.

$$\max \sum_{t=1}^T [p_t d_t(p_t) - (K\delta_t + v\mathbf{E}[q_t] + \hat{H}_t)] \quad (76a)$$

s. t

$$\mathbf{E}[x_t] = \mathbf{E}[x_{t-1}] + \mathbf{E}[q_t] - d_t(p_t), \quad t = 1, \dots, T \quad (76b)$$

$$\sum_{j=1}^t \pi_{tj} = 1, \quad t = 1, \dots, T, \quad (76c)$$

$$\pi_{tj} \geq \delta_j - \sum_{k=j+1}^t \delta_k, \quad t = 1, \dots, T, \quad j = 1, \dots, t \quad (76d)$$

$$\hat{H}_t \geq h \cdot \mathbf{E}[x_t] + (h + s) \left(\alpha_i \sum_{j=1}^t \pi_{tj} \sqrt{\sum_{k=j}^t \sigma_k^2} + \beta_i \mathbf{E}[x_t] \right), \quad (76e)$$

$$t = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N$$

$$\mathbf{E}[q_t] \leq M\delta_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (76f)$$

$$p_t \geq p_{min}, \quad t = 1, \dots, T \quad (76g)$$

$$p_t \leq p_{max}, \quad t = 1, \dots, T \quad (76h)$$

$$\mathbf{E}[x_t] \in \mathbb{R}, \quad \pi_{tj}, \delta_t \in \{0,1\}, \quad p_t \in [p_{min}, p_{max}], \quad \hat{H}_t, \mathbf{E}[q_t] \in \mathbb{R}_+$$

Yukarıda verilen modelin çözüme ulaştırılmasıyla birlikte, her bir döneme ilişkin optimal satış fiyatları elde edilmektedir. Bununla beraber, birbirini takip eden ve 1 değerini alan δ_t ikili değişkenleri arasındaki dönem sayısı göz önüne alınarak tedarik aralıkları, R , elde

edilmektedir. Benzer şekilde, δ_t değişkeninin 1 değerini aldığı dönemlerde, sipariş sonrası dönem başı envanter düzeyleri gözlenerek, ilgili döneme ait sipariş yükseltme düzeyleri S_t belirlenmektedir.

4.3 (R, S, p) POLİTİKASI İÇİN ALTERNATİF BİR FORMÜLASYON

Bu başlık süresince, bir önceki başlıkta sunulan matematiksel modele denk bir alternatif formülasyon sunulacaktır. Bu doğrultuda, Başlık 4.2’de kabul edilen temel varsayımlar ve envanter maliyetlerine ilişkin notasyon aksi belirtilmedikçe aynı kalmaktadır.

Başlık 4.2’te sunulan matematiksel model planlama ufku içerisinde yer alan her bir dönem için optimal kararların verilmesi ile ilgilenmektedir. Bu başlık altında ise, her bir döneme ilişkin beklenen kar, içerisinde bulunduğu tedarik aralığı göz önüne alınarak belirlenmektedir ve böylelikle, toplam beklenen karı maksimize edecek optimal tedarik ve fiyatlandırma planının elde edilmesini hedefleyen bir matematiksel model sunulmaktadır. Her bir dönem için, fiyata bağımlı stokastik talep fonksiyonu içerisinde yer alan stokastik terimin bir önceki modelde olduğu gibi normal dağılımı takip ettiği varsayımında bulunmaktadır. Herhangi bir i döneminden $j + 1$ ($i \leq j \leq T$) dönemi sonuna kadar olan fiyata bağımlı stokastik talep ise D_{ij} ile gösterilmektedir. Söz konusu i ve $j + 1$ dönemleri arasında gerçekleşen toplam talep, D_{ij} , normal dağılıma sahip birkaç dönem talebinin konvolüsyonu olduğundan, kendisi de normal dağılan bir rassal değişken olmaktadır. Öyle ki, söz konusu rassal değişkenin ortalaması $\sum_{t=i}^j d_t(p_t)$ ve varyansı $\sum_{t=i}^j \sigma_t^2$ olmaktadır. Uygunluk açısından, birim değişken sipariş maliyetinin sıfır olduğu ve negatif sipariş imkânının bulunmadığı varsayılmaktadır.

Planlama ufku içerisinde yer alan ve i . dönemden itibaren j . döneme kadar olan dönemleri kapsayan bir tedarik aralığı ele alınıyor olsun. Böylelikle, açıkça görülmektedir ki, i . dönem başında sipariş gerçekleştirilmektedir ve sipariş sonrası envanter miktarı sipariş yükseltme düzeyi y kadar olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, söz konusu tedarik aralığına ilişkin beklenen kar fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\sum_{t=i}^{j-1} (p_t d_t(p_t) - h \cdot \mathbf{E}[(y - D_{it})^+] - s \cdot \mathbf{E}[(y - D_{it})^-]) - K \quad (77)$$

Başlık 4.2'ten hatırlanacağı üzere, (77) no'lu denklemde yer alan $\mathbf{E}[(y - D_{it})^-]$ ifadesi D_{it} rassal değişkeninin y düzeyinde hesaplanan kayıp fonksiyonunu ifade etmektedir. Böylece, i döneminde başlayan ve j dönemine kadar devam eden bir tedarik aralığı için, t dönemi ($i \leq t < j$) sonunda beklenen dönem sonu envanter düzeyine ilişkin kayıp fonksiyonu ve varyans değeri sırasıyla $L_{ijt}(\cdot)$ ve σ_{it}^2 olarak ifade edilmektedir. Böylece, (77) no'lu denklem, (64) no'lu eşitlik göz önüne alınarak aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\sum_{t=i}^{j-1} (p_t d_t(p_t) - h \cdot \mathbf{E}[y - D_{it}] - (h + s) \cdot \sigma_{it} \cdot L_{ijt}\left(\frac{y - D_{it}}{\sigma_{it}}\right)) - K \quad (78)$$

Daha önce bahsedildiği üzere, yukarıda verilen denklemde yer alan kayıp fonksiyonu, doğrusal olmayan, konveks ve argümanına göre azalan bir fonksiyondur. Bir önceki başlıkta da gerçekleştirildiği gibi, bu başlık altında sunulacak olan kuadratik karışık tamsayı programlama formülasyonu için de söz konusu kayıp fonksiyonuna denk parçalı doğrusal bir fonksiyonun elde edilmesi hedeflenmektedir.

Kayıp fonksiyonuna ilişkin parçalı doğrusal yaklaşımın elde edilme yöntemi bir önceki başlıkta detaylıca anlatılmıştı. Aynı yöntem kullanılarak i ve j dönemleri arasında kalan dönemleri kapsayan bir tedarik aralığında bulunan her t dönemi için yaklaşık kayıp fonksiyonu \hat{H}_{ijt} değeri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\hat{H}_{ijt} = \max_{k=1, \dots, N} \{\alpha_k \sigma_{it} + \beta_k (y - D_{it})\} \quad (79)$$

Herhangi bir tedarik aralığı için normal kayıp fonksiyonu değerini yaklaşık olarak ifade eden parçalı doğrusal yaklaşımı tanımlandıktan sonra, (R, S, p) politikasına ilişkin alternatif kuadratik tamsayı programlama modeline ait amaç fonksiyonu ve kısıtların tanımlanması planlanmaktadır. Bu bağlamda, anlatım kolaylığı açısından, bir önceki modelde olduğu gibi, karar değişkenlerinin model tanıtılmadan önce, aşağıda verilmesi uygun görülmektedir.

$\mathbf{E}[q_{ij}]$	eğer, i döneminden j dönemine kadar olan dönemleri kapsayan aralık, tedarik aralığı ise, planlama ufku başından j . döneme kadar olan beklenen toplam sipariş miktarına, değilse 0'a karşılık gelen değişken
p_t	t dönemine ilişkin satış fiyatı
\hat{H}_{ijt}	i ve j dönemleri arasında kalan t dönemleri için yaklaşık kayıp fonksiyonu değeri
w_{ij}	i döneminden j dönemine kadar olan dönemleri kapsayan aralık tedarik aralığı ise 1, değilse 0 değerini alan ikili değişken

Başlık 4.2'de yer verilen modelde olduğu gibi, bu başlık altında yer alacak alternatif formülasyon için de, sipariş yükseltme düzeylerinin, karar değişkenleri olarak ilgili modele dahil edilmesine gerek duyulmamaktadır. Bunun yerine, her bir tedarik aralığına ilişkin sipariş yükseltme düzeyleri $\mathbf{E}[q_{ij} - D_{1i-1}]$ olarak elde edilmektedir.

Alternatif formülasyona ilişkin amaç fonksiyonu, tüm tedarik aralıkları içerisinde oluşması beklenen gelir, sabit maliyet, elde bulundurma ve bulundurmama maliyetleri bileşenlerinden oluşmaktadır. Böylelikle, (78) no'lu eşitlikten ve dönem sonu envanter düzeyinin $\mathbf{E}[q_{ij} - D_{1t}]$ olarak tanımlanmasından yola çıkarak, planlama ufku süresince beklenen toplam karın maksimize edilmesini ifade eden amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\max \left[\sum_{t=1}^T [p_t d_t(p_t)] + \sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^t [h d_z(p_z)] - \sum_{i=1}^T \sum_{j=i+1}^{T+1} \left[K w_{ij} + \sum_{t=i}^{j-1} (h \mathbf{E}[q_{ij}] + (h + s) \hat{H}_{ijt}) \right] \right] \quad (80)$$

Amaç fonksiyonunda yer alan ilk ifade her bir döneme ilişkin beklenen geliri işaret ederken, diğer terimler her bir tedarik aralığında katlanması beklenen maliyeti ifade etmektedir.

