



AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



Yusuf Ali DANIŞ

TALEBİN KAYIP SATIŞA DÖNÜŞMESİ DURUMUNDA KAMPANYA ETKİSİNİ
DİKKATE ALAN DİNAMİK STOK MODELİ UYGULAMASI

Ekonometri Ana Bilim Dalı
Doktora Tezi

Antalya, 2024



AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



Yusuf Ali DANIŞ

TALEBİN KAYIP SATIŞA DÖNÜŞMESİ DURUMUNDA KAMPANYA ETKİSİNİ
DİKKATE ALAN DİNAMİK STOK MODELİ UYGULAMASI

Danışman

Prof. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN

Ekonometri Ana Bilim Dalı

Doktora Tezi

Antalya, 2024

T.C.
Akdeniz Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yusuf Ali DANIŞ'ın bu çalışması, jürimiz tarafından Ekonometri Anabilim Dalı Doktora Programı tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Zihni TUNCA (İmza)

Üye (Danışmanı) : Prof. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN (İmza)

Üye : Prof. Dr. Mehmet MERT (İmza)

Üye : Doç. Dr. Ömür TOSUN (İmza)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şenay SADIÇ (İmza)

Tez Başlığı: Talebin Kayıp Satışa Dönüşmesi Durumunda Kampanya Etkisini Dikkate Alan Dinamik Stok Modeli Uygulaması

Onay: Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Tez Savunma Tarihi : 16/02/2024

Mezuniyet Tarihi : 14/03/2024

(imza)
Prof. Dr. Seda BAYRAKTAR
Müdür

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Talebin Kayıp Satışa Dönüşmesi Durumunda Kampanya Etkisini Dikkate Alan Dinamik Stok Modeli Uygulaması” adlı bu çalışmanın, akademik kural ve etik değerlere uygun bir biçimde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım bütün eserlerin kaynakçada gösterildiğini ve çalışma içerisinde bu eserlere atıf yapıldığını belirtir, bunu şerefimle doğrularım.

Yusuf Ali DANIŞ





T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU BEYAN BELGESİ

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
Adı-Soyadı	Yusuf Ali DANIŞ
Öğrenci Numarası	20155245001
Ana Bilim Dalı	Ekonometri
Programı	Doktora
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN
Tez Başlığı	Talebin Kayıp Satışa Dönüşmesi Durumunda Kampanya Etkisini Dikkate Alan Dinamik Stok Modeli Uygulaması
Turnitin Ödev Numarası	2271825378
Rapor Tarihi	11/03/2024
Benzerlik Oranı	Alıntılar hariç: %2 Alıntılar dahil: %2
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE, Yukarıda bilgileri bulunan öğrenciye ait tez çalışmasının a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana Bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 116 sayfalık kısmına ilişkin olarak Turnitin adlı intihal tespit programından Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esaslarında belirlenen filtrelemeler uygulanarak yukarıdaki detayları verilen ve ekte sunulan rapor alınmıştır. Danışman tarafından uygun olan seçenek işaretlenmelidir: Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşmıyor ise: (X) Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporunun doğruluğunu onaylarım. Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşıyor, ancak tez danışmanı intihal yapılmadığı kanısında ise: () Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporunun doğruluğunu onaylar ve Uygulama Esaslarında öngörülen yüzdelik sınırlarının aşılmasına karşın, aşağıda belirtilen gerekçe ile intihal yapılmadığı kanısında olduğumu beyan ederim. Gerekçe: Benzerlik taraması yukarıda verilen ölçütlere uygun olarak tarafımca yapılmıştır. İlgili tezin orijinallik raporunun uygun olduğunu beyan ederim. Danışman Öğretim Üyesi Unvanı, Adı-Soyadı Prof. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN (imza)	

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLOLAR LİSTESİ	v
GRAFİKLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
TEŞEKKÜR.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ ve STOK YÖNETİMİ

1.1. Tedarik Zinciri ve Yönetimi	4
1.1.1. Tedarik Zinciri Yapısı ve Üyeleri	5
1.1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi	7
1.1.3. Tedarik Zincirlerinde Kamçı Etkisi	9
1.1.4. Tedarik Zincirlerinde Süreç Tasarımı ve Performans Ölçümü	12
1.2. Stok ve Stok Yönetimi	13
1.2.1. Stok Kavramı ve Yalın Düşünce ile İlişkisi	14
1.2.1.1. Değer	15
1.2.1.2. Değer Akışı.....	16
1.2.1.3. Kesintisiz Değer Akışı.....	17
1.2.1.4. Çekme Modeli	19
1.2.1.5. Mükemmellik.....	21
1.2.2. Stok Yönetimi	21
1.2.3. Stokların Sınıflandırılması	22
1.2.3.1. Türüne Göre Sınıflandırma.....	23
1.2.3.2. Kullanım Amacına Göre Sınıflandırma.....	23
1.2.4. Stok Maliyetleri.....	24
1.2.4.1. Stok Bulundurma Maliyeti	25
1.2.4.2. Sipariş (veya Hazırlık) Maliyeti	25

1.2.4.3. Satın Alma (veya Üretim) Maliyeti	26
1.2.4.4. Stok Bulundurmama Maliyeti	26

İKİNCİ BÖLÜM

STOK MODELLERİ ve TALEP TAHMİNİ

2.1. Stok Kontrolü.....	29
2.1.1. Stok Kontrolünün Önemi ve Amacı.....	30
2.1.2. Stok Kontrol Sistemleri.....	31
2.1.2.1. Bağımsız Talep için Oluşturulan Sistemler	33
2.1.2.1.1. Sabit Sipariş Miktarı Sistemi	33
2.1.2.1.2. Sabit Sipariş Periyodu Sistemi.....	34
2.1.2.1.3. Minimum-Maksimum (Min-Max) Sistemi	34
2.1.2.2. Bağımlı Talep için Oluşturulan Sistemler	35
2.2. Stok Modelleri	37
2.2.1. Deterministik Stok Modelleri.....	37
2.2.1.1. Deterministik Statik Stok Modelleri.....	38
2.2.1.1.1. Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli	38
2.2.1.1.2. Ekonomik Üretim Miktarı Modeli	42
2.2.1.1.3. Gevşetmeler Sonucunda Elde Edilen Modeller	44
2.2.1.2. Deterministik Dinamik Stok Modelleri	51
2.2.1.2.1. Değişken Talepli Modeller için Geliştirilen Yaklaşımlar	52
2.2.1.2.2. Dinamik Yaklaşımlar	53
2.2.1.2.3. Sezgisel Yaklaşımlar.....	58
2.2.2. Stokastik Stok Modelleri.....	62
2.2.2.1. Stokların Farklı Kriterlere Göre Sınıflandırılması.....	63
2.2.2.2. Yaygın Stok Görüntüleme ve Yenileme Sistemleri	64
2.3. Talep Tahmini.....	65
2.3.1. Regresyon Analizi.....	66
2.3.2. Zaman Serileri Analizi	68
2.3.2.1. Naïve ve Basit Ortalama Yöntemi.....	71
2.3.2.2. Basit Hareketli Ortalamalar Yöntemi	72
2.3.2.3. Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar Yöntemi	72
2.3.2.4. Üstel Düzleştirme Yöntemleri	73
2.3.2.5. ARIMA Modelleri (Box-Jenkins Yaklaşımı)	74

2.3.3. Yapay Sinir Ağları	76
2.3.4. Tahmin Performansının Ölçümünde Kullanılan İstatistikler	78
2.4. Literatür Taraması: Talep Tahmini Altında Kayıp Satış Durumunu ve Kampanya Etkisini Dikkate Alan Stok Modelleri	79

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ZAMANINDA KARŞILANAMAYAN TALEPLERİN DOĞRUDAN KAYIP SATIŞA DÖNÜŞMESİ DURUMU: TALEP TAHMİNİ ALTINDA KAMPANYA ETKİSİNİ

DİKKATE ALAN DİNAMİK STOK MODELİ

3.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	83
3.2. Araştırma Problemi	84
3.3. Araştırmanın Tasarımı	87
3.4. Materyal ve Yöntem	89
3.4.1. Varsayımlar ve Kısıtlar	91
3.4.2. Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması ve Karşılaştırılması	92
3.4.3. Önerilen Üretim ve Stok Modeli	94
3.5. Bulgular	97
 SONUÇ	 115
KAYNAKÇA	118
EK-1: Haftalık Talep Miktarları	129
EK-2: Haftalık Stok Miktarları	131
EK-3: SKU'lara Göre 2019 Yılı Sınıflandırma Analizi	132
EK-4: SKU'lara Göre 2020 Yılı Sınıflandırma Analizi	134
EK-5: Aylık Talep ve Satış Miktarları	136
EK-6: Modeller için Kalıntı Korelogramları (Birinci Öngörü Dönemi)	137
EK-7: Modeller için Kalıntı Korelogramları (İkinci Öngörü Dönemi)	138
EK-8: YSA ile Zaman Serileri Analizi için Geliştirilen Algoritma	139
EK-9: SKU-27 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu	144
EK-10: SKU-33 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu	145
EK-11: SKU-39 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu	146
ÖZGEÇMİŞ	147

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Tedarikçiden Son Kullanıcıya Malzeme Akışı	5
Şekil 1.2 Tedarik Zinciri Yapısı ve Üyeleri	6
Şekil 1.3 Lojistiğin Temel İlkeleri.....	7
Şekil 1.4 Tedarik Zincirinde Girdi-Çıktı Dönüşümü	9
Şekil 1.5 Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisi	11
Şekil 1.6 Yalın Üretimde Yedi Temel İsraf.....	17
Şekil 1.7 İtme ve Çekmeye Dayalı Modeller	20
Şekil 2.1 Stok Kontrol Sistemleri	32
Şekil 2.2 Sabit Sipariş Miktarı (Q) ve Sabit Sipariş Periyodu (P) Sistemleri	35
Şekil 2.3 Stok Seviyesinin Ekonomik Sipariş Miktarı Modeline Göre Hareketi	39
Şekil 2.4 Birim Zamanda Sipariş Miktarına Göre Elde Edilen Maliyetler	39
Şekil 2.5 Stok Seviyesinin Ekonomik Üretim Miktarı Modeline Göre Hareketi.....	42
Şekil 2.6 Miktar İndirimini Dikkate Alan Ekonomik Sipariş Miktarı.....	46
Şekil 2.7 Stok Tükenmesine İzin Verilmesi Halinde EOQ ve EPQ Modelleri	47
Şekil 2.8 Dinamik Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi için Ağ Tasarımı	56
Şekil 2.9 Silver-Meal Yöntemine Göre Minimum Maliyetli Periyodun Seçilmesi	61
Şekil 2.10 Zaman Serisi Dağılımları ve Örnek Zaman Yolu Grafikleri.....	69
Şekil 2.11 Biyolojik Sınır Hücresi.....	76
Şekil 2.12 YSA'da Öğrenmenin Hata(E)-Ağırlık(w) Ekseninde Gösterimi	77
Şekil 3.1 Araştırma Probleminin Odak Noktası	85

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Kamçı Etkisi Nedenleri ve Karşı Önlemler.....	12
Tablo 1.2 Stok Yönetiminde Yaygın Hatalar ve İyileştirme Stratejileri	22
Tablo 2.1 Yaygın Stok Görüntüleme ve Yenileme Sistemleri	64
Tablo 2.2 ARIMA Süreçleri ve Aralarındaki Dönüşümler	75
Tablo 2.3 ACF ve PACF Katsayılarının Teorik Davranışları	75
Tablo 2.4 Tahmin Performansının Ölçümünde Kullanılan Hata İstatistikleri.....	78
Tablo 3.1 Araştırmanın Uygulama Adımları.....	87
Tablo 3.2 Ürün Gruplarına Göre 2019 Yılı Toplam Satış Hacimleri.....	97
Tablo 3.3 Ürün Gruplarına Göre 2020 Yılı Toplam Satış Hacimleri.....	97
Tablo 3.4 Serilerin Tanımlayıcı İstatistikleri.....	101
Tablo 3.5 Serilerin İnterpolasyon Öncesi Birim Kök Analizleri.....	103
Tablo 3.6 Birinci Öngörü Dönemi için Birim Kök Analizleri	103
Tablo 3.7 İkinci Öngörü Dönemi için Birim Kök Analizleri	104
Tablo 3.8 Birinci Öngörü Dönemi için Parametre Tahminleri.....	105
Tablo 3.9 Birinci Öngörü Dönemi için Tahmin Yöntemlerin Karşılaştırılması	106
Tablo 3.10 Birinci Öngörü Dönemine ait Tanımlayıcı İstatistikler	107
Tablo 3.11 İkinci Öngörü Dönemi için Parametre Tahminleri	107
Tablo 3.12 İkinci Öngörü Dönemi için Tahmin Yöntemlerin Karşılaştırılması	108
Tablo 3.13 İkinci Öngörü Dönemine ait Tanımlayıcı İstatistikler	108
Tablo 3.14 Dinamik Stok Modeline Göre Belirlenen Üretim Modeli.....	109
Tablo 3.15 Kampanya Dönemine Denk Gelen Periyotlardaki Talep Miktarları.....	109
Tablo 3.16 Eski ve (Kampanya Etkisiyle Oluşan) Yeni Üretim Modeli Sonuçları	110
Tablo 3.17 Önerilen Modellerin Geçmiş Politikalara Göre Katkısı (%).....	112
Tablo 3.18 Maliyetlerin Oluşturulmasında Kullanılan Notasyonlar ve Denklemler.....	113