Modele ilişkin karar değişkenleri göz önüne alındığında görülmektedir ki, dönem sonu beklenen envanter düzeyleri için de ayrı bir karar değişkeni tanımlanmamaktadır. Bunun

yerine, dönem sonu beklenen envanter düzeyleri, beklenen kümülatif sipariş miktarı açısından $\mathbf{E}[q_{ij} - D_{1t}]$ olarak ifade edilmektedir. Bu doğrultuda, (79) no'lu eşitlik aşağıdaki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned}\hat{H}_{ijt} &= \max_{k=1,\dots,N} \{ \alpha_k \sigma_{it} + \beta_k \mathbf{E}[q_{ij} - D_{1t}] \} \\ &= \max_{k=1,\dots,N} \left\{ \alpha_k \sigma_{it} + \beta_k \mathbf{E}[q_{ij}] - \beta_k \sum_{z=1}^t b_z + \beta_k \sum_{z=1}^t a_z p_z \right\}\end{aligned}\quad (81)$$

Her bir tedarik aralığına ilişkin toplam beklenen dönem sonu envanter maliyetlerinin hesaplanabilmesi için optimal tedarik aralıkları bilgisine sahip olmak gerekmektedir. Bu duruma paralel olarak, dönem sonu envanter maliyetlerinin yaklaşık olarak değerini veren parçalı doğrusal fonksiyonun sadece optimal tedarik aralıklarında sıfırdan farklı ve büyük bir değer alması arzu edilmektedir. Bu koşul ancak, w_{ij} ikili değişkeninin (81) no'lu eşitlikte yer alan parçalı doğrusal yaklaşıma dahil edilmesiyle sağlanmaktadır. Böylece, bu başlık altında sunulmakta olan kuadratik tamsayı programlama modeli için aşağıda yer alan kısıt elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}\hat{H}_{ijt} &\geq \alpha_k \cdot w_{ij} \cdot \sigma_{it} + \beta_k \mathbf{E}[q_{ij}] - \beta_k \cdot \sum_{z=1}^t b_z w_{ij} + \beta_k \cdot \sum_{z=1}^t a_z p_z \\ i &= 1, \dots, T, \quad j = i + 1, \dots, T + 1, \quad t = i, \dots, j - 1, \quad k = 1, \dots, N\end{aligned}\quad (82)$$

Yukarıda yer alan eşitsizlik, parçalı doğrusal yaklaşıma ilişkin kesişim ve eğim değerlerini kullanarak \hat{H}_{ijt} değişkeni için aşağıdan başlayarak sınırlar tanımlamaktadır. Bununla beraber, α_k değerlerinin pozitif ve β_k değerlerinin negatif sayılar olduğu bilindiğinden, söz konusu eşitsizliğin sol tarafının, ilgilenilen tedarik aralığının optimal olmadığı durumda sıfır değerine karşılık geldiği, aksi halde ise sıfırdan büyük bir değere tekabül ettiği açıkça görülmektedir.

Planlama ufku birbirini takip eden tedarik aralıklarından oluşmaktadır. Bu doğrultuda, tedarik aralıklarını ifade eden w_{ij} değişkeni üzerine belirli kısıtların tanımlanması ihtiyacı duyulmaktadır. (83) no'lu kısıt, ilk tedarik işleminin planlama ufku başında gerçekleşmesini garanti altına almaktadır. Benzer şekilde, (84) no'lu eşitlik, planlama ufku içerisinde yer alan herhangi bir dönemde başlayan tedarik aralığının en fazla

planlama ufkunun son dönemini kapsayacak uzunlukta olduğunu ifade etmektedir. Son olarak (85) no'lu eşitsizlik ise, planlama ufku boyunca her bir tedarik aralığından hemen sonra başka bir tedarik aralığının yer alması koşulunu matematiksel olarak göstermektedir. İlgili değişkenin tüm planlama ufkunu kapsamı açısından, aşağıda yer alan kısıtlarda $T + 1$ dönemi kukla dönem olarak yer almaktadır.

$$\sum_{j=2}^{T+1} w_{1j} = 1, \quad (83)$$

$$\sum_{i=1}^T w_{iT+1} = 1, \quad (84)$$

$$\sum_{i=1}^{T-1} w_{it} = \sum_{j=t+1}^{T+1} w_{tj}, \quad j = 2, \dots, T \quad (85)$$

Açıkça görülmektedir ki, w_{ij} değişkeni 1 değerini almakta ise, $\mathbf{E}[q_{ij}]$ değişkeni, planlama ufku başından j . döneme kadar gerçekleştirilmesi beklenen kümülatif sipariş miktarını ifade etmektedir, aksi halde sıfır olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, herhangi bir olası tedarik aralığı başında beklenen kümülatif sipariş miktarı $\mathbf{E}[q_{ij}]$ ile w_{ij} ikili değişkeni arasında bir bağımlılık ilişkisi söz konusu olmaktadır. M yeteri kadar büyük bir sayı olmak üzere, bu ilişki aşağıdaki kısıt yardımıyla sağlanabilmektedir.

$$\mathbf{E}[q_{ij}] \leq M \cdot w_{ij}, \quad i = 1, \dots, T, \quad j = i + 1, \dots, T + 1 \quad (86)$$

Her bir tedarik aralığı için beklenen kümülatif sipariş miktarı, tanımı gereği kendisinden sonra gelen bütün tedarik aralıklarında yer alan beklenen kümülatif sipariş miktarı toplamından daha düşük veya eşit olmak durumundadır. Bu koşul ise aşağıdaki kısıt yardımıyla mümkün olmaktadır.

$$\sum_{i=1}^{t-1} \mathbf{E}[q_{it}] \leq \sum_{j=t+1}^{T+1} \mathbf{E}[q_{tj}], \quad t = 2, \dots, T \quad (87)$$

Yukarıda yer verilen amaç fonksiyonu ile kısıtların aşağıdaki gibi bir araya getirilmesi ile birlikte alternatif matematiksel model tamamlanmış olmaktadır. Modelin çözülmesi ile

birlikte 1 değeri alan w_{ij} değerleri optimal tedarik aralıklarına işaret etmektedir. Optimal sipariş yükseltme düzeyleri ise, sıfırdan farklı olan $\mathbf{E}[q_{ij}]$ değerlerinden i . döneme kadar beklenen kümülatif talebin çıkarılmasıyla elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{t=1}^T [p_t d_t(p_t)] + \sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^t [hd_z(p_z)] - \\ & \sum_{i=1}^T \sum_{j=i+1}^{T+1} \left[Kw_{ij} + \sum_{t=i}^{j-1} (h\mathbf{E}[q_{ij}] + (h+s)\hat{H}_{ijt}) \right] \end{aligned} \quad (88a)$$

$$\text{s. t} \quad \sum_{j=2}^{T+1} w_{1j} = 1, \quad (88b)$$

$$\sum_{i=1}^T w_{iT+1} = 1, \quad (88c)$$

$$\sum_{i=1}^{t-1} w_{it} = \sum_{j=t+1}^{T+1} w_{tj}, \quad j = 2, \dots, T \quad (88d)$$

$$\mathbf{E}[q_{ij}] \leq Mw_{ij}, \quad i = 1, \dots, T, \quad j = i + 1, \dots, T + 1 \quad (88e)$$

$$\sum_{i=1}^{t-1} \mathbf{E}[q_{it}] \leq \sum_{j=t+1}^{T+1} \mathbf{E}[q_{tj}], \quad t = 2, \dots, T \quad (88f)$$

$$\hat{H}_{ijt} \geq \alpha_k w_{ij} \sigma_{it} + \beta_k \mathbf{E}[q_{ij}] - \beta_k \cdot \sum_{z=1}^t b_z w_{ij} + \beta_k \cdot \sum_{z=1}^t a_z p_z \quad (88g)$$

$$i = 1, \dots, T, \quad j = i + 1, \dots, T + 1, \quad t = i, \dots, j - 1$$

$$p_t \geq p_{min}, \quad (88h)$$

$$p_t \leq p_{max} \quad (88i)$$

$$w_{ij} \in \{0,1\}, \quad p_t \in [p_{min}, p_{max}], \quad \hat{H}_{ijt}, \mathbf{E}[q_{ij}] \in \mathbb{R}_+$$

4.4 MATEMATİKSEL MODELLERİN İLAVE VARSAYIMLARLA GENİŞLETİLMESİ

Bu başlık altında, yukarıda sunulan matematiksel modellerin, ek varsayımlar kullanılarak genişletilmesi planlanmaktadır. Bu doğrultuda, ilk olarak, fiyat değişimlerinin belirli bir maliyete katlanılarak gerçekleştirildiği varsayımı göz önüne alınacaktır. Sonrasında, söz konusu modeller, sınırlı sayıda fiyat değişimi varsayımı ile genişletilecektir. Son olarak ise, fiyat hareketlerinin sadece aşağıya doğru olduğuna işaret edilmektedir. Bahsi geçen her bir varsayım, günlük hayat uygulamalarında sıkça yer almaktadır ve bu bağlamda, ayrı başlıklar altında incelenecektir.

4.4.1 Maliyetli Fiyat Değişimi

Başlık 4.2 ve 4.3'te sunulan temel matematiksel modeller, mamule ilişkin satış fiyatının birbirini takip eden dönemlerde farklı değerler alması durumunda herhangi bir maliyete katlanılmadığı varsayımına dayanmaktadır. Bu doğrultuda, mevcut döneme ait başlangıç envanter düzeyi de göz önüne alınarak, talepteki dalgalanmaları karşılayabilmek adına, satış fiyatı ihtiyaç duyulan sıklıkta değiştirilebilmektedir. Bununla birlikte, her bir dönem içerisinde uygulanan satış fiyatının, kendisinden önce gelen döneme ait satış fiyatından farklı olması durumunda, fiyat değişimine ilişkin bir maliyet ortaya çıkabilmektedir. Öyle ki, bu maliyetler, birçok zaman fiyatın sıklıkla değiştirilmesi önünde büyük engel teşkil etmektedir. Bu konuyu ele alan birçok çalışma literatürde kendisine yer bulmaktadır (bkz. Slade (1998), Bergen, Ritson, Dutta, Levy, & Zbaracki (2003)).

Literatürde, fiyat değişimine ilişkin iki türde maliyet olduğu ifade edilmektedir. Bu maliyetler, yönetimsel maliyetler ve fiziksel maliyetler olarak isimlendirilmektedir. Bu doğrultuda, yönetimsel maliyetler, fiyat değişimi kararına ilişkin ilgili bilginin toplanması ve kararın uygulanması için gereken zaman ve dikkatin parasal karşılığı olarak ifade edilmektedir (Ball & Mankiw, 1994). Fiyat değişimlerine ilişkin ortaya çıkan diğer bir maliyet türü olan fiziksel maliyetler ise, fiyat değişiminin gerektirdiği fiziksel çabaya karşılık gelen maliyetleri ifade etmektedir. Fiziksel maliyet çoğu zaman menü maliyetleri olarak da adlandırılmaktadır ve fiyat değişimi büyüklüğünden bağımsız olarak meydana

gelmektedir. Yönetimsel maliyetler ise, fiyat değişimi büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir.

Yönetimsel ve fiziksel maliyetlerin boyutu fiyatlandırma kararlarını oldukça yakından ilgilendirmektedir. Örneğin, Levy, Bergen, Dutta, & Venable (1997), beş süpermarket zincirinden elde edilen veriyi kullanmışlar ve fiziksel maliyetlerin toplam karın %0.70'ine denk geldiğini ifade etmişlerdir. Benzer bir çalışmada, Zbaracki, Ritson, Levy, Dutta, & Bergen (2004), büyük bir endüstriyel üreticiden elde edilen veriden faydalanmış ve toplam fiyat değişimi maliyetlerinin toplam karın %1.22'sine denk geldiğini belirtmişlerdir. Bununla beraber, yazarlar, toplam yönetimsel maliyetin toplam fiziksel maliyetin yaklaşık altı katı büyüklüğünde olduğunu ifade etmişlerdir. Fiyat değişimi maliyetlerinin bu denli yüksek olması, karar vericiyi fiyat değişiminden kaçınmaya güdüleyebilmektedir.

Bu başlık altında, önerilen matematiksel modeller, fiyat değişimlerinin belirli bir maliyet doğurduğu varsayımı kullanılarak genişletilmektedir. Bu doğrultuda, ilgili literatürde olduğu gibi toplam fiyat değişimi maliyetinin yönetimsel ve fiziksel maliyetlerinden oluştuğu varsayılmaktadır. Böylelikle, t dönemi başında fiyat değişimi büyüklüğü ve yönü u_t değişkeni ile ifade ediliyor olsun. Öyle ki, eğer t dönemi başında bir önceki dönem satış fiyatına göre fiyatta bir artış meydana geldiyse u_t pozitif bir değer almaktadır. Eğer t dönemi satış fiyatı, bir önceki döneme ait satış fiyatından daha düşük belirlendiyse, u_t değişkeni negatif bir değer almak durumundadır. Bununla beraber, t döneminde meydana gelen fiyat artışının ve azalışının büyüklüğü sırasıyla negatif olmayan u_t^+ ve u_t^- değişkenleri ile ifade edilmektedir. Herhangi bir dönem içerisinde bir önceki döneme göre hem fiyat artış hem de fiyat düşüşü aynı anda gerçekleşmeyeceğinden aşağıdaki kısıtların sağlanması gerekmektedir. Basitlik adına, dönem başında fiyat değişiminin gerçekleşmediği varsayımında bulunmaktadır.

$$u_t = p_t - p_{t-1} \quad t = 2, \dots, T \quad (89a)$$

$$u_t + u_t^- - u_t^+ = 0 \quad t = 2, \dots, T \quad (89b)$$

$$u_t^- \geq -u_t, \quad t = 2, \dots, T \quad (89c)$$

$$u_t^+ \geq u_t, \quad t = 2, \dots, T \quad (89d)$$

Her bir dönem içerisinde fiyat değişimine ilişkin karar ikili değişken τ_t vasıtasıyla ifade edilmektedir. Bir diğer deyişle, τ_t ikili değişkeni ilgili dönemde fiyat değişiminin gerçekleştirilmiş veya gerçekleştirilmemiş olmasına işaret etmektedir. Bu doğrultuda, eğer t dönemi için belirlenen satış fiyatı bir önceki dönemin fiyatından farklı ise, τ_t 1 değerini almaktadır. Aksi halde sıfır değerini almaktadır. M , oldukça büyük bir sayı olmak koşulu ile fiyat değişimi ve ikili değişken τ_t arasında bağımlılık ilişkisi aşağıdaki kısıt vasıtasıyla kurulmaktadır.

$$u_t^+ + u_t^- \leq M\tau_t, \quad t = 2, \dots, T \quad (90)$$

Fiziksel maliyet F_t ve yönetsel maliyet m_t ile gösteriliyor olsun. Dolayısıyla, fiyat değişimine ilişkin toplam maliyet aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\sum_{t=2}^T F_t \tau_t + m_t (u_t^+ + u_t^-) \quad (91)$$

Sonuç olarak, yukarıda (91) no'lu eşitlikte verilen toplam fiyat değişimi maliyetinin (76a) ve (88a) no'lu amaç fonksiyonlarına negatif değer olarak ve (89), (90) no'lu kısıtların da (76) ve (88) no'lu matematiksel modellere dahil edilmesi ile birlikte, fiyat değişimlerinin belirli bir maliyete katlanılarak gerçekleştirildiği varsayımı altında temel modeller genişletilmiş olmaktadır.

4.4.2 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi

Başlık 4.2 ve 4.3'te yer verilen matematiksel modeller, karar vericinin her bir dönemde mamule ait satış fiyatını değiştirebilme özgürlüğüne sahip olduğu varsayımını kabul etmektedir. Bu varsayım, birçok gerçek hayat uygulamasıyla örtüşmektedir. Bununla beraber, söz konusu varsayım, kimi günlük hayat uygulamalarında pek de cezbedici olmamaktadır. Bu durum altında yatan en önemli sebep, sık fiyat değişimlerinin müşteri üzerinde yarattığı algı ile alakalı olmaktadır. Bu doğrultuda, mamule ilişkin fiyatın her bir dönem değişkenlik göstermesi ve fiyat değişimlerinin boyutunun fark edilir düzeyde olması müşterinin zihnini bulandırmaktadır (Ming, Chen, Pundoor, Acharya, & Yi, 2015). Bunun sonucu olarak ise, müşteriler işletmenin çok sayıda uyguladığı fiyat

değişimlerinin ardındaki sebebi anlamaya çabalamakta ve çoğu zaman işletmenin adaletli olmadığı ve kendilerini aldatıcı bir fiyat politikası izlediği çıkarımına varmaktadırlar (Hall & J. Hitch, 1939).

İşletmeler, yukarıda bahsedilen sebepler yüzünden, kimi zaman müşterilerini düşman edinme korkusuyla karşı karşıya kalmaktadırlar (Netessine, 2006). Bu bağlamda, müşterinin zihnini bulandırmadan beklenen karın mümkün mertebe yüksek tutulması amacıyla, planlama ufku boyunca sınırlı sayıda fiyat değişimi uygulamayı tercih etmektedirler. Örneğin, Intel firması, birçok orijinal malzeme üreticisine üretim sürecinde kullanılmak üzere ara parça sağlamaktadır. Li & Huh (2012)'un çalışmasında belirtildiği üzere, Intel satışı ile ilgilendiği mamullerin yaşam eğrileri boyunca çok sayıda fiyat değişimi yapmak yerine, sınırlı sayıda fiyat değişimi uygulamaktadır. Böylesi hem müşteriler, hem de Intel için daha faydalı olmaktadır. Benzer şekilde, perakende işletmesi Zara indirim dönemlerinde, zamanlaması önceden belirlenmiş sınırlı sayıda fiyat indirimine gitmektedir (Caro & Gallien, 2012).

Şu ana kadar bahsedilen, gerçek hayat uygulamalarından yola çıkarak, bu başlık altında, sınırlı sayıda fiyat değişimi varsayımının temel modele dahil edilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, Başlık 4.4.1'de tanımlanan değişkenlerden yararlanılmaktadır. Böylelikle, herhangi bir dönemde fiyat değişimi kararına ilişkin (89) ve (90) no'lu kısıtlar sunulan matematiksel modellere dahil edilmektedir. Arzu edilen fiyat değişimi sayısı k ile belirtiliyor olsun. Bu durumda, planlama ufku boyunca en çok k sayıda fiyat değişiminin gerçekleştirilmesi, (89) ve (90) no'lu kısıtlara ek olarak, aşağıda yer verilen kısıtın da matematiksel modellere dahil edilmesi ile mümkün olmaktadır.

$$\sum_{t=1}^T \tau_t = k \quad (92)$$

Görüleceği üzere, Eşitlik (92)'de k değerinin sıfır olarak belirlenmesi durumunda, sabit fiyat politikası elde edilmektedir.

4.4.3 Fiyat İndirimi

Bu bölümde sunulan çok dönemli birleşik envanter ve fiyatlandırma problemine ilişkin matematiksel modeller, satış fiyatlarının hem artırılmasına hem de düşürülmesine imkan tanımaktadır. Bununla beraber, özellikle perakende sektöründe yer alan veya internet aracılığıyla mamul satışı yapan işletmeler, planlama ufku boyunca mamule ilişkin satış fiyatının ancak indirim uygulanarak değiştirilmesine müsaade etmektedir. FairMarket, Comp USA, Land's End ve Grainger gibi birçok işletme indirim fiyatlandırması uygulayan işletmelere örnek olarak verilebilmektedir (Elmaghraby, Gulcu, & Kesinocak, 2001).

İndirim fiyatlandırma stratejisi birçok amaçla kullanılmaktadır. Söz konusu stratejiyi bir işletme, müşteri bağlılığı yaratma amacıyla kullanmaktayken, diğer bir işletme, elde bulunduran envanter miktarının azaltılması güdüsüyle kullanmaktadır. Benzer şekilde, söz konusu strateji, farklı ödeme gücüne sahip birçok müşteriye ulaşılarak karlılığın artırılması adına da benimsenmektedir. Bu doğrultuda, bilgi teknolojilerinde meydana gelen atılımla beraber, birçok yazılım ve otomasyon firması, her bir döneme ait indirim kararlarını optimize eden bilgisayar destekli karar destek sistemlerini geliştirmekte ve işletmelerin hizmetine sunmakta birbirleriyle yarış halindedirler (Elmaghraby & Keskinocak, 2003).

Birçok durumda ise işletmeler, tedarikçileri ile üzerinde anlaşmaya vardıkları sözleşme şartları sebebiyle sürekli olarak indirim uygulamak durumunda kalmaktadırlar. İndirim şartını içeren bu tür sözleşmeler indirim sözleşmeleri olarak adlandırılmaktadır. Bu tür sözleşmeler, Tommy Hilfiger gibi büyük tedarikçiler tarafından arz sağlanan perakende işletmelerine uygulanmaktadır (Shen, Chow, & Choi, 2014). Bununla beraber, Lady Forever işletmesi, 2010 yılında birçok perakende işletmesi indirim sözleşmelerini kullanmış ve nihayetinde 2009 yılı net karına oranla %45'lik kar artışı sağlamıştır (Chow, Wang, Choi, & Shen, 2014).