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 3.1 2013-2022 Yılları Arasındaki Aylık Ortalama Doğum İstatistikleri	86
Grafik 3.2 A, B ve C Gruplarının Eğrisel Uyumu.....	99
Grafik 3.3 SKU-27 için Aylık Karşılanma Oranları.....	100
Grafik 3.4 SKU-33 için Aylık Karşılanma Oranları.....	100
Grafik 3.5 SKU-39 için Aylık Karşılanma Oranları.....	100
Grafik 3.6 SKU'ların Uç Değerlerden Arındırılması	102
Grafik 3.7 SKU'ların Ayrı Ayrı Toplam Üretim ve Stok Maliyetleri (bin TL)	111
Grafik 3.8 SKU'ların Birlikte Toplam Üretim ve Stok Maliyetleri (bin TL).....	112



KISALTMALAR LİSTESİ

3PL	Üçüncü Parti Lojistik (Third-Party Logistics)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Otokorelasyon (AutoCorrelation)
ACF	Otokorelasyon Fonksiyonu (AutoCorrelation Function)
ADF	Artırılmış Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller)
AMSE	Hata Kareler Ortalamalarının Ortalaması (Average Mean Squarred Error)
APICS	Amerikan Üretim ve Envanter Kontrol Topluluğu (American Production and Inventory Control Society)
ARIMA	Otoregresif Entegre Edilmiş Hareketli Ortalama (AutoRegressive Integrated Moving Average)
BLUE	En İyi Doğrusal Sapmasız Tahminci (Best Linear Unbiased Estimator)
CV	Değişkenlik Katsayısı (Coefficient of Variation)
DEL	Dinamik Ekonomik Parti Büyüklüğü (Dynamic Economic Lot-Sizing)
DF-GLS	Dickey-Fuller Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (Dickey-Fuller Generalized Least Squares)
DW	Durbin-Watson
EDI	Elektronik Veri Değişimi (Electronic Data Interchange)
EDLP	Her Gün Düşük Fiyat (EveryDay Low Price)
EOQ	Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity)
EPQ	Ekonomik Üretim Miktarı (Economic Production Quantity)
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprice Resource Planning)
ETS	Hata-Trend-Mevsimsel (Error-Trend-Seasonal)
ETS-ÜD	ETS Üstel Düzleştirme
IID	Bağımsız ve Özdeş Dağılmış (Independent and Identically Distributed)
JIT	Tam Zamanında (Just-in-Time)
KPI	Temel Performans Göstergesi (Key Performance Indicator)
KPSS	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
LPC	En Düşük Periyot Maliyeti (Least Period Cost)
LTC	En Düşük Toplam Maliyet (Least Total Cost)
LUC	En Düşük Birim Maliyet (Least Unit Cost)
MAE	Hataların Mutlak Ortalaması (Mean Absolute Error)

MAPE	Hataların Mutlak Yüzde Ortalaması (Mean Absolute Percentage Error)
MASE	Hataların Mutlak Ölçekli Ortalaması (Mean Absolute Scaled Error)
MPS	Ana Üretim Programı (Master Production Planning)
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning)
MRP-II	Üretim Kaynak Planlaması (Manufacturing Resources Planning)
OLS	Sıradan En Küçük Kareler (Ordinary Least Squares)
PAC	Kısmi Otokorelasyon (Partial AutoCorrelation)
PACF	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (Partial AutoCorrelation Function)
PG	Ürün Grubu (Product Group)
PP	Phillips-Perron
PPB	Parça Periyot Dengeleme (Part-Period Balancing)
RMSE	Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (Root Mean Squared Error)
SIC	Schwarz Bilgi Kriteri (Schwarz Info Criterion)
SKU	Stok Tutma Birimi (Stok Keeping Unit)
S-M	Silver-Meal
SMAPE	Simetrik MAPE (Symmetric MAPE)
SYM	Stratejik Yönetim Merkezi
TL	Türk Lirası
TPS	Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System)
T-ÜD	Tek Üstel Düzleştirme
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TZ	Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
ÜOYM	Üretim ve Operasyon Yönetim Merkezi
VMI	Tedarikçi Yönetimli Envanter (Vendor Managed Inventory)
W-W	Wagner-Whitin
YSA	Yapay Sinir Ağları

ÖZET

Üretim ve stok yönetimi, yol açtığı sonuçlar itibarıyla diğer yönetim faaliyetleri üzerinde büyük etkilere sahiptir. Konunun geniş kapsamlı olması farklı şekillerde ele alınmasına neden olsa da, temel hedefler arasında israfın yok edilmesi, maliyetlerin minimize edilmesi ve müşteri memnuniyetinin sağlanması yer almaktadır. Bir tedarik zincirindeki problem için ihtiyaç duyulan uzlaşık çözümün araştırılması, ancak akademik bir bakış açısıyla mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, tedarikçi yönetimli envanter sistemiyle faaliyet gösteren bir üreticinin üretim ve stok yönetimindeki sorunları, talep tahmini altında stok modelleme problemi olarak ele alınmış ve toplam maliyetler karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, tedarik zinciri ve stok yönetimi kavramsal açıdan incelenmiş ve uygulamalardaki sorunlara karşılık öneriler dile getirilmiştir. İkinci bölümde, literatürde yer alan stok kontrol modelleri detaylı bir biçimde analiz edilmiş, talep yapısına göre kurgulanan modeller arasındaki farklılıklar gösterilmiştir. Talep tahmin yöntemleri olarak zaman serileri analiz yöntemleri ve yapay sinir ağları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, yıllık satış hacmine göre sınıflandırılan ve belirli varsayımlar altında seçilen en önemli stok kalemlerine ait talep tahminleri üstel düzleştirme, ARIMA modelleri ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Gerçeğe en yakın elde edilen öngörü değerleri stok modeline girdi olarak aktarılmıştır. Talebin tahmin edilmesi ve değişken bir yapıda olması nedeniyle deterministik dinamik stok kontrol modeli oluşturulmuş ve literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına dönüşmesi durumu kampanya etkisini de gözeterek ele alınmıştır. Önerilen model sayesinde elde edilen toplam maliyetin, firma politikaları sonucunda ortaya çıkan toplam maliyetten önemli derecede düşük olduğu yapılan analizlerle tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, stok yönetimi, talep tahmini, dinamik programlama, kayıp satış

ABSTRACT

**DYNAMIC STOCK MODEL APPLICATION CONSIDERING THE EFFECT OF
THE CAMPAIGN IN CASE OF DEMAND TURNING INTO LOST SALES**

Production and inventory management has significant effects on other management operations in terms of the results it causes. Although the broad scope of the subject causes it to be addressed in different ways, main objectives are eliminating waste, minimizing costs and ensuring customer satisfaction. Investigating the compromise solution in a supply chain is possible only with an academic perspective. In this study, the problems in production and inventory management of a manufacturer operating with a vendor-managed inventory system are considered as a inventory modeling problem under demand forecasting and total costs are compared.

In the first chapter of the study, supply chain and inventory management were examined conceptually and suggestions were made for the problems in practice. In the second chapter, the inventory control models in the literature are analyzed elaborately and the differences between the models based on the demand structure are indicated. Time series analysis and artificial neural networks are explained as demand forecasting methods. In the third chapter, demand forecasts for the most important stock items, classified according to annual sales volume and determined under certain assumptions, were made using exponential smoothing methods, ARIMA models and artificial neural networks methods. The forecasted values closest to real ones were transferred as inputs to the inventory model. Since the demand was predicted and had an erratic structure, a deterministic dynamic stock control model was created. Unlike other studies in the literature, the situation in which demands that are not met on time directly turn into lost sales is addressed by taking into account the promotion effect. It was found that the total cost obtained by the proposed model was significantly lower than the total cost resulting from company policies by means of the analysis.

Keywords: Supply chain management, inventory management, demand forecasting, dynamic programming, lost sales

TEŞEKKÜR

Her zaman, “en mutlu insanlar her şeyin en iyisine sahip olanlar değil, sahip olduklarıyla her şeyin en iyisini yapmaya çalışanlardır” mottosuyla hareket ettiğim ve kendimi sürekli motive etmeye çalıştığım bu zorlu ve uzun soluklu doktora yolculuğumda; ilk olarak akademik hayata adım attığım ilk andan itibaren bana çok değerli katkılar sunan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN’e, pozitif yaklaşımlarıyla bana destek olan ve değerli fikirleriyle bu çalışmayı tamamlamamda çok büyük emekleri bulunan Prof. Dr. Mehmet MERT’e ve Doç. Dr. Ömür TOSUN’a, her konuda eşsiz tecrübelerini aktarmaktan asla kaçınmayan, bunun için zaman ayıran ve akademik yaşamım boyunca ilham aldığım değerli hocalarıma, sürekli fikir alış verişinde bulunarak doktora yeterlilik ve tez süreçlerinde birbirimize olan inancımızı korumamızı sağlayan değerli Öğr. Gör. Erokan CANBAZOĞLU’na, tez yolculuğum boyunca bana eşlik eden ve okudukça esin kaynağım olan tüm yazarlara ve araştırmacılara, pek kıymetli aileme ve son olarak ama daha da önemlisi, karşılaştığım her türlü zorlukta, üzüldüğüm ve sevindiğim her anımda yanımda olan ve beni sürekli teşvik eden en büyük destekçim sevgili anneme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖNSÖZ

Her sektörün kendine ait dinamiklerinin olması, üretim ve lojistik süreçlerindeki riskler, tedarikçi-müşteri arasındaki ilişkiler, tedarik zinciri boyunca hareket eden ürünlerin özellikleri ve değişken talep yapıları, işletmeleri proaktif yaklaşıma zorlamaktadır. Stok yönetiminde etkili bir kontrol sistemi oluşturamayan işletmeler, fırsat maliyetlerine yol açarak daha fazla getirisi olan yatırımlardan yoksun kalmakta veya müşteri memnuniyetsizliğiyle sonuçlanan satış kayıplarıyla karşılaşmaktadır.

Üretim ve stok yönetimindeki problemlerin çok boyutlu bir kimlik taşıması nedeniyle, araştırmacılar konuya farklı açılardan yaklaşmaya ve kurdukları modellerle farklı durumlar için çözüm önerileri geliştirmeye çalışmaktadır. Tüm çabaların ortak amacı, müşteri hizmet düzeyini yukarıya çekerken stok maliyetlerini de azaltmaktır. Modellemenin doğru bir biçimde yapılabilmesi, araştırmaya dahil edilen ürünlerin seçim kriterlerine, talep bileşeninin iyi analiz edilmesine ve stok parametrelerinin gerçek değerlere en yakın olacak şekilde belirlenmesine bağlıdır. Talep tahmini altında kurulan üretim ve stok modelinin başarısı ise, elde edilen öngörü değerlerinin gerçek talep değerlerine olan yakınlığı ile doğru orantılıdır ve modellemenin en büyük zorluğu da buradan ileri gelmektedir.

Talebin tahmin edilmesiyle yapılan modelleme çalışmaları, literatürde deterministik dinamik stok modelleri olarak ifade edilmektedir ve bu kapsamda birçok stok kontrol modeli geliştirilmiştir. Ancak, yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda; taleplerin zamanında karşılandığı, zamanında karşılanamayan taleplerin sonraki siparişlerde karşılanmak üzere bekletildiği veya belirli memnuniyet düzeylerinde taleplerin karşılandığı durumlar incelenmiştir. Herhangi bir periyotta iletilen talebin ancak eldeki net stok miktarınca karşılanabildiği, karşılanamayan taleplerin ise doğrudan satış kaybına dönüştüğü durumlar için oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ise, literatürde az sayıda çalışılan kayıp satış durumu incelenmiş ve diğer çalışmalardan farklı olarak normal satış dönemlerinin yanında kampanyalı satış dönemlerini de dikkate alabilen üretim ve stok modellemesine odaklanılmıştır. Talebin anında karşılanmaması halinde doğrudan satış kaybına dönüşmesi durumu, bir gerçek hayat problemi üzerinde incelenmiş ve bir üretici firmanın toplam stok maliyetleriyle önerilen modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla, zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına dönüşebileceği gerçeği üzerinde durularak doğru stratejilerle önemli maliyet sorunlarının ortadan kaldırılabileceğine dikkat çekilmiştir.

GİRİŞ

Üreticiler, tedarik zincirlerindeki alt basamaklara sürekli malzeme akışından sorumlu olan, ancak eksik veya hatalı bilgiler nedeniyle de en büyük zararı gören zincir üyeleri arasında yer almaktadır. Üreticilerin sorumlulukları bununla sınırlı değildir. Eğer tedarikçi yönetimli envanter (Vendor Managed Inventory, VMI) sistemiyle müşterileri adına bütün üretim ve lojistik operasyonları takip etmektelerse, o zaman stok yönetimine daha fazla önem vermeleri gerekmektedir. Aksi durumda, sadece taleplerin yıl içerisinde zirveye ulaştığı kampanyalı satış dönemlerinde değil, normal dönemlerde bile önemli maliyet sorunlarıyla karşılaşmaları kaçınılmaz olacaktır.

Stoklar, bir işletmenin sermayesinde çok büyük bir paya sahiptir ve fazladan stok bulundurulması çok önemli fırsat maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yetersiz stok halinde ise, taleplerin bekletilmesi veya doğrudan satış kaybına dönüşmesi gibi birtakım risk faktörleri oluşmaktadır. Aradaki dengenin korunması, hem işletmelerin hem de tedarik zincirlerinin kendi içindeki verimliliği ve memnuniyeti sürdürebileceği anlamını taşımaktadır.

Tedarikçi-müşteri ilişkisinin bulunduğu zincirdeki her noktada, talebin doğru analiz edilmesi oldukça kritik bir konudur. Talep yapısının sergilediği davranışlara göre gerek tahmin analizlerinde gerekse stok modellerinde önemli farklılıklar yaşanabilmektedir. Ayrıca, işletmelerin hangi ürünlere öncelik vermeleri gerektiğini, ürünlere iletilen talepleri hangi oranlarda karşılamayı planladıklarını ve ürünlerin süreç boyunca taşıdığı özellikleri iyi anlamaları, darboğazların yaşandığı anlarda hızlı ve akılcı çözümler üretmelerine de yardımcı olmaktadır.

Birçok karar destek sisteminin altında yönetici görüşlerinin olumlu yansımaları bulunmaktadır ve onların geçmiş tecrübelerine dayanarak tüm bu süreçlerde aldıkları kararların olumlu etkilerinin olduğu görmezden gelinmemelidir. Ancak, bu durum tek başına yeterli olmamakta ve farklı analiz teknikleriyle de desteklenmesi gerekmektedir. Bu sayede optimal verimliliğe daha fazla yaklaşılabilmektedir. Buradan hareketle, bu tez çalışmasında Türkiye'nin önemli sanayi merkezlerinden olan Bursa ilinde tedarikçi yönetimli envanter anlayışıyla faaliyet gösteren bir üreticinin, stok yönetiminde ve buna bağlı olarak üretim yönetiminde yaşadığı problemler ele alınmış, sahip olduğu özel durumlar incelenmiş, maliyetlerini aşağıya çekebilecek bir model önerilmiş ve geçmiş politikalarla önerilen modelin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, tedarik zinciri ve stok yönetimi konuları kavramsal açılarından dikkatle ele alınmış, tedarik zincirinde büyük hasarlara yol açan kamçı etkisinin

nedenleri ve sonuçları tartışılmıştır. İşletmeler için vazgeçilmez olan ama yokluğunda da büyük sorunlar yaratan stoklar, türlerine ve maliyetlerine göre sınıflandırılarak açıklanmıştır. Stokların en önemli israf kalemleri arasında gösterilmesi nedeniyle, yalın düşünce kavramına ve bu kavramın stoklarla olan ilişkisine değinilmiştir.

İkinci bölümde ilk olarak, literatürde yer alan farklı stok kontrol sistemleri ve stok modelleri açıklanmıştır. Stok modellerinin, talebin sahip olduğu özelliklere göre nasıl ayrıştığı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Daha sonra, bazı tahmin yöntemleri açıklanmıştır. Bu amaçla, regresyon analizi, zaman serisi analiz yöntemleri (hareketli ortalamalar, üstel düzleştirme ve Box-Jenkins metodolojisi) ve yapay sinir ağları yöntemleri incelenmiştir. Elde edilen tahmin sonuçlarının performansını ölçmek üzere belirli hata istatistikleri paylaşılmıştır. Bu bölümün sonunda, literatürde genel olarak deterministik stok kontrol modellerini ve özel olarak da kayıp satış durumunu ele alan çalışmalar incelenmiştir.

Üçüncü ve son bölümde ise, ilk olarak üreticinin ürün yelpazesinde yıllık olarak en fazla satış hacmine sahip olan ürünler sınıflandırma analiziyle belirlenmiştir. Daha sonra, bu ürünlerin belirli tanımlayıcı istatistikleri ve meydana gelen talepler karşısındaki zamanında karşılanma oranları gösterilmiştir. Bu sayede, neden bu ürünlere yönelik analizlerin yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Seçilen ürünlerin uç değer analizleri ve durağanlık testleri yapıldıktan sonra geçmiş talep verileri kullanılarak, öncelikle normal satış dönemleri için öngörüler elde edilmiştir. Normal dönemlerdeki üretim miktarlarını belirlemek için dinamik programlama yaklaşımlarından olan Wagner-Whitin (W-W) algoritması tercih edilmiştir. Bu algoritmanın tercih edilmesinde öngörülen talep değerlerinin yapısı etkili olmuştur. Daha sonra, kampanya dönemleri için de öngörüler yapılmak istenmiş, ancak, algoritmadan elde edilen sonuçların kampanya etkisini dikkate alacak hassasiyete sahip olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, kampanya döneminde oluşması beklenen talepleri mümkün olduğu kadar yüksek oranlarda karşılayabilmek amacıyla bir öneride bulunulmuştur. Buna göre, W-W sonuçları yeniden düzenlenmiştir. Geliştirilen karma model sayesinde, hem normal hem de kampanya dönemi için stok maliyetleri hesaplanmış, üreticinin kendi politikaları sonucunda karşı karşıya kaldığı maliyetlerle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, üreticinin yüksek memnuniyet düzeyinden taviz vermeden toplam maliyetlerini neredeyse yarı yarıya azaltabileceği tespit edilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ ve STOK YÖNETİMİ

Hammaddelerin tedarik edilmesiyle başlayan, bu hammaddeleri yarı işlenmiş (ara ürün, yarı mamul) veya bitmiş ürünlere (nihai ürün, mamul) dönüştüren ve daha sonra stokladığı bu ürünleri belirli lojistik ağlarıyla son kullanıcılara ulaştıran tüm örgüt ve süreçlerin birleşimi bir tedarik zincirini meydana getirmektedir. Fazla sayıda ürün üreten işletmelerin, az sayıda üretim yapan işletmelere göre daha fazla tedarikçiye sahip olması beklenmektedir. Tedarikçilerin de tedarikçisinin olabileceği dikkate alındığında, zincirdeki tedarikçi ve müşteri sayısının fazla olması, beraberinde farklı süreç ve basamaklarda karmaşık sistemler ağını ortaya çıkarmaktadır.

Tedarik zinciri, içerisinde barındırdığı üretim tesisleri, dağıtım merkezleri, perakende mağazaları ve müşteriler kanalıyla kaynaktan tüketime kadar olan ürün ve hizmetlerin tedariki için bir bağlantı oluşturmaktadır. Gerekli finans, bilgi ve malzemenin akışı, tedarik zinciri kanalıyla iki yönlü bir şekilde yapılmaktadır. Üretim, satış, pazarlama, muhasebe ve insan kaynakları gibi işletmenin performansına doğrudan etki eden birimlerde yer alan süreçler ve tedarik zinciri ile ilgili problemler, tedarik zinciri yönetiminin önemini ortaya koymaktadır (Laudon ve Laudon, 2014: 372). Kaynak sağlama ve satın alma süreçleriyle üretim ve dağıtım süreçlerini iyi koordine edemeyen bir işletme, siparişleri karşılamak için ihtiyaç duyduğu ürün miktarına karar vermekte sorunlar yaşayabilmektedir. Bu durum, elde yeterli miktarda ürünün bulunmamasına veya gereğinden fazla stok bulundurulmasına neden olmaktadır.

Tedarik zincirinde öngörülemeyen pek çok olayın yarattığı belirsizlik nedeniyle ürün taleplerinde değişkenliğin ortaya çıkması, tedarikçilerden sevkiyatların geç yapılması, üretim hatlarında arızaların meydana gelmesi veya hatalı ürünlerin üretimi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Üreticiler, müşterilerini memnun etmek adına bu tür belirsizlikler ve öngörülemeyen olaylarla baş edebilmek için ürün stoklama yoluna başvurmaktadırlar. Emniyet stoku olarak da ifade edilen bu stoklar, belirsizlik ortamında tampon görevi üstlenerek tedarik zincirine esneklik kazandırmaktadır. Dolayısıyla, hangi türde olursa olsun, her işletme için yeteri kadar stokun önemli ve gerekli bir rol oynadığı görülmektedir. Stoklar olmadan pek çok faaliyet verimli bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Ancak, stoklar her ne kadar tedarik sürelerini azaltarak müşteri tatmini ve ürüne yönelik değer algıları üzerinde olumlu etkiler meydana getirirse de, depolama konusunda sahip olduğu gereksinimler bakımından bazı risk unsurlarını da içermektedir (Waters, 2003: 10).

Bu bölümde; tedarik zincirinin yapısı ve hangi üyelerden meydana geldiği, zincirde üst basamaklara doğru ilerledikçe ciddi sorunlara yol açan kamçı etkisi, bu etkinin nasıl ortaya çıktığı ve neden olduğu sonuçlar, tedarik zinciri ve yönetimi başlığı altında açıklanacaktır. Ayrıca, hammaddeden nihai ürünlerin elde edilmesine ve buradan son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar birçok noktada stok bulundurulduğundan dolayı, stok ve stok yönetimi kavramları üzerinde durularak stokların nasıl sınıflandırıldığı ve ne tür maliyetlere yol açtığıyla ilgili temel bilgiler verilecektir.

1.1. Tedarik Zinciri ve Yönetimi

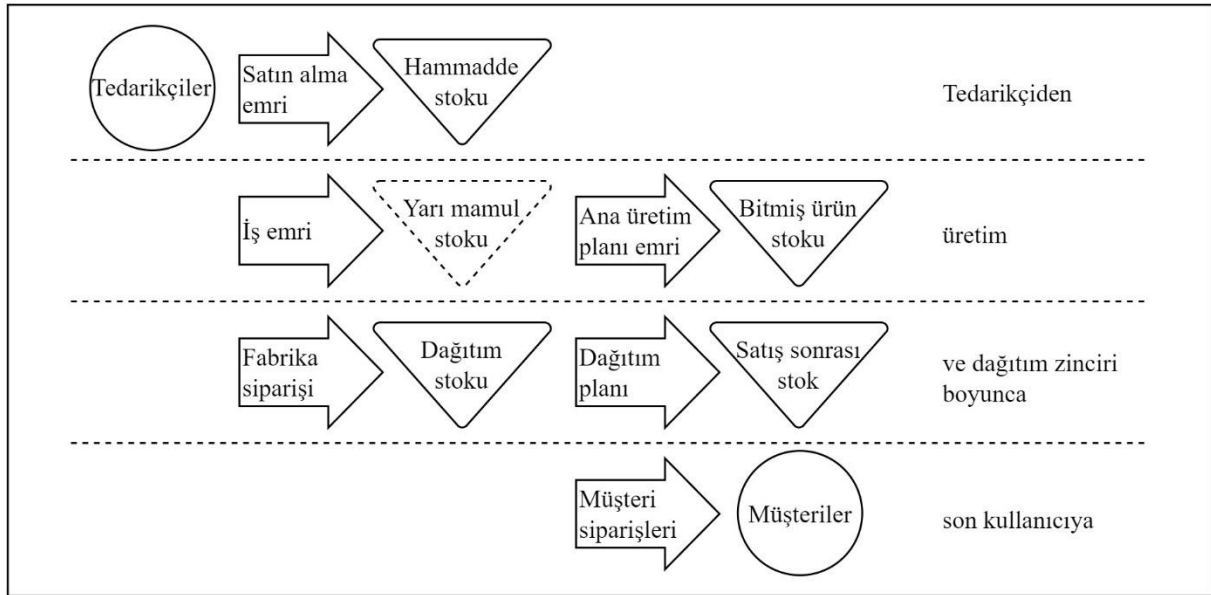
Önceden bilinmeyen veya değişken talep altında istenilen ürünlerin hızlı, zamanında ve emniyetli bir şekilde müşterilere ulaştırılması, günümüzdeki en zor problemlerden bir tanesidir. Firmalar, talep edilen ürünlerin üretimi için gerekli olan hammaddelerin zamanında tedarik edilememesi, bitmiş ürünlerin geç dağıtılması, öngörülemeyen talep miktarları, işgücü ve envanter miktarındaki eksiklikler ve bilgi teknolojilerinin yetersiz kullanımı sonucunda ortaya çıkan planlama hataları gibi pek çok sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Müşteriler, geç ve eksik teslim edilen siparişlerden dolayı firmalara karşı güvenlerini kaybetmektedir. Bu durum, firmaların hem satışlarında hem de müşteri portföylerinde kayıplar yaşamasına neden olmaktadır (Candan ve Yazgan, 2015: 44).

Firmalar, artan müşteri sayıları ve hızla ilerleyen bilgi teknolojileri sayesinde tedarikçilerinden ve tedarik zinciri içerisindeki diğer kuruluşlardan ayrı olarak etkin bir şekilde rekabet edemezler. Firmaların, iş birliğine yönelik ortaklıklar kurarak yürüttüğü ilişkilerle daha çok fayda sağladıklarını fark ettikleri 1980'li yıllardan bu yana, tedarik zinciri kavramına olan ilgi her geçen yıl daha da artmaktadır (Lummus ve Vokurka, 1999: 11).