Yukarıda bahsedildiği üzere, planlama ufku süresince indirim varsayımı oldukça gerçekçi olmaktadır. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında sunulan matematiksel modellere aşağıdaki kısıtın eklenmesiyle, fiyatın planlama ufku süresince sadece aşağı doğru hareket etmesine izin verilmektedir.

$$p_t \leq p_{t-1} \quad t = 2, \dots, T \quad (93)$$

Bununla beraber, birçok perakende işletmesi satış fiyatı indirimlerini, planlama ufku başında belirlemekte ve müşterilerini bu indirimlerden haberdar etmektedir. Bu tür indirimler ise, önceden beyan edilmiş fiyat indirimleri olarak isimlendirilmektedir. Söz konusu indirim stratejisinin en bilinen örneği, Filene's Basement adlı işletmenin kullandığı fiyatlandırma politikasıdır. Bu doğrultuda, işletme, planlama ufku boyunca %25, %50 ve %75'lik düzeylerde indirim uygulamaktadır. Her bir indirim oranı, başlangıç fiyatı üzerinden uygulanmaktadır (Bell & Starr, 1993).

Önceden beyan edilmiş fiyat indirimleri varsayımının modellere dahil edilmesiyle birlikte sadece başlangıç fiyatı değişken olmaktadır. Bu doğrultuda, z kümesi, her dönem için başlangıç fiyatı üzerinden önceden beyan edilen fiyat indirimi oranlarını belirtiyor olsun. Böylelikle, her bir t döneminde uygulanacak indirim oranı z_t ile gösterilmektedir. Sadelik adına, planlama ufku başında satış fiyatı indirimi olmadığı varsayılmaktadır ($z_1 = 0$). Sonuç olarak, aşağıdaki kısıtın söz konusu matematiksel modellere dahil edilmesiyle birlikte, Önceden beyan edilmiş fiyat indirimlerine müsaade eden (R, S, p) modeli elde edilebilmektedir.

$$p_t = p_1 * (1 - z_t) \quad t = 2, \dots, T \quad (94)$$

4.5 TANIMLAYICI ÖRNEK

Bu başlık altında, bu tez çalışmasında sunulan (R, S, p) politikasının çalışma prensibini göstermek adına bir adet tanımlayıcı örnek sunulmaktadır. Bu örnek için, planlama ufkunun 15 ($T = 15$) dönemden oluştuğu düşünülmüştür. Her bir döneme ilişkin stokastik talep fiyata bağımlı olarak meydana gelmektedir. Daha önce bahsedildiği üzere, stokastik talep fonksiyonu toplamsal bir yapıdadır. Stokastik talep fonksiyonunda yer alan, deterministik talep fonksiyonu ise, $d_t(p_t) = b_t - ap_t$ olarak ifade edilmektedir. Doğrusal bir yapıda olan söz konusu deterministik talep fonksiyonunun her dönem için sabit eğime ($a = 2$) sahip olduğu varsayılmıştır. Bununla beraber, her bir döneme ilişkin deterministik talep doğrusuna ilişkin kesişim noktaları değişkenlik göstermektedir ve bu

kesişim noktaları Tablo 4-1’de gösterilmektedir. Her bir dönem talebi için standart sapma $0.1 * b_t$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4-1 Beklenen Talep Fonksiyonu Döneme Göre Kesişim Noktası Değerleri

Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
b_t	80	100	120	150	180	170	140	130	110	90	75	50	65	45	20

Bu örnek için tüm maliyet parametrelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Bir diğer deyişle, maliyet parametreleri zaman içerisinde değişim göstermemektedir. Bu doğrultuda, sabit sipariş maliyeti, birim sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve gecikmeli teslim maliyeti sırasıyla 250, 5, 1 ve 10 olarak kabul edilmiştir. Fiyat, her bir dönem için alt ve üst sınıra sahiptir. Bu doğrultuda, optimal fiyat için alt sınır her dönem için 10 olarak belirlenmiştir. Optimal fiyata ilişkin üst sınır ise her bir dönem için b_t/a olarak belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen maliyet ve talep parametreleri kullanılarak, Tablo 4-2’de (R, S, p) politikası parametre değerleri sunulmaktadır. Problem parametre değerleri bilgisayar ortamında, Python programlama dili ve Gurobi optimizasyon aracı kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 4-2 (R, S, p) Politikası Optimal Parametre Değerleri

(R, S, p)			
t	S_t	q_t	p_t
1	141	141	22.5
2	—	0	28
3	—	0	33.5
4	247	238	40
5	—	0	48
6	—	0	46
7	183	168	37.5
8	—	0	35.5
9	—	0	31
10	132	120	25
11	—	0	21.75

12	–	0	16
13	–	0	20.25
14	–	0	15.0586
15	–	0	10

Tablo 4-2’den görüleceği üzere, optimal tedarik planı, planlama ufku süresince toplamda 4 kere satın alma işleminin yapılmasını önermektedir. Böylelikle, 1,4,7 ve 10. dönemlerin başında sipariş vermek optimal olmaktadır. Görülmektedir ki, ilk sipariş 3 dönem, bir sonraki sipariş, 3 dönem, üçüncü sipariş, 3 dönem ve son sipariş 6 dönem boyunca gerçekleşmesi muhtemel talebi karşılamak üzere verilmiştir. Bir diğer deyişle, optimal sipariş aralıkları, $R = [3, 3, 3, 6]$ olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, Tablo 4-2, her sipariş dönemine ilişkin optimal sipariş yükseltme düzeylerini göstermektedir. Talep parametreleri zaman içerisinde değişkenlik gösterdiğinden, optimal sipariş yükseltme düzeyleri de birbirlerinden farklılık göstermektedir. Söz konusu tablonun son sütununda ise optimal fiyatlandırma kararlarına yer verilmiştir. Bu örnekte, fiyat değişimlerinin herhangi bir maliyet doğurmadığı varsayıldığından, her bir dönem fiyatı kendisinden bir önceki dönem fiyatından farklılık göstermektedir.

4.6 NÜMERİK ÇALIŞMA

Yukarıda, çok dönemli dinamik fiyatlandırma ve envanter problemi için iki ayrı matematiksel model önerilmişti. Bu başlık altında ise, nümerik testler yardımıyla, fiyatın zaman içerisinde değiştirilmesinin işletme karlılığı üzerine etkisi gösterilecek ve önerilen matematiksel modellerin işlemsel etkinliği incelenecektir.

Bu nümerik çalışma boyunca, fiyata bağımlı deterministik talep fonksiyonuna ilişkin kesişim noktaları $b_t \in [20,150]$ tamsayı aralığından rassal olarak belirlenmektedir. Bir diğer yandan, bu çalışmada, söz konusu talep fonksiyonuna ilişkin eğim değeri a_t , her bir dönem için 2 olarak kabul edilmektedir. Rassal talep fonksiyonunda yer alan stokastik terimin ϵ_t ise normal dağılımı takip ettiği varsayılmaktadır. Öyle ki, herhangi bir dönemde gerçekleşen talebin standart sapması σ_t , ρ değeri ile ilgili döneme ait deterministik talep fonksiyonunun kesişim değerinin b_t çarpılması $\sigma_t = \rho \cdot b_t$ ile elde

edilmektedir. Aşağıda yer alan tüm nümerik çalışmalarda ρ değeri 0.1 olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber, planlama ufku süresince fiyatın maksimum 30, minimum 10 olarak belirlenebilmesine izin verilmiştir.

4.6.1 Sabit Fiyat Varsayımı Altında (R, S) Politikası ile (R, S, p) Politikasının Karlılık Açısından Değerlendirilmesi

Tedarik ve fiyatlandırma kararlarının eş zamanlı olarak ele alınması ile esas olarak işletme karlılığının artırılması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda fiyatlandırma kararları, talebi kontrol etmek üzere etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu nümerik çalışmada, (R, S) ve (R, S, p) politikalarının karlılık performansları incelenecektir.

Geleneksel (R, S) politikasına göre, ürüne ilişkin fiyat sabit olarak kabul edilmekte ve fiyatlandırma kararı envanter yöneticileri tarafından kontrol edilememektedir. Bir diğer deyişle, fiyat karar değişkeni olarak ele alınmamaktadır. Bu çalışmada, söz konusu iki politikaya ilişkin optimal kar değerlerinin adil bir şekilde karşılaştırılabilmesi amacıyla (R, S) politikası Başlık 4.4.2’de tanıtıldığı üzere sabit fiyat varsayımı ile genişletilmektedir. Böylelikle fiyat karar değişkeni olarak modele dahil edilmekte ve söz konusu modelin çözüme kavuşturulmasıyla toplam beklenen karı maksimize eden optimal sabit fiyat da elde edilebilmektedir. Bu bağlamda, aşağıda yer alan nümerik çalışma aracılığıyla, fiyatın zaman içerisinde değişim göstermesine imkan veren (R, S, p) politikasının sabit fiyat varsayımını kabul eden (R, S) politikası karşısında kar bakımından üstünlüğü gösterilmektedir.

Hatırlanacağı üzere, söz konusu politikalar parçalı doğrusal yaklaşımı temel almaktadır. Bununla beraber, negatif siparişe izin verilmemektedir. Bu sebeple, optimal kar değerleri tam olarak elde edilememektedir. Bununla beraber, sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek adına optimal kar değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, bu nümerik çalışmada, matematiksel modellerin çözüme kavuşturulması ile elde edilen politikalar simülasyon girdisi olarak kullanılmakta ve toplam beklenen kar 10000 simülasyon değerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

Bu nümerik çalışmada, sabit sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti, ceza maliyeti sırasıyla 150, 1, 10 olarak kabul edilmiştir. Birim değişken sipariş maliyeti sıfır olarak

ele alınmıştır ($v = 0$). Bununla beraber, fiyat değişimlerinin maliyetsiz olarak gerçekleştiği varsayımında bulunulmuştur. Planlama ufku, $T \in \{10, 12, 15\}$ olacak şekilde belirlenmiştir. Planlama ufku boyunca fiyat değişim sayısı sırasıyla 2, 4, 6 ve sınırsız olarak kabul edilmektedir. Tüm test örnekleri için, deterministik talep fonksiyonuna ilişkin 100 farklı kesişim değerleri kümesi b rassal olarak oluşturulmuştur. Böylelikle, $3 * 5 * 100 = 1500$ farklı sonuç içeren bir test havuzu oluşturulmuştur.