Kavramın giderek popülerlik kazanmasıyla birlikte literatürde yer alan bazı tanımlamalar şu şekildedir: Tedarik zinciri (TZ), birbirinden farklı tedarik aşamalarından oluşan ve malzemelerin ve/veya hizmetlerin birkaç kademedan geçerek nihai müşteriye ulaştığı bir sistemdir (Seppälä ve Holmström, 1995: 13). Amerikan Üretim ve Stok Kontrol Topluluğu (APICS) (2013: 171)'e göre, ürün ve hizmetlerin belirli süreçlerden geçerek son kullanıcıya ulaştırılmasını sağlayan küresel bir ağıdır. Stadtler vd. (2015) ise, farklı süreçlere ve faaliyetlere yukarı ve aşağı yönlü bağlantılar yoluyla dahil olarak son kullanıcıya ürün ve hizmetler şeklinde değer üreten kuruluşlar ağı olarak ifade etmektedir.

Ivanov vd. (2019) tedarik zincirini; içerisinde tedarikçi, üretici, dağıtıcı ve perakendeci firmaların yer aldığı, iş birliği ve koordinasyon halinde tüm değer zinciri boyunca hammaddeyi alarak işleyen ve daha sonra bunları belirli nihai ürünlere dönüştürerek son

kullanıcılara dağıtımını sağlayan süreç ve organizasyonlar ağı olarak tanımlamaktadır. Tedarikçiden son kullanıcıya olan malzeme akışı Şekil 1.1'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Tedarikçiden Son Kullanıcıya Malzeme Akışı

Kaynak: Jones ve Riley 1985

Genel anlamda bir TZ, malzeme, bilgi ve finansal akışlarla birbirine bağlanan iki veya daha fazla sayıda, yasal olarak birbirlerinden ayrılmış organizasyonlardan oluşmaktadır. Tedarik zincirinde temel hedef grubu olan nihai müşteriler de bu zincirin bir parçası olarak kabul edilmektedir.

1.1.1. Tedarik Zinciri Yapısı ve Üyeleri

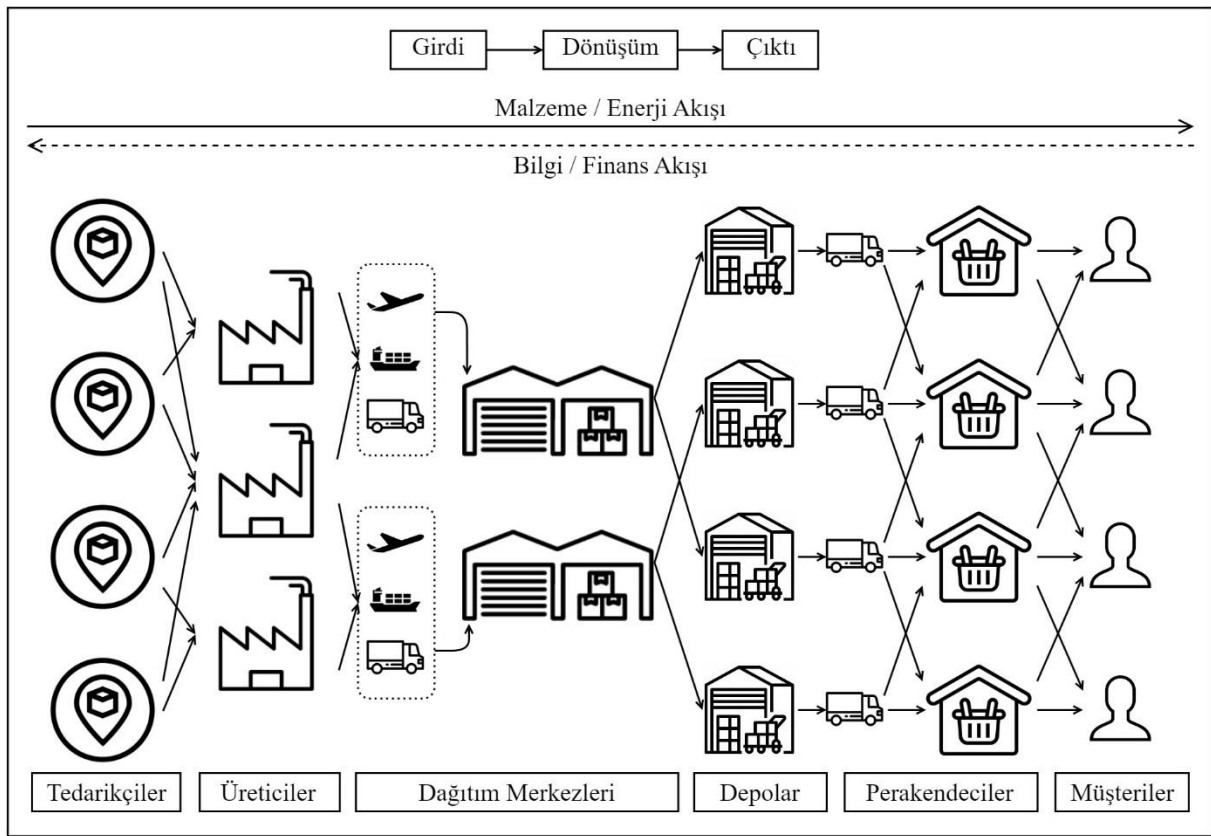
Günümüzde firmaların olmazsa olmaz bölümleri olan pazarlama, üretim, satın alma, lojistik ve finans gibi farklı birimleri arasında yakın bir iş birliği olması zorunludur. Dar anlamda bu yapı örgüt içi tedarik zincirini temsil etmektedir.

TZ, malzemelerin birimlerden oluşan bir ağ içerisinde aktığı bir yapıya sahiptir. TZ sistemi içerisinde yer alan birimler her ne kadar birbirlerinden farklı olsa da son kullanıcıya en iyi hizmeti verebilmek için birbirlerine sürekli malzeme ve bilgi akışı sağlamaktadırlar. Bu yapı içerisinde yer alan üyeler; tedarikçiler, üreticiler, taşıyıcı firmalar, dağıtım merkezleri, toptancılar, perakendeciler ve müşterilerden oluşur. Zincirde yer alan malzemeler yukarıdan aşağıya doğru (tedarikçiden son kullanıcıya doğru) ilerledikçe yarı mamul ürünlere veya belirli bir katma değere ve maliyete sahip nihai ürünlere dönüştürülmektedir (Lee ve Billington, 1992: 65; Lummus ve Vokurka, 1999: 11; Seppälä ve Holmström, 1995: 13).

Hammaddenin tedarik edilmesi ve ürünlerin üretilmesi ile başlayıp dağıtım ile devam eden süreçte yer alan bütün işlemler TZ ağı kapsamında değerlendirilmektedir. Lambert vd. (1998)'e göre bu ağ içerisinde tedarikçilerin tedarikçisi olabildiği gibi müşterilerin de

müşterisi olabilir. Sistemdeki bir müşteri, zincirde kendinden sonra gelen başka bir müşterinin tedarikçisi konumundadır. Benzer şekilde, bir üreticinin zincirde kendinden bir üst basamakta yer alan başka bir tedarikçisi de olabilir.

Tedarik zinciri terimi, hammaddeden son müşteriye kadar üretim ve tedarik sürecinin her bir unsurunu birbirine bağlayan zinciri ifade etmek için kullanılır. Zincirde malzeme ve bilgi birbirlerine ters yönde hareket etmektedir. Malzemenin akması için bilgi ve finans akışının sağlanması gerekmektedir. Bilgi akışının düzgün sağlanmadığı bir ortamda malzeme akışının sağlıklı ilerlemesi mümkün değildir (Scott ve Westbrook, 1991: 23). TZ yapısı ve bu yapı içindeki temel üyeler Şekil 1.2’deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Tedarik Zinciri Yapısı ve Üyeleri

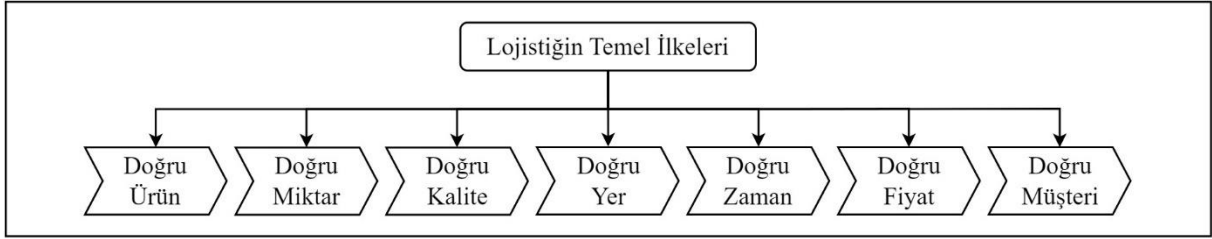
Kaynak: Ivanov vd., 2019: 8

Zincir yapısı içerisindeki faaliyetler genel olarak; (1) gerekli hammadde ve parçaların tedarikçilerden satın alınması, (2) talep tahminine dayalı üretim ve stok yönetimiyle ürünlerin dağıtım merkezlerine ulaştırılması, ve (3) buralarda depolanan ürünlerin perakendeciler veya diğer satış kanalları aracılığıyla müşterilere zamanında teslimatından oluşmaktadır. Tedarik zincirinin rekabetçi ve uzun ömürlü olması için; üretilmesi planlanan ürünün pazarda ihtiyaç duyulan bir ürün olup olmadığına karar verilmesi, ürün tasarımının ve kalite kontrolünün gerçekleştirilmesi, pazarda ürüne yönelik talep oluşmasını sağlayacak etkili pazarlama

faaliyetlerinin yapılması, ve üretim, depolama ve satış sonrası müşteri hizmetleriyle müşterilere destek sunulması gerekmektedir.

1.1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi (TZY), kavram olarak 1980'lerin sonlarında ortaya çıkmış ve 1990'lı yıllarda çok geniş bir kullanım alanına ulaşmış olsa da, önceleri işletmeler tarafından lojistik ve operasyon yönetimi olarak ele alınmıştır (Lambert vd., 1998: 2). Üretim ve lojistik yönetimine ilişkin sorunların uygulamada birbirine sıkı sıkıya bağlı olması, burada yer alan operasyonların TZY çatısı altında toplanmasını sağlamıştır. Lojistik, günümüzde de hammaddenin tedarik edilmesiyle başlayan ve ürünlerin belirli aşamalardan geçirilerek son kullanıcıya teslim edilmesine kadar uzanan tüm süreçte, ekonominin ve TZY'nin en önemli işlevleri arasında yer almaktadır. Öyle ki, literatürde lojistiğin yedi doğrusu (Seven Rights) olarak adlandırılan temel ilkeler bulunmakta ve bu ilkeler Şekil 1.3'teki gibi gösterilmektedir.



Şekil 1.3 Lojistiğin Temel İlkeleri

Kaynak: Gleissner ve Femerling, 2013: 5

TZY; akademisyenler, danışmanlar ve operasyon yöneticileri için son yıllarda artan bir ilgiye sahiptir. Bunun başlıca nedenlerinden bir tanesi küresel rekabetin firmalar üzerinde oluşturduğu baskıdır. Firmalar üzerindeki en büyük baskıyı müşterilerin yarattığını ifade etmek yanlış olmayacaktır. Bu durum, firmaları müşterilerine çeşitli miktarlarda ve cazip fiyatlarla ürünler sunmaya zorlamaktadır. Japon üretim devleri aynı anda fiyat, kalite, teslimat süresi ve güvenilirlik konusunda rekabet etmenin mümkün ve gerçekten gerekli olduğunu, bu sayede pazar paylarının artırılabilceğini ifade etmektedirler (Scott ve Westbrook, 1991: 23).

Tedarik zincirini daha rekabetçi bir hale getirmenin iki yolu bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi organizasyona dahil olan birimlerin yakın iş birliği içerisinde bulunmaları, diğeri ise malzeme, bilgi ve finans akışının iyi bir koordinasyonla sağlanmasıdır (Stadtler vd., 2015: 5). Stratejik ve operasyonel birimlerin tüm çabalarını bir TZ içerisinde yönetmekteki amaç, rekabet gücünü artırmaktır. Bunun nedeni, organizasyon içerisinde yer alan bir birimin müşterinin gözünde tek başına bir sorumluluğunun olmamasıdır.