Yukarıda tanımı verilen problemde yola çıkarak, aşağıda yer alan tablolar elde edilmiştir. Söz konusu tablolarda, “SEK” başlığı simülasyon aracılığıyla hesaplanan toplam beklenen karı ifade etmektedir. Fiyat değişim sayısı ise, bir “FDS” sütunuyla ifade edilmektedir. Bununla beraber son sütunda yer alan başlık, fiyat değişim sayısı arttırıldıkça, sabit fiyat yaklaşımına kıyasla işletme karlılığında meydana gelen yüzdelik artışa işaret etmektedir. Sabit fiyat yaklaşımı neticesinde elde edilen optimal kar, diğer satırlarda yer alan veriler ile kolayca elde edilebileceğinden aşağıda yer alan tablolarda gösterilmemektedir. Her bir satırda yer alan değerler 100 farklı test örneğinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

Tablo 4-3 10 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi

Parametreler			
<i>T</i>	<i>FDS</i>	<i>SEK</i>	<i>DIF</i>
10	2	8977.042	10.43%
	4	9385.529	15.45%
	6	9542.511	17.39%
	9	9581.642	17.87%

Tablo 4-4 12 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi

Parametreler			
<i>T</i>	<i>FDS</i>	<i>SEK</i>	<i>DIF</i>
12	2	10404.38	9.56%
	4	10908.54	14.87%
	6	11175.69	17.69%
	11	11305.08	19.05%

Tablo 4-5 15 Dönemlik bir Planlama Ufku İçin Fiyat Değişim Sayısının İşletme Karlılığı Üzerine Etkisi

<i>Parametreler</i>			
<i>T</i>	<i>FDS</i>	<i>SEK</i>	<i>DIF</i>
15	2	12272.66	8.50%
	4	12843.37	13.54%
	6	13170.55	16.44%
	14	13467.1	19.06%

Tablo 4-3, Tablo 4-4 ve Tablo 4-5’de yer alan sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki, fiyat değişim sayısının artırılması ile birlikte işletme karlılığı ciddi oranda artmaktadır. Öyle ki, fiyatın sadece 2 kere değiştirilebildiği varsayımı altında dahi, sabit fiyat yaklaşımına kıyasla işletme karlılığı 10% oranında artırılabilir. Ek olarak, nümerik çalışma bulguları göstermektedir ki planlama ufku boyunca fiyat değişim serbestliğinin bulunması halinde işletme karlılığı ciddi oranda artırılabilir. Söz konusu nümerik çalışmaya ilişkin son bulgu ise, planlama ufku uzunluğu artırılması ile birlikte zaman içerisinde değişkenlik gösteren fiyatlandırma stratejisinin toplam beklenen kar üzerine etkisinin de artış gösterdiğine işaret etmektedir.

4.6.2 Önerilen Matematiksel Modellerin İşlemsel Etkinliği

Bu başlık altında, ilk olarak önerilen matematiksel modellerin işlemsel etkinliği nümerik testler aracılığıyla incelenecektir. Daha sonra ise, bu bölüm altında yer verilen ilave varsayımlar temel modellere dahil edilecek ve bu varsayımlar altında sunulan matematiksel modellerin işlemsel etkinliği test edilecektir. Son olarak ise, nümerik testler yardımıyla, fiyatın zaman içerisinde değiştirilmesinin işletme karlılığı üzerine etkisi gösterilecektir.

(R, S, p) politikasına ilişkin temel matematiksel modeller, ilk olarak, farklı uzunluklarda olan dört planlama ufku için karşılaştırılmaktadır. Bu doğrultuda, planlama ufku, $T \in \{10, 12, 15, 17\}$ olacak şekilde belirlenmiştir. Benzer şekilde, her bir planlama ufku için üç ayrı sabit sipariş maliyeti değeri tanımlanmaktadır. Böylelikle, sipariş maliyetleri $K \in \{100, 150, 225\}$ olarak ele alınmaktadır. Birim değişken maliyet ise sıfır olarak kabul

edilmiştir. Bununla beraber, her bir dönem için birim elde bulundurma maliyeti, $h = 1$, birim ceza maliyeti, $s = 12$ olacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir test örneği için, deterministik talep fonksiyonuna ilişkin rassal olarak elde edilen 50 farklı kesişim değerleri kümesi b oluşturulmuştur. Sonuç olarak, toplamda $4 * 3 * 50 = 600$ farklı örnek problemi kapsayan bir test havuzu elde edilmiştir.

Önerilen matematiksel modeller, bilgisayar ortamında Python programlama dili ile kodlanmış ve problem parametreleri Gurobi karışık tamsayı programlama çözücüsü ile elde edilmiştir. Bununla birlikte, tüm nümerik deneyler, 4 GB RAM'e ve 2.60 Intel Core i5-3320M CPU işlemciye sahip bir bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda yer verilen Tablo 4-6 ve Tablo 4-7, yukarıda tanımlanan nümerik çalışmaya ilişkin sonuçlar sunulmaktadır. Başlık 4.2'de geliştirilen matematiksel modele ilişkin sonuçlar $(R, S, p)_1$ olarak isimlendirilen tabloda ifade edilirken, Başlık 4.3'te yer alan matematiksel model $(R, S, p)_2$ tablosunda sergilenmektedir. İlgili tablolarda bulunan ve "HS" olarak kısaltılan sütun başlığı, saniye cinsinden hesaplama süresini ifade etmektedir. Bununla beraber, "DG" sütunu, ilgilenilen karışık tamsayı programlama modelinin doğrusal gevşetimine ait optimal sonuç ile orijinal modelin optimal sonucu arasındaki yüzdelik farkı göstermektedir. "DS" sütünü ise optimizasyona ilişkin incelenen dal ve kesim düğüm sayılarını ifade etmektedir. Bahsi geçen sütunlarda yer alan değerler, 50 farklı talep senaryosunun ortalaması alınarak elde edilmiştir. Ayrıca, gösterim kolaylığı olması amacıyla, nümerik testler sonucu elde edilen hesaplama süreleri yuvarlanmış biçimde ilgili sütunda yer almaktadır.

Tablo 4-6 $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

Parametreler		$(R, S, p)_1$		
T	K	HS	DG	DS
10	100	0.042	5.06	262.26
	150	0.038	6.21	228.5
	225	0.032	7.76	181.4
12	100	0.096	5.39	611.74
	150	0.103	6.68	573
	225	0.098	8.30	465.44

15	100	0.797	5.63	3035.28
	150	0.766	7.13	2691.3
	225	0.453	8.98	1559.72
17	100	2.060	5.64	7639.74
	150	1.769	7.26	5949.7
	225	1.642	9.00	4964.18
Genel Ortalama		0.658	6.92	2346.855

Tablo 4-7 $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

Parametreler		$(R, S, p)_2$		
T	K	HS	DG	DS
10	100	0.491	33.19	895
	150	0.435	35.78	778.52
	225	0.379	38.42	622.52
12	100	4.294	38.76	3632.24
	150	4.274	40.78	3277.62
	225	3.753	44.58	2522.66
15	100	44.734	46.79	17109.88
	150	36.983	49.02	14653.8
	225	28.049	51.66	9876.02
17	100	246.083	50.78	61946.86
	150	188.129	54.36	50046.5
	225	143.128	55.70	34988.34
Genel Ortalama		58.394	44.98	16695.83

Nümerik testlere ilişkin sonuçlar göz önüne alındığında, çok açık bir şekilde görülmektedir ki, hesaplama süresi bakımından geliştirilen ilk model $(R, S, p)_1$ diğer modele $(R, S, p)_2$ kıyasla çok daha üstün performans göstermektedir. Buna paralel olarak, $(R, S, p)_1$ modelinini doğrusal gevşetiminin de $(R, S, p)_2$ modeline göre daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanında beklendiği üzere, dönem sayısı arttırıldıkça optimal çözüme ulaşmak için harcanan süre her iki model için de artış göstermektedir. Benzer

şekilde, dönem sayısının arttırılmasıyla birlikte, doğrusal gevşetime ait optimal sonuç ile karışık tamsayı modellerine ait optimal sonuç arasındaki fark artış göstermektedir. Bu durum ele alınan her bir test problemi için geçerli olmaktadır.

Bir diğer nümerik çalışma, önceki bölümlerde önerilen karışık tamsayı programlama modellerinin maliyetli fiyat değişimi varsayımı ile genişletilmesi sonucu elde edilmiştir. Bu doğrultuda, sabit sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti, ceza maliyeti sırasıyla 150,1,12 olarak kabul edilmiştir. Birim sipariş maliyeti sıfır olarak probleme dahil edilmiştir. Fiyat aralıkları daha önce tanımlandığı gibidir. Planlama ufku 12 dönemden oluşmaktadır. Sabit fiyat değişimi maliyeti $F \in \{25, 45, 60\}$ ve değişken fiyat değişimi maliyeti $m \in \{1, 1.5, 2\}$ olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak, toplamda $3 * 3 * 50 = 450$ farklı örnek problemi kapsayan bir test havuzu elde edilmiştir.

Tablo 4-8 ve Tablo 4-9, yukarıda tanımlanan nümerik çalışmaya ilişkin sonuçları göstermektedir. Bununla beraber, sütunlara ilişkin bulunan “SFD” ve “DFD” başlıkları sırasıyla, sabit fiyat değişimi maliyetini ve değişken fiyat değişimi maliyetini ifade etmektedir.

Tablo 4-8 Maliyetli Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

<i>Parametreler</i>		<i>$(R, S, p)_1$</i>		
<i>SFD</i>	<i>DFD</i>	<i>HS</i>	<i>DG</i>	<i>DS</i>
25	1	0.529	8.78	2967.44
	1.5	0.601	8.79	2839.38
	2	0.603	8.35	2739.5
45	1	0.990	9.68	4460.44
	1.5	0.932	9.90	4895.26
	2	0.876	9.75	4627.08
60	1	1.122	11.43	5964.26
	1.5	0.934	10.97	5178.36
	2	0.967	10.70	4947.16
Genel Ortalama		0.839	9.82	4290.987

Tablo 4-9 Maliyetli Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

<i>Parametreler</i>		$(R, S, p)_2$		
<i>SFD</i>	<i>DFD</i>	<i>HS</i>	<i>DG</i>	<i>DS</i>
25	1	7.069	45.08	5447.1
	1.5	7.976	44.21	5193.16
	2	8.171	42.68	5049.78
45	1	11.073	44.72	7682.4
	1.5	9.432	44.68	7761.74
	2	8.239	46.02	7102
60	1	11.218	47.60	10417.08
	1.5	10.309	47.23	9600.68
	2	11.152	46.47	10577.28
Genel Ortalama		9.404	45.41	7647.913

Tablo 4-6 ve Tablo 4-7’te yer alan sonuçlar, sabit fiyat değişimi ve değişken fiyat değişimi maliyetinin sıfır olarak kabul edildiği test sonuçları olarak da yorumlanabilmektedir. Bu doğrultuda, söz konusu tablolar ve Tablo 4-8 ve Tablo 4-9’da yer alan sonuçlara göre, maliyetli fiyatlandırma varsayımının modele dahil edilmesi ile her iki modelin de ortalama hesaplama sürelerinin arttığı görülmektedir. Buna paralel olarak, her iki modele ilişkin doğrusal gevşetimin de daha kötüye gittiği gözlemlenmektedir. Sadece Tablo 4-8 ve Tablo 4-9 değerlendirilecek olursa, hesaplama süresi bakımından geliştirilen ilk model $(R, S, p)_1$ diğer modele $(R, S, p)_2$ kıyasla çok daha üstün performans göstermeye devam etmektedir.

Bir başka nümerik çalışmada ise, fiyatın sınırlı sayıda değiştirilebildiği varsayımı her iki modele de dahil edilmiştir. Aşağıda yer alan tabloların ilk sütununda bulunan “FDS” başlığı, fiyat değiştirme sayısını ifade etmektedir. Bir önceki nümerik testte kabul edilen maliyet değerleri ve planlama ufkunda yer alan dönem sayısı aynı kalmaktadır. Fiyat değişim sayıları ise $k = \{0, 3, 5, 8\}$ olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, her iki model için de en düşük hesaplama süresi fiyatın sabit olduğu durumda elde edilmektedir. Genel olarak bakıldığında ise, ilk modelin hesaplama süresinde bu varsayım altında da çok baskın olduğu görülmektedir.

Tablo 4-10 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_1$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

<i>Parametreler</i>	$(R, S, p)_1$			
	<i>FDS</i>	<i>HS</i>	<i>DG</i>	<i>DS</i>
<i>0</i>	<i>0.074</i>	<i>0.129</i>	<i>384.16</i>	
<i>3</i>	<i>0.702</i>	<i>0.157</i>	<i>3678.68</i>	
<i>5</i>	<i>0.470</i>	<i>0.116</i>	<i>3269.66</i>	
<i>8</i>	<i>0.125</i>	<i>0.088</i>	<i>845.82</i>	
<i>Genel Ortalama</i>	<i>0.343</i>	<i>0.123</i>	<i>2044.58</i>	

Tablo 4-11 Sınırlı Sayıda Fiyat Değişimi Varsayımı Altında $(R, S, p)_2$ Modeline İlişkin Nümerik Test Sonuçları

<i>Parametreler</i>	$(R, S, p)_2$			
	<i>FDS</i>	<i>HS</i>	<i>DG</i>	<i>DS</i>
<i>0</i>	<i>1.788</i>	<i>0.767</i>	<i>2638.70</i>	
<i>3</i>	<i>13.835</i>	<i>0.535</i>	<i>13375.74</i>	
<i>5</i>	<i>7.248</i>	<i>0.496</i>	<i>6869.52</i>	
<i>8</i>	<i>4.426</i>	<i>0.443</i>	<i>3317.96</i>	
<i>Genel Ortalama</i>	<i>6.824</i>	<i>0.560</i>	<i>6550.48</i>	

Bu başlık altında, önerilen modeller farklı varsayımlar altında birçok örnek problem ele alınarak incelenmiştir. Yapılan nümerik çalışmalar sonucu, çok açıkça görülmektedir ki, önerilen ilk model $(R, S, p)_1$, diğer modele $(R, S, p)_2$ kıyasla incelenen her çalışmada baskın gelmektedir. Bir diğer yandan, söz konusu iki modelin temel aldığı yaklaşımlara ilişkin envanter kontrolü literatüründe yer alan çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki $(R, S, p)_2$ benzeri modellenen envanter modelleri çok daha hızlı sonuç vermektedir. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında envanter kontrolü literatürü ile çelişen bir bulgu elde edilmiştir. Bununla beraber, fiyatın zaman içerisinde karar verici tarafından değiştirilmesi ile birlikte işletme karlılığının artırılabilmesi mümkün olmaktadır.

5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bilgi teknolojisinde meydana gelen gelişmelerle birlikte hız kazanan küreselleşme süreci, işletmeler için çok daha yoğun bir rekabet ortamına zemin hazırlamaktadır. Bu rekabet ortamında, işletmeler faaliyetlerini sürdürebilmek adına, karlılıklarını arttırmayı amaçlamaktadır. Bu sebeple, işletmeler için mümkün olduğunca düşük maliyetle müşteri tatmin düzeyinin yüksek tutulması oldukça önemli olmaktadır.

Faaliyet gösterilen iş alanından bağımsız olarak, tüm işletmeler için, toplam maliyetin büyük bir kısmını envanter maliyetleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla, envanterin etkin bir şekilde yönetimi ile işletme faaliyetlerine ilişkin maliyetlerin ciddi bir şekilde azaltılması mümkün olabilmektedir. Bir diğer deyişle, envanter yönetimi, işletmeler için hayati bir önem teşkil etmektedir. Bu doğrultuda, araştırmacılar, işletmeler için envanter planlarını belirlemede kullanılmak üzere matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Söz konusu matematiksel modeller, müşteri talebinin karar verici tarafından kontrol edilemediği varsayımını temel almakta ve arzın yönetimiyle ilgilenmektedir. Bununla beraber, gerçek hayat uygulamalarında birçok işletme, mamule ilişkin fiyatı zaman içerisinde değiştirerek talep sürecini kontrol etmekte ve böylelikle, mümkün mertebe yüksek gelir elde ederken, müşteri talebinin karşılanamama riskini düşürmeyi hedeflemektedir. Bu durum yeni bir araştırma konusunun ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Böylelikle, araştırmacılar fiyatlandırma ve envanter kararlarını bir arada ele alan matematiksel modellerin geliştirilmesine odaklanmışlardır.

Chen & Simchi-Levi (2004), talebin fiyata bağımlı stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu ve sipariş maliyetinin, sabit sipariş maliyeti ve birim değişken maliyetten oluştuğu varsayımları altında, fiyatlandırma ve envanter kararlarını bir arada ele alan optimal bir politikanın olduğunu göstermişlerdir. Ancak söz konusu politika, envanter yöneticilerine sipariş zamanları ile ilgili net bir bilgi verememektedir. Böylelikle, gerçekleşen talebin beklenen değerinden sapmalar göstermesi halinde tedarik planının güncellenmesi bir gereklilik haline gelmektedir. Bu durum, sistem sinirliliği olarak adlandırılmaktadır ve gerçek hayat uygulamalarında söz konusu politikanın optimal olma özelliğini kaybetmesi sonucunu doğurabilmektedir. Bu doğrultuda, sistem sinirliliği,

uygulamada, envanter yöneticileri tarafından oldukça ciddi bir problem olarak görülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar, farklı varsayımlar altında, kar bakımından optimal politikanın varlığını araştırmaktadırlar. Bu bağlamda, söz konusu politikalar, genel olarak dinamik programlama formülasyonu ile modellenmektedir. Ancak ilgilenilen probleme ilişkin dönem sayısı arttıkça, durum uzayı boyutu oldukça büyümekte olduğundan, problemin çözümünü dinamik programlama ile elde etmek güç olabilmektedir.

Yukarıda belirtilen durumlar, bu tez çalışmasının motivasyonunu ifade etmektedir. Bu çalışmada, tedarik planı bilgisini planlama ufku başında sağlayan (R, S) politikasını temel alan ve literatürde yer alan optimal politikaya alternatif oluşturan bir birleşik envanter ve fiyatlandırma stratejisi önerilmektedir. Bu stratejiye ilişkin iki ayrı model önerisinde bulunmaktadır. Önerilen modeller, yapısı gereği, tedarik planını dönem başında dondurmakta ve böylece, sistem sinirliliğini azaltabilmektedir. Bununla beraber, önerilen modeller kuadratik karışık tamsayı programlama formülasyonu ile ifade edilmektedir. Bu açıdan, literatürde yer alan boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, ayrıca, önerilen iki matematiksel model, gerçek hayat uygulamalarında sıkça karşılaşılan varsayımlar kullanılarak genişletilmiştir. Bununla beraber, fiyat değişim serbestisinin işletme karlılığı üzerine etkisi ve matematiksel modellerin işlemsel etkinliği nümerik testler aracılığıyla incelenmiştir. İlk nümerik çalışmadan elde edilen sonuçlara göz atıldığında görülmektedir ki, fiyatın zaman içerisinde değiştirilmesi ile işletme karlılığı ciddi ölçüde arttırılabilmektedir. Bir diğer nümerik çalışmadan elde edilen sayısal bulgulara göre ise, önerilen ilk modelin diğer modele kıyasla çok daha hızlı sonuç verdiği görülmektedir. Öyle ki, ilk modelin gerçekçi boyutlarda bir planlama ufku için de kabul edilebilir hesaplama süresi ile sonuca gitmesi beklenmektedir. Test sonuçlarından görüldüğü üzere, bu durum ilk modelin oldukça sıkı bir doğrusal gevşetime sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmadan sonra, önerilen politikanın literatürde yer alan optimal politika karşısından kar bakımından performansı incelenebilir. Bunun yanında, tek bir ürün yerine birçok ürünün ele alınması başka bir problem oluşturmaktadır. Ayrıca oluşturulan modelin müşterinin rasyonel olduğu ve satın alma işlemi için en uygun zamanı beklediği varsayımı altında incelenmesi önemli bir araştırma problemi olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abad, P. (2014). Determining optimal price and order size for a price setting newsvendor under cycle service level. *International Journal of Production Economics*, 106-113.
- Agrawal, V., & Seshadri, S. (2000). Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem. *Manufacturing & Service Operations Management*, 410-423.
- Arikan, E., & Jammernegg, W. (2009). The newsvendor problem with a general price dependent demand distribution. *Available at SSRN 1523303*.
- Axsäter, S. (2006). *Inventory control*. New York: Springer Science & Business Media.
- Axsäter, S. (2013). When is it feasible to model low discrete demand by a normal distribution? *OR spectrum*, 153-162.
- Ball, L., & Mankiw, N. (1994). A sticky-price manifesto. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 127-151.
- Ball, L., & Mankiw, N. (1994). A sticky-price manifesto. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 127-151.
- Bell, D., & Starr, D. (1993). Filene's basement. *Harvard Business School Case*.
- Bergen, M., Ritson, M., Dutta, S., Levy, D., & Zbaracki, M. (2003). Shattering the myth of costless price changes. *European Management Journal*, 663-669.
- Bertsimas, D., & Boer, S. (2005). Special issue papers: dynamic pricing and inventory control for multiple products. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 303-319.
- Boer, A. (2015). Dynamic pricing and learning: historical origins, current research, and new directions. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 1-18.
- Bunkley, N. (2008). Joseph Juran, 103, pioneer in quality control, dies. *New York Times*, 50-55.