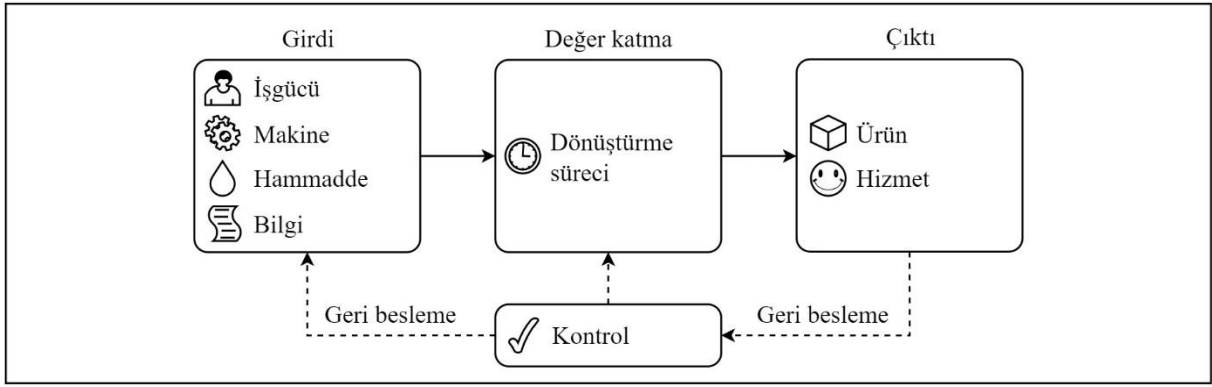
Örneğin, bir perakende mağazasından ürün satın alan müşteri, ürünlerdeki bir kusurun sorumlusu olarak doğrudan markayı hedef alacak, tedarik zinciri boyunca ürüne kazandırılan

tüm katma değerler boşa harcanacak ve müşterinin gözünde marka değeri düşecektir. Ancak bu kusur, zincir içerisindeki herhangi bir üyenin neden olduğu bir hatadan veya ihmalden kaynaklanmış olabilir. Dolayısıyla, nihai ürünün son kullanıcıya ulaşırken uğradığı her süreçte zincirdeki her bir üyeye büyük sorumluluklar düşmektedir. Zincirin herhangi bir noktasında meydana gelen bir hata, kendinden sonra gelen tüm süreçleri etkilediğinden, günümüzde rekabet tekil firmalardan tedarik zincirlerine doğru kaymaktadır.

TZY, müşterilerin gereksinim duyduğu ihtiyaçları minimum sistem maliyetiyle karşılamak için tedarikçilerin, üreticilerin, depoların ve mağazaların verimli bir şekilde birbirlerine entegre edilmesini, böylece ürünlerin doğru miktarlarda üretilerek, doğru yere ve zamanında dağıtılmasını sağlayan bir yönetim şeklidir (Stadtler vd., 2015: 5). TZY, herhangi bir organizasyonun temel bileşenlerinden biridir ve tüm katma değer zinciri boyunca talep ve arzın dengelenmesinden sorumludur. Hammadde tedarikçilerinden müşterilere kadar TZ kaynaklarını en doğru şekilde dönüştürmek ve kullanmak için malzeme, bilgi ve finans akışının kurumlar ve ilgili birimler arasında inşa edilmesini hedeflemektedir. Bu amaçla, TZY müşteriler ve tedarikçiler arasında bir köprü görevi görmektedir (Ivanov vd., 2019: 7). Mentzer vd. (2008)'e göre tedarik zinciri yönetiminin üretim, lojistik, pazarlama ve operasyon yönetimi ile sıkı ilişkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla, kaynağın bulunmasından tedarik edilmesine, dönüştürülmesinden lojistik yönetiminde yer alan faaliyetlerin planlanmasına kadar tüm süreçlerden sorumludur.

Dönüştürme sürecinde hammadde ve işgücü gibi girdilerin alınarak katma değer yaratan faaliyetlerin ihtiyaçlara uygun olacak şekilde yönetilmesi, taleplerin istenen miktarda ve zamanında karşılanmasına katkı sunmaktadır. Pazarda yer alan rekabetin her geçen yıl daha da arttığı düşünüldüğünde, firmaların ömürlerini uzatabilmek adına daha yenilikçi, sürdürülebilir, müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilen, teknolojik gelişmelere ayak uydurabilen ve finansal açıdan dinamik kararlar almaları gerekmektedir. Katma değer yaratan süreçlerin doğru şekilde belirlenip işlenmesi ise, müşteri ihtiyaçlarının tam olarak anlaşılmasına bağlıdır.

Lojistik ve operasyon yönetimi olarak da adlandırılan tedarik zinciri yönetiminde maliyet, zamanlama ve kalite üçgeninde alınan kararlar, israfın azaltılmasına ve katma değer sağlayan adımlara yönelik faaliyetleri etkilemektedir. Bu tür faaliyetlere odaklanılması, girdi kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasına ve süreçlerde en etkili çıktıların elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 1.4'te, tedarik zincirindeki girdilerin değer katma süreçleri ile katma değere sahip çıktılara dönüştürülmesi süreci açıklanmaktadır.



Şekil 1.4 Tedarik Zincirinde Girdi-Çıktı Dönüşümü

Kaynak: Ivanov vd., 2019: 6

Yeterli girdilere sahip olarak dönüştürme sürecindeki israfı yok etmek ve arz-talep arasındaki dengeyi en iyi şekilde koordine etmek ideal bir hedef olsa da, gerçek hayatta bunu uygulamak oldukça güçtür. Firmaların, tarihsel olarak değer katma süreçlerinde yaşanan gelişmelere ayak uyduramaması ve hem kendi içlerinde hem de pazarda sürekli değişikliklerin meydana gelmesi, en iyi çıktıların elde edilmesini neredeyse imkânsız hale getirmektedir.

1.1.3. Tedarik Zincirlerinde Kamçı Etkisi

TZ içerisinde yer alan basamaklar dinamik bir yapıya sahip olduklarında optimale yakın sonuçlar elde edilmektedir. Aksi takdirde, zincirin en alt basamağındaki bir talep değişkenliği, kaçınılmaz olarak üst basamaklara doğru ilerledikçe talep tahminindeki hatalarda, talep dalgalanmalarında ve sipariş miktarlarında giderek artan bozukluklara sebep olmaktadır. Bu durum literatürde kamçı etkisi veya kırbaç etkisi (bullwhip effect) olarak bilinmektedir (Lee vd., 2004: 1875; Metters, 1997: 89).

Kamçı etkisi kavramı, bilimsel anlamda ilk olarak Simon (1952) tarafından yapılan çalışma ile keşfedilmiştir. Bu çalışma, elektrik ve mekanik kontrol sistemlerindeki mantığın üretim kontrol sistemlerine uyarlanarak geri beslemeli bir döngü içerisindeki hata payının azaltılması prensibine dayanmaktadır. 1960'lı yıllardan itibaren pek çok farklı araştırmacı ve idareci tarafından incelenen kamçı etkisinin, tedarik zincirinin üst kademelerine doğru ilerledikçe sipariş ve stok seviyelerinde yüksek dalgalanmalara yol açtığı, ayrıca stok ve stoksuzluk maliyetlerine ve düzensiz sistem davranışlarına neden olduğu belirtilmektedir (Stadtler vd., 2015: 21).

Talepteki değişkenliğin uygulanan teknikler yardımıyla yanlış yorumlanması, sistem maliyetlerini negatif olarak etkilemektedir. Öyle ki, karşılanamayan bir talep sonrasında panik sipariş tepkilerinin gerçekleşmesi, ilerleyen periyotlarda stok bulundurma veya zamanında karşılanamayan ürün maliyetlerinin giderek artmasını beraberinde getirmektedir. Bu düzensiz durumun zincirdeki diğer basamaklara yayılması, aynı zamanda tedarik zincirinde bir

koordinasyon sorunu olduğuna da işaret etmektedir. Tedarikçiler, üreticiler, satıcılar ve müşteriler arasındaki bilgi eksikliği, gerçek anlamda talebin ne olduğu bilgisinin üzerini örtmektedir. TZ süreçlerindeki bu tür koordinasyon sorunlarını deneyimlemek ve çözüm yolları araştırmak üzere ilk kez MIT Sloan İşletme Okulu'ndan J. Forrester tarafından geliştirilen ve literatüre “bira dağıtımı” olarak geçen simülasyon oyunu, üretim-dağıtım sisteminin gizemlerine ve iş yürütmenin zorluklarına ışık tutmaktadır. Bu simülasyon oyunu, bir sınıf ortamında gerekli ekipmanlar hazırlandığında veya bir bilgisayar ortamında simüle edilebilmektedir (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

TZ içerisinde yer alan operasyonların birbirlerinden izole edilmiş faaliyetler yerine, koordinasyonla yönetilmesi gerçeğini vurgulayan bira dağıtım oyunu, Sterman (1989) tarafından yeniden tanıtıldığında, kamçı etkisini incelemek isteyen araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür. Sterman (1989), üretim-dağıtım sistemine sınırlı insan rasyonallitesi perspektifinden bakmaktadır. Diğer bir ifadeyle, talep ve stok bilgisi hakkındaki yanlış yorumlamanın kamçı etkisine neden olabileceğini göstermektedir (Stadtler vd., 2015: 21).

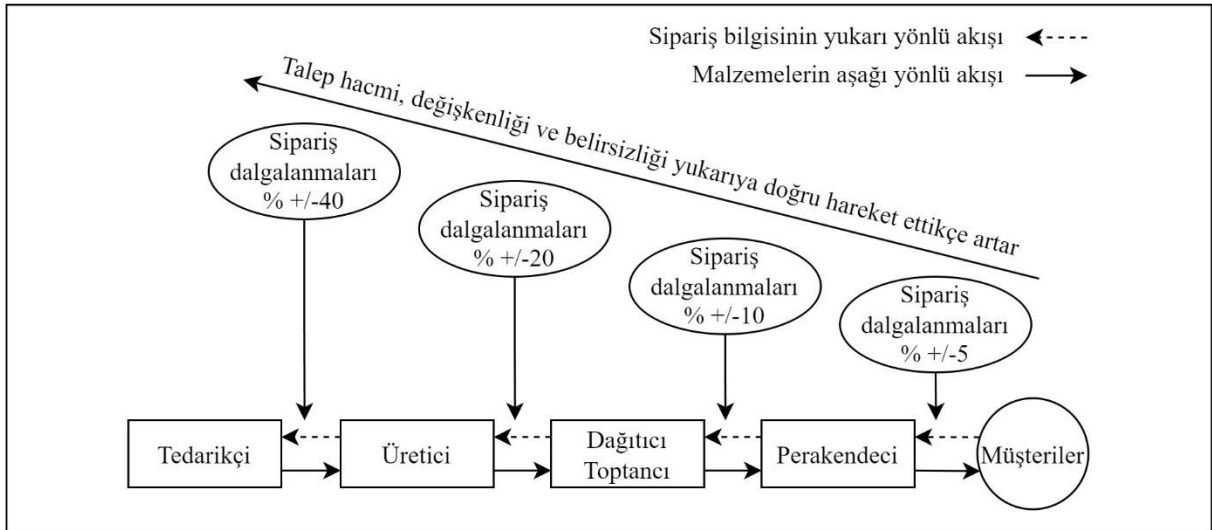
Kamçı etkisi kavramı, akademik çalışmaların dışında sipariş ve talep davranışlarının dikkatle takip edildiği farklı sektörlerde de kabul görmektedir. Örneğin, Procter & Gamble'daki lojistik yöneticileri tarafından keşfedilen ve en çok satan ürünlerden biri olan Pampers tek kullanımlık çocuk bezlerine olan talep incelendiğinde, distribütörler tarafından verilen bebek bezi siparişlerinin, yalnızca müşteri talebindeki dalgalanmalarla açıklanamayan bir değişkenlik derecesine sahip olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde Hewlett-Packard yöneticileri, yazıcılarından birinin büyük bir bayideki satışını incelediklerinde, beklendiği gibi zaman içinde dalgalanmalar olduğunu görmüşler, ancak bayiden gelen siparişleri incelediklerinde ise daha büyük dalgalanmalar gözlemlemişlerdir. Ortaya çıkan bu durum, bir kez daha kamçı etkisine işaret etmektedir (Lee vd., 1997: 93).

TZ üyeleri arasında bilgi akışının sağlıklı bir şekilde yürütülmesi, tedarik zincirinde koordinasyonu sağlayan önemli bir faktör olarak görülmektedir. Bu bilgi akışı, zincirdeki her bir üyenin üretim, stok veya dağıtım planlamasına doğrudan etki etmektedir. Talep değişken olduğunda, zincirde üst basamaklara doğru ilerledikçe talep bilgisi bozulmaktadır. Talep bilgisindeki hata payının giderek artmasının sebebi, Cebeci (2011) tarafından açıkça belirtilmektedir. Herhangi bir basamakta oluşan talep, kendinden bir üst basamağa iletilmekte ve bu basamak da belirli bir hata payı ile kendinden bir üst basamağa siparişini iletmektedir. Benzer şekilde, talep tahminleri sonucunda oluşan hata payları her bir aşamada birikmekte ve hatanın katlanarak aktarılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, tedarikçiye verilen siparişlerin, alıcıya yapılan satışlardan daha büyük bir değişkenliğe sahip olma eğiliminde

olduğu Lee vd. (2004) tarafından ifade edilmektedir. Değişkenliğin bu kadar fazla olduğu bir ortamda ise üst basamakta yer alan üreticiler, pek çok maliyete katlanma pahasına üretim emri kararları almaktadırlar.