- Caro, F., & Gallien, J. (2012). Clearance pricing optimization for a fast-fashion retailer. *Operations Research*, 1404-1422.
- Chan, L. M., Shen, Z. M., Simchi-Levi, D., & Swann, J. L. (2004). Coordination of pricing and inventory decisions: A survey and classification. *Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis*, 335-392.
- Chan, L., Simchi-Levi, D., & Swann, J. (2006). Pricing, production, and inventory policies for manufacturing with stochastic demand and discretionary sales. *Manufacturing & Service Operations Management*, 149-168.
- Chandler, S., & Burns, G. (1994). Too Much Pruning Stunts Fruit Of The Loom. *Businessweek Archives*.
- Chao, X., Yang, B., & Xu, Y. (2012). Dynamic inventory and pricing policy in a capacitated stochastic inventory system with fixed ordering cost. *Operations Research Letters*, 99-107.
- Chen, C., Zhou, S., & Chen, Y. (2011). Integration of inventory and pricing decisions with costly price adjustments. *Operations Research*, 1144-1158.
- Chen, I., & Popovich, K. (2003). Understanding customer relationship management (CRM) People, process and technology. *Business process management journal* , 672-688.
- Chen, X., & Simchi-Levi, D. (2004). Coordinating inventory control and pricing strategies with random demand and fixed ordering cost: The finite horizon case. *Operations Research*, 887-896.
- Chen, X., & Simchi-Levi, D. (2004b). Coordinating inventory control and pricing strategies with random demand and fixed ordering cost: The infinite horizon case. *Mathematics of Operations Research*, 698-723.
- Chen, X., Zhang, Y., & Zhou, S. (2010). Preservation of quasi-K-concavity and its applications. *Operations research*, 1012-1016.

- Chen, Y., Ray, S., & Song, Y. (2006). Optimal pricing and inventory control policy in periodic-review systems with fixed ordering cost and lost sales. *Naval Research Logistics*, 117-136.
- Chen, Z., & Yang, Y. (2010). Optimality of (s, S, p) policy in a general inventory-pricing model with uniform demands. *Operations Research Letters*, 256-260.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management. Strategy, planning & operation*. Gabler.
- Chow, P.-S., Wang, Y., Choi, T.-M., & Shen, B. (2014). An experimental study on the effects of minimum profit share on supply chains with markdown contract: Risk and profit analysis. *Omega* .
- Chua, G., & Liu, Y. (2015). On the effect of demand randomness on inventory, pricing and profit. *Operations Research Letters*, 514-518.
- Clark, A. (1972). *An informal survey of multi-echelon inventory theory*. GEORGE WASHINGTON UNIV WASHINGTON DC PROGRAM IN LOGISTICS.
- Cross, R. (2011). *Revenue management*. Crown Business.
- Cross, R., Higbie, J., & Cross, Z. (2011). Milestones in the application of analytical pricing and revenue management. *Journal of Revenue & Pricing Management*, 8-18.
- Dana Jr, J. D., & Petruzzi, N. C. (2001). Note: The newsvendor model with endogenous demand. *Management Science*, 1488-1497.
- De Kok, T., & Inderfurth, K. (1997). Nervousness in inventory management: comparison of basic control rules. *European Journal of Operational Research*, 55-82.
- Demir, H., & Gümüsoğlu, Ş. (2013). *Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi)*. Beta Yayıncılık.
- Deniz, B. (2007). *Essays on perishable inventory management*. ProQuest.
- Elmaghraby, W., & Keskinocak, P. (2003). Dynamic pricing in the presence of inventory considerations: Research overview, current practices, and future directions. *Management Science*, 1287-1309.

- Elmaghraby, W., Gulcu, A., & Kesinocak, P. (2001). Analysis of a price markdown mechanism. *Advanced Issues of E-Commerce and Web-Based Information Systems*, 170-177.
- Emmons, H., & Stephen, M. (1998). The role of returns policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods. *Management Science*, 276-283.
- Federgruen, A., & Heching, A. (1999). Combined pricing and inventory control under uncertainty. *Operations research*, 454-475.
- Federgruen, A., & Heching, A. (2002). Multilocation combined pricing and inventory control. *Manufacturing & Service Operations Management*, 275-295.
- Feng, Q., Luo, S., & Zhang, D. (2013). Dynamic inventory-pricing control under backorder: Demand estimation and policy optimization. *Manufacturing & Service Operations Management*, 149-160.
- Feng, Q., Luo, S., & Zhang, D. (2013). Dynamic inventory-pricing control under backorder: Demand estimation and policy optimization. *Manufacturing & Service Operations Management*, 149-160.
- Gallego, G., & Van Ryzin, G. (1997). A multiproduct dynamic pricing problem and its applications to network yield management. *Operations Research*, 24-41.
- Gavrilović, M. (1975). Optimal approximation of convex curves by functions which are piecewise linear. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 260-282.
- Granot, D., & Yin, S. (2005). On the effectiveness of returns policies in the price-dependent newsvendor model. *Naval Research Logistics*.
- Hadley, G., & Whitin, M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Hall, R., & J. Hitch, C. (1939). Price theory and business behaviour. *Oxford economic papers*, 12-45.
- Harris, F. (1915). Operations and costs. *Factory Management Series*, 48-52.
- Hausman, W. H., & Erkip, N. (1994). Multi-echelon vs. single-echelon inventory control policies for low-demand items. *Management Science*, 597-602.

- Heisig, G. (2001). Comparison of (s, S) and (s, nQ) inventory control rules with respect to planning stability. *International Journal of Production Economics*, 59-82.
- Huh, W., & Janakiraman, G. (2008). (s, S) optimality in joint inventory-pricing control: An alternate approach. *Operations Research*, 783-790.
- Inderfurth, K. (1994). Nervousness in inventory control: analytical results. *Operations-Research-Spektrum*, 113-123.
- Jammerneegg, W., & Kischka, P. (2013). The price-setting newsvendor with service and loss constraints. *Omega*, 326-335.
- Jensen, P. A., & Bard, J. (2003). *Operations research models and methods*. John Wiley & Sons Incorporated.
- Jerenz, A. (2008). *Revenue Management and Survival Analysis in the Automobile Industry*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler.
- Johnson, L., & Montgomery, D. (1974). *Operations research in production planning, scheduling, and inventory control*. New York: Wiley .
- Karlin, S., & Carr, C. (1962). Prices and optimal inventory policy. *Studies in applied probability and management science*, 159-172.
- Kazan, O., Nagi, R., & Rump, C. (2000). New lot-sizing formulations for less nervous production schedules. *Computers & Operations Research*, 1325-1345.
- Kilic, O., & Tarim, S. (2011). An investigation of setup instability in non-stationary stochastic inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 286-292.
- Kimes, S. (1989). Yield management: a tool for capacity-considered service firms. *Journal of operations management*, 348-363.
- Kingsman, B. (2014). *Raw materials purchasing: an operational research approach*. Elsevier.
- Kobu, B. (1998). *Üretim Yönetimi*. İstanbul: Avcıol Basım ve Yayın.

- Kocabiyikoglu, A., & Popescu, I. (2011). An elasticity approach to the newsvendor with price-sensitive demand. *Operations research*, 301-312.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2010). *Operations Management*. Pearson Education Inc.
- Kumar, S., & Suresh, N. (2009). *Operations Management*. New Age International Ltd.
- Kung, M., Monroe, K., & Cox, J. (2002). Pricing on the Internet. *Journal of Product & Brand Management*, 274-288.
- Lee, C. (2003). Multi-echelon inventory optimization. *Evant white paper series*.
- Lee, J. (2014). Dynamic pricing inventory control under fixed cost and lost sales. *Applied Mathematical Modelling*, 712-721.
- Levy, D., Bergen, M., Dutta, S., & Venable, R. (1997). The magnitude of menu costs: direct evidence from large US supermarket chains. *The Quarterly Journal of Economics*, 791-825.
- Li, H., & Huh, W. (2012). Optimal pricing for a short life-cycle product when customer price-sensitivity varies over time. *Naval Research Logistics*, 552-576.
- Li, Q., & Atkins, D. (2005). On the effect of demand randomness on a price/quantity setting firm. *IIE transactions*, 1143-1153.
- Li, Q., & Zheng, S. (2006). Joint inventory replenishment and pricing control for systems with uncertain yield and demand. *Operations Research*, 696-705.
- Lu, Y., & Simchi-Levi, D. (2013). On the unimodality of the profit function of the pricing newsvendor. *Production and Operations Management*, 615-625.
- Mazlounian, A., Manshaei, M., Félegyházi, M., & Hubaux, J.-P. (2008). Optimal pricing strategy for wireless social community networks. *Proceedings of the 3rd international workshop on Economics of networked systems*, (s. 103-108).
- McGill, J. I., & Van Ryzin, G. J. (1999). Revenue management: Research overview and prospects. *Transportation science*, 233-256.