Etkisi yeni olmamakla birlikte günümüzde halen geçerliliğini koruyan ve tedarik zincirlerini zor durumda bırakan kamçı etkisi sorunu, özellikle üretime dönük firmalar için büyük verimsizliklere yol açmaktadır. Tek bir kademedeki satış verilerine güvenerek üretim, stok ve kapasite planlamalarının yapılması, ne yazık ki beraberinde aşırı stoku, sağlıklı olmayan üretim tahminlerini, yetersiz veya aşırı kapasite kullanımını, mevcut olmayan veya üretilmek üzere uzun süreler bekletilen ürünler nedeniyle zayıf müşteri ilişkilerini ve fazla mesainin veya hızlandırılmış gönderilerin neden olduğu yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir. Buna ek olarak, bilginin giderek çarpıtılması sonucunda TZ üzerinde emniyet stokuyla birlikte aşırı miktarda stokun birikeceği ve biriken stokun yaklaşık yüz günlük bir arza karşılık gelebileceği ifade edilmektedir (Lee vd., 1997: 93).

Metters (1997), müşteri taleplerinde devamlı olarak küçük değişikliklerin oluşmasının yukarıya doğru hem siparişlerde hem de stoklarda ciddi sapmalara dönüştüğünü ve bu sapmalara aşırı tepki verilmesi durumunda optimal politikadan 5-10 kat daha fazla sistem maliyetlerinin meydana geldiğini açıklamaktadır. Benzer şekilde Disney ve Towill (2003)'e göre, bazı durumlarda TZ içerisindeki talep değişkenliği en alt kademeden en üst kademeye kadar sekiz kat artmaktadır. Kamçı etkisinin meydana geldiği bu durum Şekil 1.5'te gösterilmektedir.



Şekil 1.5 Tedarik Zincirinde Kamçı Etkisi

Kaynak: Disney ve Towill, 2003: 629

Laudon (2014), TZY ve bilgi sistemleri arasındaki ilişkiye işaret etmektedir. TZ üzerinden akan bilgilerin işletmeler tarafından doğru ve zamanında elde edilmesi ve paylaşılması gerekmektedir. Tedarik zincirindeki belirsiz ürün talebi, tedarikçilerden geç

sevkiyat, belirsiz tedarik süreleri, yüksek nakliye maliyetleri, atıl fabrika kapasitesi, aşırı ürün stoku, malzeme sıkıntısı, üretim hattı arızaları veya hatalı ürünler gibi verimsiz faaliyetlerle ve öngörülemeyen belirsizliklerle mücadele etmenin en sağlıklı yolu bilginin paylaşarak iletilmesinden geçmektedir. Ancak, işletmeler yüksek rekabet etkisi nedeniyle sağlıklı veriye ulaşımın yolunu kesmekte ve sonucunda da maliyetlerinin %25'ini boşa harcamaktadırlar. Tablo 1.1'de kamçı etkisinin nedenleri ve alınabilecek karşı önlemler kısaca özetlenmektedir.

Tablo 1.1 Kamçı Etkisi Nedenleri ve Karşı Önlemler

Nedenler ve Açıklamaları	Etken Faktörler	Karşı Önlemler
Talebin güncellenmesi: Alınan talep bilgisinin, her kademedeki yapılan talep güncellemesi ile yukarıya doğru tahmin hataları üretmesi ve giderek talep bilgisinin çarpıtılması	- Nihai müşteri talebinin görünür olmaması - Birden çok tahmin yapılması - Tedarik sürelerinin uzun sürmesi	- Doğrudan satış noktası verilerine ulaşarak doğru talep bilgisini almak - Tedarikçi yönetimli envanter ile daha merkezi satın alma kararları almak - Tedarik sürelerini kısaltmak
Siparişlerin birleştirilmesi: Firmaların, sipariş ve lojistik maliyetleri gibi sabit maliyetlerden kurtulma düşüncesi nedeniyle sık sipariş vermek yerine siparişleri biriktirmesi	- Yüksek sipariş maliyetleri - Yüksek lojistik maliyetleri	- Elektronik Veri Değişimi (EDI) kullanmak - Üçüncü Parti Lojistik (3PL) firmalarından faydalanmak
Fiyat dalgalanmaları: Promosyon ve kampanya gibi pazarlama girişimleri ile fiyatların dalgalanması	- Yüksek veya düşük fiyatlandırma politikası - Teslimat ve satın alma süreçlerinde belirsizlik olması	- Müşterilere Her Gün Düşük Fiyat (EDLP) garantisi vermek - Özel satın alma anlaşmaları ile üretim ve sevkiyata ait miktar ve tarihleri belirlenmek
Kıtlık oyunu: Mevcut arzın talebi karşılamadığını gören müşterilerin daha büyük boyutlarda sipariş vermesi ve kıtlık ortadan kalktığında ise verilen siparişi kaldırması	- Tedarik imkanlarının bilinmemesi - Siparişlerin sınırlandırılmaması ve ücretsiz iptal politikaları	- Kapasite ve stok bilgilerini müşterilerle paylaşmak - Geçmiş satış kayıtlarıyla orantılı olarak siparişleri kabul etmek ve ceza maliyetini getirerek katı iptal politikaları uygulamak

Kaynak: Ivanov vd., 2019: 92; Lee vd., 1997: 95; 2004:1883

1.1.4. Tedarik Zincirlerinde Süreç Tasarımı ve Performans Ölçümü

Bilgisayar destekli ve internet altyapısına sahip sistemlerin gelişmesi, süreç tasarımı ve performans ölçümü için tedarik zinciri yöneticilerine büyük imkanlar sunmaktadır. Columbia Üniversitesi'nden Dr. W. Edwards Deming'e göre, "*yaptığınız işi bir süreç olarak tanımlayamıyorsanız, ne yaptığınızı bilmiyorsunuz demektir*" tespiti, süreç yaklaşımının önemine dikkat çekmektedir (Ivanov vd., 2019: 49). TZ süreçlerinin belirlenmesi ve performanslarının ölçülmesi için en iyi bilinen modellerden bir tanesinin Tedarik Zinciri İşlemleri Referans Modeli olduğu ifade edilmektedir. Endüstriler arası bir standart olarak kabul edilen bu model, tedarik zincirlerini; planlama, tedarik, üretim, dağıtım ve iade süreçleri olmak üzere beş sınıfa ayırmaktadır. Belirlenen temel performans göstergelerine (KPI) göre

süreçlerde kıyaslama analizleri yapılarak performansın artırılmasına katkı sunan faaliyetler tespit edilebilmektedir (Akyuz ve Erkan, 2010: 5148; Stadtler vd., 2015: 33).

Örgütsel performans ölçümünün amaçları arasında; (a) başarının tanımlanması, (b) müşteri ihtiyaçlarının karşılanıp karşılanmadığının belirlenmesi, (c) örgüt içerisinde yer alan çalışanların süreçleri kavramasına ve bilmediklerinin öğretilmesine yardımcı olunması, (d) israfa ve darboğaza neden olan faaliyetlerin tespit edilerek iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi, (e) alınan kararların varsayıma ya da sezgilere değil, gerçeklere dayandığından emin olunması ve (f) planlanan iyileştirmelerin gerçekleşip gerçekleşmediğinin ortaya konması gösterilmektedir (Gunasekaran ve Kobu, 2007: 2820).

TZ boyunca yer alan kuruluşların entegrasyonunu ve koordinasyonunu sağlayarak örgütsel performansın artırılmasını amaçlayan TZY için temel iş süreçleri bulunmaktadır. Talep yönetim süreci, Croxton vd. (2001) ve Cooper vd. (1997) tarafından tedarik zincirinin sekiz temel iş süreci arasında değerlendirilmektedir. Talep yönetimi, müşterilerin ihtiyaçları ile firmaların arz kapasitelerinin dengelenmesini sağlamaktadır. Süreç; talebin tahmin edilmesini, tedarik, üretim ve dağıtım faaliyetlerinin birbirleri ile senkronizasyonunu ve etkili stok yönetimini içermektedir.

Stok yönetimi ve talep tahmini arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Talep tahmini ve planlaması yapılmadan tedarikçilerden satın alma kararlarının alınması veya müşterilerden gelen siparişleri organize etme çabası, üretim maliyetleri açısından önemli bir risk oluşturmakla birlikte stok miktarları ve maliyetleri açısından da kritik bir önem taşımaktadır. Tahmin hatalarının ve stok maliyetlerinin minimizasyonu ile servis düzeyinin maksimizasyonu, stok yönetimi ve talep tahmini açısından performans göstergeleri olarak kabul edilmektedir (Ivanov vd., 2019: 73).

1.2. Stok ve Stok Yönetimi

Üreticiler, tedarik ettikleri hammaddenin ve ürettikleri ürünlerin kalitesine önem verdikleri kadar nakliye ve depolama ile ilgili maliyetlere dikkat etmemektedirler. TZ ağı ne kadar karmaşık olursa, stok bulundurma ve operasyonel verimliliğe o kadar katkı sağladığı düşünülmektedir. Tedarik zincirinin farklı basamaklarında ve hatta bir tesis içerisindeki farklı süreçlerde de dahil olmak üzere pek çok farklı noktada farklı işlevlere sahip stoklar biriktirmektedir. Stokların verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesi, stok maliyetlerinin azalmasına ve TZ boyunca müşterilere sunulan servis düzeylerinin artırılmasına zemin hazırlamaktadır.

1.2.1. Stok Kavramı ve Yalın Düşünce ile İlişkisi

Stok yönetiminde sıklıkla birbirinin yerine kullanılmakta olan iki kavram bulunmaktadır. Bunlar stok ve envanter kavramlarıdır. Stok, ileride meydana gelebilecek olan talebi karşılamak amacıyla satışa hazır halde bulunan işlenmiş ve bitmiş ürünleri ifade etmektedir. Bunun yanında, eğer firma hammadde veya yarı işlenmiş olarak depoladığı fiziki malzemelerin de satışından sorumluysa, bu malzemeler de stok kategorisinde değerlendirilmektedir. Envanter ise sahip olunan hammadde, yarı işlenmiş ürün ve bitmiş ürün gibi stokların yanında bu stokları satışa hazır hale getiren makine ve demirbaşları da içermektedir. Aralarındaki temel farklılık finansal açıdan kaynaklanmaktadır (APICS, 2013: 84-167).

Envanter, firmanın sattığı ürünleri üretmek için seferber ettiği varlıklarına karşılık gelirken, stoklar ise satışı yapıldığında firmanın kazancına dönüşerek cirosunu oluşturmaktadır. Bu durumda envanter maliyetleri ve piyasa değerleri, stokların satış fiyatlarını etkilemektedir. Üretim stokları genellikle bir firmanın ürün çıktısına katkıda bulunan veya bir parçası haline gelen kalemleri ifade etmektedir. Bu tür stoklar genel olarak hammaddeler, nihai ürünler, tamamlayıcı parçalar, araç gereçler ve yarı mamul ürünler olarak sınıflandırılmaktadır (Jacobs ve Chase, 2018: 518). Çalışmanın geri kalanında diğer pek çok çalışmada olduğu gibi stok terimi kullanılacaktır.

Stok, kullanışlı olan fakat aynı zamanda da belli bir ekonomik değere sahip atıl kaynaklar olarak görülmektedir. Ortam şartlarının kesin olarak bilinmediği bir ortamda meydana gelen beklenmedik düzeydeki taleplerle baş edebilmek için fiziksel ürün stokunun bulundurulması gerekmektedir. Çünkü, ihtiyaç anında elde yeterli miktarda malzemenin yer almaması, üretim ve tedarik sürelerinde gecikmelere neden olmaktadır. Müşterilerine tedarik süresi kapsamında güvence veren firmaların karşılaştığı bu durum, zamanla sipariş ve müşteri kayıplarına yol açmaktadır. Ancak, stok bulundurmak ile bulundurmamak arasında bir paradoks mevcuttur. Stok bulundurulması durumunda elde tutma maliyeti şeklinde bir fırsat maliyeti ile karşılaşilmektedir. Bu maliyete rağmen yine de stoka ihtiyaç duyulması bir paradoks oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu paradoks, stok yönetimini ele alınması gereken zorlu bir problem haline getirmektedir (Vrat, 2014: 22).

Stoklar; yüksek sermayenin bağlanması, ambalajlama, depolama ve güvenlik için gereken işçilik maliyetleri ve bozulma, kaybolma veya çalınma riskleri gibi nedenlerden dolayı oldukça pahalıya mal olmaktadır. İşletmelerin neden bu kadar maliyetli bir operasyona ihtiyaç duyduklarının temel nedeni, arz ve talep arasında bir tampona ihtiyaç duyulmasıdır. Stoklar, yalnızca bir müşterinin satıcıdan talep ettiği ürünü anında temin edebilmesi için değil,

aynı zamanda bir üretim hattının farklı süreçleri arasında ihtiyaç duyulan yarı mamul stokuna zaman kaybı olmadan ulaşılabilmesi ve operasyonların kesintisiz olarak sürdürülebilmesi için de tampon görevi görmektedir.

Somut olarak elde stok bulundurmanın diğer nedenleri arasında; yüksek mevsimsel talep veya uygulanan özel promosyonlar gibi gelecekte öngörülebilir olaylara karşı önlem almak; emniyet stoku ile üretimde, tedarik süresinde veya talepte oluşabilecek belirsizliklere karşı hazırlıklı olmak ve ölçek ekonomisinden faydalanmak gösterilmektedir. Çok katmanlı tedarik zincirlerinde ürünler bir noktadan başka bir noktaya sevk edilirken farklı lojistik ve nakliye prosedürleri gereği taşıma esnasında da stok bulundurulmaktadır. Ancak, herhangi bir değer yaratmayan ama kaynak tüketimine neden olan her türlü süreç veya faaliyet israf kategorisinde değerlendirilmektedir (Emiliani ve Stec, 2005: 371; Womack ve Jones, 2020: 23). Stok ise, yalın düşünce teorisine göre müşteri için herhangi bir katma değer yaratmayan ve ortadan kaldırılması gereken yedi israftan biri olarak kabul edilmektedir (Čiarnienė ve Vienažindienė, 2012: 728).

Yalın düşüncenin temelinde iki temel hedef yer almaktadır: Son kullanıcılar (müşteriler) için değer yaratmak, ve olabildiğince israfı azaltmak, mümkünse tamamen ortadan kaldırmak (Emiliani ve Stec, 2005: 371; Lean Enterprise Institute, 2021). Womack ve Jones (2020), yalın düşüncüyü beş ilke ile açıklamaktadır. Bu ilkeler sırasıyla; değer, değer akışı, kesintisiz değer akışı, çekme ve mükemmellik şeklinde ifade edilmektedir. Buna göre; ilk olarak değer tanımlanır, değer akışı belirlenir, israfın yok edilmesiyle kesintisiz akış sağlanır, müşteri tarafından değer çekilir ve son olarak mükemmelliğin takip edilmesiyle zincir tamamlanır (Pusca ve Northwood, 2016: 174).

1.2.1.1. Değer

İsrafı kesin bir şekilde açıklayabilmek için ilk olarak değer kavramının açıklanması gerekmektedir. Öncelikle değerın üretici tarafından değil, yalnızca müşteri tarafından belirlendiğı bilinmelidir. Bu nedenle müşterinin bakış açısıyla bakıldığında şu sorulara cevap verilmelidir: Müşterinin neye ihtiyacı var ve nasıl bir şey istiyor? Ne zaman ihtiyaç duyuyor? Hangi özelliklere ve fiyata sahip olmasını istiyor ve müşteri bunun için ödeme yapmaya hazır mı? Ürün ve/veya hizmet üreten bir organizasyon ise müşterinin beklentilerini optimum seviyede karşılayacak şekilde bu değeri yaratmakla sorumludur.

Pavnaskar vd. (2003), Emiliani vd. (2005) ve Chiarini (2013)'e göre ürüne değer katmak için gerekli olan minimum malzeme, ekipman, parça, alan ve zamandan başka her şey israf olarak tanımlanmaktadır. Bir taraftan kaynaklar kullanılmakta, ancak diğer taraftan

ürüne hiçbir değer katılmamaktadır. Örneğin; üretim süreçlerinde meydana gelen tasarım kaynaklı bir değişiklik, yanlış satın alma sözleşmeleri veya talepteki öngörüsüzlük sonucu stoklarda meydana gelen düzensizlik gibi birçok gereksiz faaliyetle karşılaşmaktadır. Organizasyon için bir maliyete sebep olmakla birlikte müşteri için hiçbir katma değer üretmeyen bu faaliyetler de israf kategorisinde değerlendirilmektedir.

Herhangi bir kuruluştaki toplam zamanın ve eforun yalnızca çok küçük bir kısmı gerçekten nihai müşteri için bir değer yaratmaktadır. Bir yönetici kendini fiziksel bir ürünün yerine koyduğunda hammaddeden müşteriye doğru ilerlerken kendine yol boyunca her adımda neler olacağını tanımlayabiliyorsa o zaman değer dışı faaliyetleri tespit ederek israfla mücadele edebilmektedir (Womack ve Jones, 2020: 25).

1.2.1.2. Değer Akışı

Değer akışı, belirli bir ürünün veya hizmetin elde edilmesi için gerekli olan tüm eylem planlarını içermekte ve son müşteri açısından bütünü optimize etmeyi hedeflemektedir. Her bir adımda değer ne kadar sağlandığını görüntüleyebilmek için değer akışı analizinin yapılması gerekmektedir. Değer akışı analizi arasında yer alan değer akışı haritalandırma yöntemiyle değer akışı boyunca meydana gelen süreç veya faaliyetler, değer ve israf bazında aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Čiarnienė ve Vienažindienė, 2012: 728; Rawabdeh, 2005: 801; Womack ve Jones, 2020: 29):

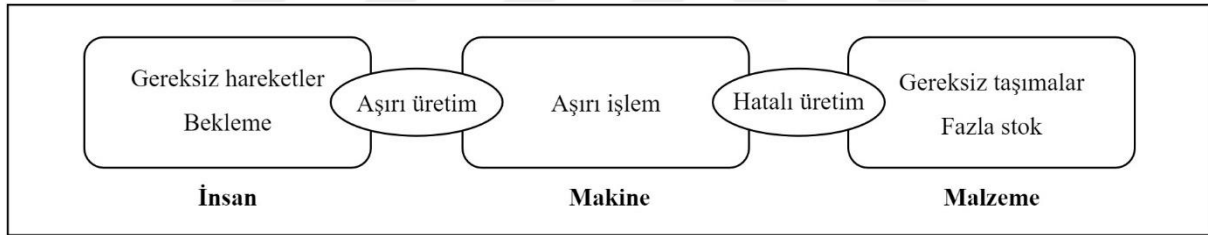
- a. Tartışılmayacak derecede değer katan süreç veya faaliyetler (ürün ve/veya hizmetler müşterinin beklentisini karşılamaktadır; bir şekil verme makinesinde ürünün işlenmesi, bir noktadan bir noktaya aktarmasız uçmak, vb.);
- b. Hiçbir değer yaratmayan, ancak mevcut olanaklar nedeniyle israftan kaçınılamayan süreç veya faaliyetler (müşteriyi ilgilendirmeyen ancak katlanılması gereken birtakım maliyetler olarak değerlendirilmektedir; üretim sürecinde kalıbın değiştirilmesi, aktarmalı olarak uçmak, vb.);
- c. Hiçbir değer yaratmayan, tamamen israf olarak değerlendirilen ve hemen giderilebilecek süreç veya faaliyetler (fark edilmese de değer akışı içerisinde en fazla yer kaplayan adımlardır; fazladan üretim yapmak, malzemenin veya işgücünün gecikmesi, kuyrukta sıra beklemek, vb.).

Değer akışı analizi ile ürün ve/veya hizmetlere değer katan süreçlerin etkinliğinin artırılması, müşteriye güvenilir, tutarlı ve çabuk değer sağlanması bakımından oldukça önemlidir (Kaufman, 2018: 169).

1.2.1.3. Kesintisiz Değer Akışı

Bir israfın ortadan kaldırılması, ürün veya hizmetin herhangi bir kesinti, sapma ya da bekleme olmaksızın müşteriye doğru akmasını sağlamaktadır. Daha önce de ifade edilen ve yalın üretimde sıklıkla kullanılan israf kavramı, sadece hurda yığınları arasına gönderilen bir nesne olarak görülmemelidir. Müşteri değeri tanımlar, üretici ise bu değeri yaratır. Bu değer, müşterinin ne için ödeme yapıp yapmayacağına göre belirlenen, en az zamanda ve kaynakla en iyi parçaları üretmek üzere tanımlanan bir ürün veya müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayan bir hizmettir. Dolayısıyla, müşteriye göre değer ifade etmeyen ve bunun için ödeme yapmak zorunda olmadığı süreçler veya faaliyetler yok edilmelidir (Čiarnienė ve Vienažindienė, 2012: 728; Hines ve Rich, 2013: 47).

Womack ve Jones (2020)'ye göre insanlık tarihinin gördüğü en amansız israf düşmanı olan Toyota yöneticisi Taiichi Ohno, araç üreticileri ve diğer üretim tesisleri arasında dünya çapında bir üne kavuşan Toyoto Üretim Sistemi'nin (TPS) bir parçası olarak yedi israf türü belirlemiştir. Şekil 1.6'da gösterildiği gibi israf türleri genel olarak insan, makine ve malzeme kaynaklı olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Aynı gibi görünseler de her bir türün bir diğeri ile karşılıklı bağımlılığı söz konusudur ve birbirlerinden etkilenmektedirler.



Şekil 1.6 Yalın Üretimde Yedi Temel İsraf

Kaynak: Rawabdeh, 2005: 802

Ohno (1982), Rawabdeh (2005), Hines ve Rich (2013) ve Chiarini (2013)'e göre en tehlikeli israf türü aşırı üretimdir. Üretim sektöründe olduğu gibi, hizmet sektöründe de (hatta bir ofis ortamında bile) aşırı üretimle karşı karşıya kalınmaktadır. Aşırı üretim, ürün veya hizmetlerin düzgün akışını, kalitesini ve verimliliğini engellemektedir. Ayrıca, fazladan depolamaya ve tedarik süresine neden olduğu için stok yönetimini etkilemektedir. Bunların yanında, meydana gelen hatalı ürünlerin geç tespit edilmesine, aşırı stoklama kaynaklı yarı işlenmiş ürünlerin birikerek birtakım işgücü veya faaliyetlerin gereksiz hareketine, ürünlerin bozulmasına veya modasının geçmesine ve çalışanların çalışma hızı üzerinde baskı yaratarak iletişim zayıflıklarına neden olmaktadır.

Bazı yöneticiler, geliştirdikleri tahmin modelleri sonucunda fazladan üretimle depolarında stokladıkları tüm ürünlerin en sonunda satılacağına inanmaktadırlar. Ancak, bekledikleri bu siparişlerin geleceğinden ne kadar emin oldukları bilinmemekle birlikte

depolar; eskime, hırsızlık ve hasar gibi ihtimallerle biriken ürünlerle doldurulmaktadır (Chiarini, 2013: 20). Benzer şekilde Ohno (1982), üreticilerin depolarında yeterli stok bulundurmadıklarından dolayı sıklıkla güvensizlik hissettiklerini, her zaman ellerinin altında yeterli miktarda hammadde, yarı işlenmiş ürün veya nihai ürün olmadığına rekabetçi ortamda hayatta kalamayacaklarına dair bir endişe taşıdıklarını ifade etmektedir.

Müşteri; bir ürünü, hizmeti veya bilgiyi alan bir kişi veya bir organizasyon olabileceği gibi aynı zamanda başka bir departmanda oluşan çıktının alıcısı da olabilir (Blackstone, 2013). Müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamayan, kullanıma uygun olmayan ürün veya hizmetler hatalı olarak ifade edilmektedir. Üretim sisteminde bu tür sonuçlar genel olarak ürünün yeniden işlenmesine ya da fire olarak ayrılmasına yol açmaktadır. Her ne kadar kaynakların boşa harcandığı düşünülse de, Toyota felsefesi hataların bir iyileştirme fırsatı olarak görülmesi gerektiğini ve “küçük ama sürekli değişikliklerle süreci her zaman daha iyi hale dönüştürmenin (Kaizen)” mümkün olduğunu vurgulamaktadır. TPS gibi *Kaizen* türündeki sistemlerde iyileştirmeler sürekli ve yinelenmeli bir şekilde yapılmaktadır. Bu nedenle yapılan iyileştirmelerin çoğu radikal veya çığır açan türlerin aksine küçük ama daima sistemi daha iyiye doğru taşıyan türdendir (Hines ve Rich, 2013: 48).

Fazla stok, organizasyon içerisinde domino etkisi yaratarak aşırı ve hatalı üretimin gerçekleşmesine ve bunun sonucunda da gereksiz hareket ve taşıma faaliyetlerinin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Yüksek miktarda hammaddenin yer alması işçileri daha çok çalışmaya itmektedir. Bu durum, firmanın kârlılığını artırıyor görünse de stok miktarının aşırı artması veya yığılması, ilgi eksikliği ve uygun olmayan depolama alanları nedeniyle hatalı ürün çıkartma olasılığını yukarıya çekmektedir. Stoklar yığıldıkça; arama, seçme, sınıflandırma ve ayıklama gibi elleçleme faaliyetlerinin süresi artmakta, depo alanındaki koridorlar tıkanmakta ve bazı ulaşım sorunlarıyla karşılaşmaktadır (Rawabdeh, 2005: 806).

Fazla stok kaynaklı israfın nerede saklandığını keşfetmenin en iyi yolu, ürünlerin hangi aşamada birikme eğiliminde olduğuna bakmak ve neden bu kadar çok stok biriktiğini sorgulamaktır. Muhtemel sorun kaynakları arasında; bir uygulamadan başka bir uygulamaya olan uzun geçiş süreleri, büyük ekonomik partilerin üretilmesi, üretim veya hizmet süreçlerindeki darboğazlar, bir süreçteki verimsiz ya da fire üreten parçalar, başlangıçtaki süreçlerin sondaki süreçlere göre daha hızlı işlemesi ve “müşterilere anında teslim etme” anlamına gelen “aşırı stoktan kaçınılamayacağının” kabulü gelmektedir (Chiarini, 2013: 22). Gereksiz stok azaltıldığında tespit edilen sorunlar çözülebilmektedir. Zira gereksiz stok, önemli depolama ve fırsat maliyetleri yaratarak değer akışının bozulmasına ve organizasyonun rekabet gücünün düşmesine sebep olmaktadır (Hines ve Rich, 2013: 48).