- Mills, E. (1959). Uncertainty and price theory. *The Quarterly Journal of Economics*, 116-130.
- Ming, C., Chen, Z.-L., Pundoor, G., Acharya, S., & Yi, J. (2015). Markdown optimization at multiple stores. *IIE Transactions*, 84-108.
- Moore, T. (1986). U. S. Airline Deregulation: Its Effects on Passengers, Capital, and Labor. *The Journal of Law & Economics*, 1-28.
- Morrison, S., & Winston, C. (1986). *The economic effects of airline deregulation*. Brookings Institution Press.
- Muckstadt, J., & Sapro, A. (2010). *Principles of inventory management: When you are down to four, order more*. Springer Science & Business Media.
- Muller, M. (2003). *Essentials of inventory management*. New York: AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Mutlu, F., Çetinkaya, S., & Bookbinder, J. (2010). An analytical model for computing the optimal time-and-quantity-based policy for consolidated shipments. *IIE Transactions*, 367-377.
- Nahmias, S. (1982). Perishable Inventory Theory: A Review. *Operations Research*, 680-708.
- Nahmias, S. (2011). *Perishable inventory systems*. Springer Science & Business Media.
- Netessine, S. (2006). Dynamic pricing of inventory/capacity with infrequent price changes. *European Journal of Operational Research*, 553-580.
- Pang, Z., Chen, F. Y., & Feng, Y. (2012). On the structure of joint inventory-pricing control with leadtimes. *Operations Research*, 581-587.
- Peterson, R., & Silver, E. (1979). *Decision systems for inventory management and production planning*. New York: Wiley.
- Petruzzi, N., & Dada, M. (1999). Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions. *Operations Research*, 183-194.
- Philips, R. (2005). *Pricing and revenue optimization*. Stanford University Press.

- Polatoglu, H., & Sahin, I. (2000). Optimal procurement policies under price-dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 141-171.
- Porteus, E. (2002). *Foundations of stochastic inventory theory*. Stanford University Press.
- Qi, F. (2010). Integrating dynamic pricing and replenishment decisions under supply capacity uncertainty. *Management Science*, 2154-2172.
- Raza, S. (2014). A distribution free approach to newsvendor problem with pricing. *4OR*, 335-358.
- Reid, R., & Sanders, N. (2013). *Operations Management: An Integrated Approach*. John Wiley & Sons, Inc.
- Robert C., C., Jucker, J., & Kropp, D. (1979). Less nervous MRP systems: a dynamic economic lot-sizing approach. *Management Science*, 754-761.
- Rossi, R., & Hendrix, E. (2014). Piecewise linearisation of the first order loss function for families of arbitrarily distributed random variables. *Proceedings of MAGO 2014, XII Global Optimization Workshop (GOW)*. Malaga, Spain.
- Rossi, R., Kilic, O., & Tarim, S. (2015). Piecewise linear approximations for the static–dynamic uncertainty strategy in stochastic lot-sizing. *Omega* 50, 126-140.
- Rossi, R., Kilic, O., & Tarim, S. (2015). Piecewise linear approximations for the static–dynamic uncertainty strategy in stochastic lot-sizing. *Omega* , 126-140.
- Rossi, R., Tarim, S., Hnich, B., & Prestwich, S. (2014). Piecewise linear lower and upper bounds for the standard normal first order loss function. *Applied Mathematics and Computation*, 489-502.
- Roy, R. (2007). *A modern approach to operations management*. New Age International.
- Sahay, A. (2007). How to reap higher profits with dynamic pricing. *MIT Sloan Management Review*, 52-60.
- Sana, S. (2012). Price sensitive demand with random sales price—a newsboy problem. *International Journal of Systems Science*, 491-498.

- Scarf, H. (1959). The optimality of (s,S) Policies in the Dynamic Inventory Problem. *Mathematical Methods in the Social Sciences*, 196-202.
- Scarf, H., Arrow, K., & Karlin, S. (1958). A min-max solution of an inventory problem. *Studies in the mathematical theory of inventory and production*, 201-209.
- Schroeder, G. (1989). *Operations management: Decision making in the operations function*. New York: McGraw-Hill.
- Sethi, S., & Sorger, G. (1991). A theory of rolling horizon decision making. *Annals of Operations Research*, 387-415.
- Shen, B., Chow, P.-S., & Choi, T.-M. (2014). Supply chain contracts in fashion department stores: coordination and risk analysis. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Silver, E. (1981). Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique. *Operations Research*, INFORMS.
- Silver, E., & Meal, H. (1973). A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. *Production and inventory management*, 64-74.
- Silver, E., Pyke, D., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons.
- Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2014). Integration of inventory and pricing. *The Logic of Logistics*, 177-209.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management*. Pearson Education Limited.
- Slade, M. (1998). Optimal pricing with costly adjustment: evidence from retail-grocery prices. *The Review of Economic Studies*, 87-107.
- Song, Y., Ray, S., & Boyaci, T. (2009). Technical Note-Optimal Dynamic Joint Inventory-Pricing Control for Multiplicative Demand with Fixed Order Costs and Lost Sales. *Operations Research*, 245-250.


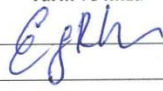

- Starr, M. K., & Miller, D. W. (1962). *Inventory control: theory and practice*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Sunmee, C., & Mattila, A. (2004). Hotel revenue management and its impact on customers' perceptions of fairness. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 303-314.
- Taha, H. (2010). *Operations research: an introduction*. Prentice Hall.
- Talluri, K., & Van Ryzin, G. (2006). *The theory and practice of revenue management*. Springer Science & Business Media.
- Tarim, S., & Kingsman, B. (2006). Modelling and computing (R, n, S, n) policies for inventory systems with non-stationary stochastic demand. *European Journal of Operational Research*, 581-599.
- Thomas, L. (1974). Price and Production Decisions with Random Demand. *Operations Research*, 513-518.
- Thowsen, G. T. (1975). A dynamic, nonstationary inventory problem for a price/quantity setting firm. *Naval Research Logistics Quarterly*, 461-476.
- Topkis, D. M. (2011). *Supermodularity and Complementarity*. Princeton University Press.
- Tunc, H., Kilic, O., Tarim, S., & Eksioglu, B. (2013). A simple approach for assessing the cost of system nervousness. *International Journal of Production Economics*, 619-625.
- Tunc, H., Kilic, O., Tarim, S., & Rossi, R. (2015). An extended MIP formulation and dynamic cut generation approach for the stochastic lot sizing problem. *Working Paper*.
- Wagner, H., & Whitin, T. (1958). Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*, INFORMS.
- Waters, D. (2009). *Supply chain management: an introduction to logistics*. Palgrave Macmillan.
- Waters, D. (2008). *Inventory control and Management*. John Wiley & Sons.

- Wensing, T. (2011). *Periodic Review Inventory Systems*. Springer.
- Whitin, T. (1955). Inventory control and price theory. *Management science*, 61-68.
- Wild, T. (2007). *Best practice in inventory management*. John Wiley & Sons, Inc.
- Winston, W. L., & Goldberg, J. (2004). *Operations research: applications and algorithms*. Boston: Duxbury press.
- Xin, C., & Simchi-Levi, D. (2012). Pricing and inventory management. *The Oxford handbook of pricing management*, 784-822.
- Xu, M., Chen, Y., & Xu, X. (2010). The effect of demand uncertainty in a price-setting newsvendor model. *European Journal of Operational Research*, 946-957.
- Xu, X., Cai, X., & Chen, Y. (2011). Unimodality of price-setting newsvendor's objective function with multiplicative demand and its applications. *International Journal of Production Economics*, 653-661.
- Yang, B., Gao, C., Liu, N., & Xu, L. (2015). Dynamic Inventory and Pricing Policy in a Periodic-Review Inventory System with Finite Ordering Capacity and Price Adjustment Cost. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Yao, L., Chen, Y., & Yan, H. (2006). The newsvendor problem with pricing: Extensions. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 3-16.
- Yin, R., & Rajaram, K. (2007). Joint pricing and inventory control with a Markovian demand model. *European Journal of Operational Research*, 113-126.
- Young, L. (1978). Price, inventory and the structure of uncertain demand. *New Zealand Operations Research*, 157-177.
- Zabel, E. (1970). Monopoly and uncertainty. *The Review of Economic Studies*, 205-219.
- Zbaracki, M., Ritson, M., Levy, D., Dutta, S., & Bergen, M. (2004). Managerial and customer costs of price adjustment: direct evidence from industrial markets. *Review of Economics and Statistics*, 514-533.




- Zhang, P. (2013). *An Introduction to Joint Pricing and Inventory Management under Stochastic Demand*.
- Zhao, X., Goodale, J., & Lee, T. (1995). Lot-sizing rules and freezing the master production schedule in material requirements planning systems under demand uncertainty. *International Journal of Production Research*, 2241-2276.
- Zhu, K., & Thonemann, U. (2009). Coordination of Pricing and Inventory Control Across Products. *Naval Research Logistics*, 175-190.

EKLER

EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA	
Tarih: 01/04/2016	
Tez Başlığı / Konusu: (R,S) ENVANTER POLİTİKASI İÇİN STATİK FİYATLANDIRMA KARARLARI	
<p>Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam ..135.. sayfalık kısmına ilişkin, 01/04/2016 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2.. 'tür.</p>	
Uygulanan filtrelemeler:	
<ol style="list-style-type: none"> 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç, 2- Kaynakça hariç 3- Alıntılar hariç/dâhil 4- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç 	
<p>Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p>	
Gereğini saygılarımla arz ederim.	
Adı Soyadı: Muammer Edib GÜRKAN Öğrenci No: H11166096 Anabilim Dalı: İşletme Programı: İşletme Statüsü: <input type="checkbox"/> Y.Lisans <input type="checkbox"/> Doktora <input checked="" type="checkbox"/> Bütünleşik Dr.	01.04.2016 Tarih ve İmza 
<u>DANIŞMAN ONAYI</u> UYGUNDUR.  Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TUNÇ	

EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu

 <p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KURUL İZİN MUAFİYETİ FORMU</p>
<p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</p>
Tarih: <i>01/04/2016</i>
Tez Başlığı / Konusu: (R,S) Envanter Politikası İçin Statik Fiyatlandırma Kararları
Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmam:
<ol style="list-style-type: none"> 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır, 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.
<p>Hacettepe Üniversitesi Etik Kurulları ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p>
Gereğini saygılarımla arz ederim.
<p><i>01.04.2016</i> Tarih ve İmza <i>E. Gürkan</i></p>
<p>Adı Soyadı: Muammer Edib GÜRKAN</p> <p>Öğrenci No: H1166096</p> <p>Anabilim Dalı: İşletme</p> <p>Programı: İşletme</p> <p>Statüsü: <input type="checkbox"/> Y.Lisans <input type="checkbox"/> Doktora <input checked="" type="checkbox"/> Bütünleşik Dr.</p>
<p><u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u></p> <p><i>Uyarı Dr.</i></p> <p style="text-align: center;">  Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TUNÇ </p>
<p>Detaylı Bilgi: http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr</p> <p>Telefon: 0-312-2976860 Faks: 0-3122992147 E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr</p>
 <p>HACETTEPE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES ETHICS BOARD WAIVER FORM FOR THESIS WORK</p>