Ohno (1982), Hines ve Rich (2013), Rawabdeh (2005) ve Chiarini (2013)'ün aksine, Arunagiri ve Gnanavelbabu (2014)'ün otomobil endüstrisinde yapmış oldukları geniş çaplı araştırmaya göre sanayi temsilcileri, yedi israf türü arasında en önemli türün gereksiz taşıma olduğunu ileri sürmektedir. Aşırı stoklar kaçınılmaz olarak taşıma faaliyetlerinin artmasına yol açmaktadır. Malzeme, ekipman ve ürünlerin, farklı stok noktaları arasında herhangi bir katma değer yaratmayacak ölçüde taşınmalarının nedenleri olarak; zayıf tesis yerleşimi, işçilerin yeterince eğitilmemiş olmaları, personelin yetkinlik olarak zayıf olması ve görev dağılımının açık bir biçimde belirtilmemiş olması gösterilmektedir. Herhangi bir süreçte yer alan ve nihai ürün veya hizmetin oluşmasına engel olan gereksiz adımlar, aşırı işlem olarak kabul edilmektedir. Süreç iyileştirme ekibi üretim akışını değiştirebilir, yeni talimatlar ve prosedürler tasarlayabilir. Ancak, daha önce olduğu gibi çalışmaya devam eden personeli aşırı işlem oluşmaması için bilgilendirmeyi ihmal etmemelidir.

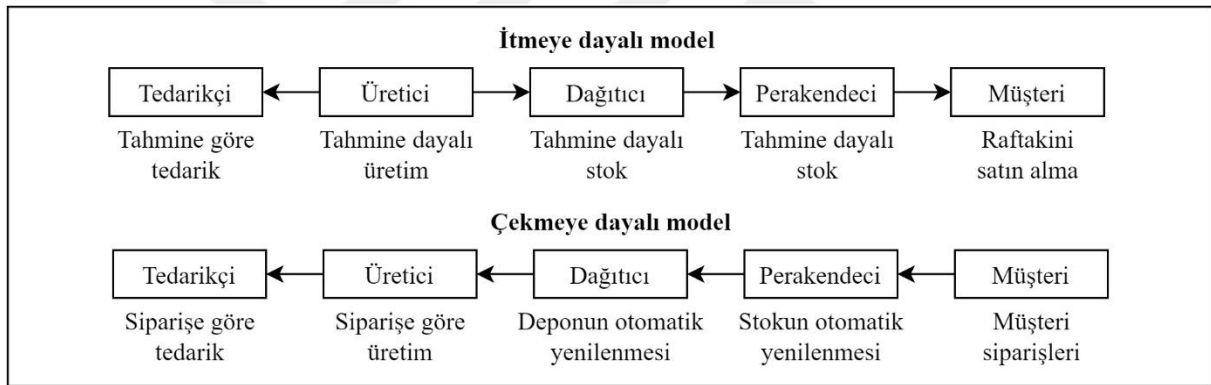
Toyota firması tarafından belirlenen bu israf türleri literatürde; taşıma, stok, hareket, bekleme, aşırı üretim, aşırı işlem ve kusurlar (TIMWOOD: Transportation, Inventory, Motion, Waiting, Over-production, Over-processing, Defects) olarak bilinmektedir (Pusca ve Northwood, 2016: 176). TPS'nin batı dünyasında benimsenmesiyle birlikte, her şirkette bir dereceye kadar görülen ve görmezden gelinen diğer bir israf türü ise kullanılmayan çalışan yetenekleridir (Skills). D'Antonio ve Chiabert (2018) ve Mikkola (2021)'e göre çalışanların bilgisi, becerileri ve yaratıcılığı bazı nedenlerden dolayı yeterince kullanılamamakta ve boşa harcanmaktadır. Firma çalışanlarının güçlü yönlerine ve katkılarına değer verilmemesi, çalışanların eğitilmiş hale gelerek daha iyi ücret talep etme ve hatta işyerini değiştirmeye başlayabileceği düşüncesiyle iyileştirme önerilerinde bulunmanın bir anlamı olmadığını hisseden işgücünün varlığı, bu israfın temel nedenleri arasında yer almaktadır. Sürekli ve kesintisiz bir değer akışının yaratılabilmesi, ancak ve ancak yukarıda ifade edilen sekiz temel israf türünün (TIMWOODS) optimize edilmesi ile mümkün olmaktadır.

1.2.1.4. Çekme Modeli

Yalın üretim sisteminin hedefleri arasında, değer doğru zamanda ve gerektiği miktarda üretilerek aşırı üretimden kaçınılması yer almaktadır. Çekme modeli kısaca, yalnızca müşterinin istediği zamanda, istediği kadar ürünü istediği noktada kendisine sunacak şekilde üretimin planlanması anlamına gelmektedir. Müşterinin yalnızca ürün veya hizmetleri satın alan son kullanıcı olarak değil, aynı zamanda süreçte yer alan herhangi bir istasyon da olabileceği düşüncesiyle, çekme modellerinde hammadde, yarı işlenmiş veya bitmiş ürünler

bir önceki istasyondan bir sonraki istasyona sadece ilgili istasyonun talebi olduğunda çekilmektedir (Altun ve Göleç, 2011: 201).

Çekmeye dayalı model aynı zamanda talebe yönelik veya siparişe dayalı model olarak da bilinmektedir. İnternet tabanlı araçlar kullanılarak bilgi akışının TZ boyunca akması sağlandığında çekme modeli rahat bir şekilde takip edilebilmektedir. Müşteri tarafından verilen siparişler sırasıyla perakendeci, dağıtıcı, üretici ve tedarikçileri tetiklemektedir. Üreticiler kendi tedarik, üretim ve dağıtım planlarını yalnızca gerçek talep bilgisini kullanarak yaptıklarından dolayı, çekmeye dayalı modelin kamçı etkisi sorununa da çözüm sunduğu görülmektedir. İtmeye dayalı modeller ise stoka dayalı modeller olarak da bilinmektedir. Bu modeller, ana üretim programlarının kullanılmasını ve bu şekilde öngörülerin veya ileri tahminlerin yapılmasını gerektirmektedir. İtme modeli sonucunda ürünler müşterilere itilmektedir. İki model arasındaki temel farklılık “*ne yaparsan onu sat yerine ne satarsan onu yap*” şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 1.7’de itmeye ve çekmeye dayalı modeller arasındaki farklar gösterilmektedir.



Şekil 1.7 İtme ve Çekmeye Dayalı Modeller

Kaynak: Laudon ve Laudon, 2014: 380

Müşterinin değeri çekmesi sağlanırken diğer yandan gelen talebe karşılık verebilmek için talep analizinin doğru bir biçimde yapılması gerekmektedir. Talepteki değişkenliğin düşük ve tedarik sürelerinin kısa olduğu durumlarda çekme modeli tercih edilebilir. Bu sayede daha az sayıda stok bulundurularak üretim sistemleri için önemli fırsatlar sunulabilir. Buna rağmen, çekme stratejisinin her üretim ortamı için geçerli olamayacağı ve firmaların itmeye dayalı modeli de benimseyebileceği ifade edilmektedir. Ancak, bu modelde firmaların müşteriyi çok iyi gözlemlemeleri ve piyasayı iyi okumaları büyük önem taşımaktadır (Chiarini, 2013: 728; Olhager ve Östlund, 1990: 135).

1.2.1.5. Mükemmellik

Belirli bir faaliyeti yalın hale getirmek için ne kadar iyileştirme yapılırsa yapılsın, her defasında emek, zaman, yer ve hata azaltmak suretiyle israfı önleyecek yeni yollar bulunmaktadır. Dolayısıyla israfın tümüyle yok edilmesi olanaksızdır. Ancak, iyileştirmeyi etkili bir biçimde gerçekleştirmek isteyen bir firma, mükemmelliğin resmini canlandırmak için öncelikle değeri tanımlaması, değer akışını belirlemesi, kesintisiz akış ve çekmeden oluşan dört ilkeyi uygulaması gerekmektedir.

Mükemmelliğe ulaşmak ve bunu sürdürmek için her defasında mevcut durum ile mükemmellik arasında doğru stratejileri ortaya koymalı ve hangi israf türlerini öncelikle ele alması gerektiğine karar vermesi gerekmektedir. Öyle ki, mevcut durum tespit edilmeden iyileştirme noktalarını görmek mümkün olmayacaktır. Herhangi bir çabada getirilerin giderek azalması beklenmektedir, ancak *Kaizen* faaliyetleri tespit edilip uygulandığında, çalışan başına elde edilen üretimin giderek arttığı gözlemlenecektir (Womack ve Jones, 2020: 117).

1.2.2. Stok Yönetimi

Stokta yer alan ürünler; fiziksel özellikleri, üretim hattı ve tesis yapısının durumu ve talep yoğunluğuna göre farklı şekillerde stoklanmaktadır. Düzensiz aralıklarla ve miktarlarda stoktan ürün çekilmesi ve bazı müşterilerin taleplerinin karşılanması konusunda sabırsız davranmaları, stoklama sırasında birtakım zorluklara sebep olmaktadır. Bunun yanında, hammaddenin bulunurluğu ve küresel ölçekte meydana gelen gelişmelerin fiyatlar üzerinde oluşturduğu baskılar, stok yönetiminde etkili kararlar alınmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, organizasyonun içinde ve dışında yer alan bu çok sayıda sorunla başa çıkmak için üç önemli sorunun cevabı araştırılmaktadır (Silver, 1981: 629; Silver vd., 1998: 28):

- i. Stoklar hangi sıklıkta gözden geçirilmelidir?
- ii. Siparişler ne zaman verilmelidir (veya üretime ne zaman başlanmalıdır)?
- iii. Ne kadar miktarda sipariş verilmelidir (veya ne kadar üretilmelidir)?

Stok yönetimi problemini ortaya çıkaran soruların çözümü için farklı stok modelleri geliştirilmiştir. Bilimsel bir yaklaşımla karar vermek için sipariş büyüklüğü, yeniden sipariş noktası, talep durumu ve tedarik süresi gibi değişkenlerle birlikte stokla ilgili maliyet parametrelerinin ilişkili olduğu amaç fonksiyonu kurularak stok modelleri oluşturulmaktadır (Vrat, 2014: 25).

Stok yönetiminde stokların durumuna ait alınan kararların; satın alma, üretim, pazarlama ve finans gibi birimlerle doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle; stok yönetimi, farklı birimlerin çelişen hedeflerini dengelemeye çalışmaktadır. Örneğin; muhasebe

farklı amaçlar için nakit bulundurulmasını istediğinden stokların azaltılmasını, satın alma birimi taleplerin kolaylıkla karşılanması için bitmiş ürün stokunun fazla olmasını, ve üretim müdürü ise üretimin aksamaması için yüksek miktarda hammadde bulundurulmasını isteyebilir. Gerçekten de birbiriyle çelişen bu hedefler, stok yönetimini son derece karmaşık bir görev haline getirmektedir (Axsäter, 2015: 1).

Yeterli bilgi akışının ve koordinasyonun sağlanmadığı bir tedarik zincirinde stok yönetiminin kontrolden çıkması, beraberinde büyük maliyetlere yol açmaktadır. Stok yönetiminde sıklıkla uygulanmakta olan hatalar kısaca Tablo 1.2'deki gibi açıklanmaktadır.

Tablo 1.2 Stok Yönetiminde Yaygın Hatalar ve İyileştirme Stratejileri

<i>Yaygın Hatalar</i>
• Performans ölçütlerinin bulunmaması veya mevcut ölçütlerin müşteri tatminini ölçme odaklı olmaması • Müşteri hizmet düzeyini ölçen kritik ölçütlerin yetersiz tanımlanması ve önemli bilgilerin kaçırılması • Sipariş teslim tarihlerinde meydana gelen güncellemelerin müşterilerle paylaşılmaması veya geç paylaşılması • Yetersiz bilgi sistemleri nedeniyle doğru veri akışının sürdürülememesi • Tedarik zincirindeki belirsizliklerin ihmal edilmesi • Basit stok miktarı belirleme ve bulundurma politikalarının uygulanması • TZ dışındaki müşterilerin daha kârlı olması ve bu nedenle dahili müşterilerin ayrımcılığa uğraması • TZ üyeleri arasındaki koordinasyon eksikliği nedeniyle gereksiz zaman ve maliyet kayıplarının yaşanması • Taşıma türlerinin değiştirilmesi sonucunda stok maliyetlerinin sevkiyat maliyetlerini aşması • Fayda ve maliyet analizinin yanlış yapılması ve fırsat maliyetlerinin oluşması • Bir firma içerisinde, merkezi yapıdan uzak ve ortak kararlar alınmasını engelleyici bariyerlerin bulunması • TZ yapısı ve müşteri beklentileri doğru analiz edilmeden yeni ürünün tasarlanması ve piyasaya sürülmesi • Operasyonel verimliliği etkileyen faktörleri dikkate almadan TZ ağ tasarımında değişikliğe gidilmesi • Üreticilerin kendilerinden sonra gelen satıcıları zincirin son halkası olarak görmesi
<i>İyileştirme Stratejileri</i>
• Yalnızca işlevselliği ve performansı değil, uygulama maliyetlerini de kapsayan TZY planlamak • TZ boyunca veri tabanı sistemini entegre ederek zamanında doğru bilgiye ulaşma izin vermek • Farklı merkezlerde alınan üretim planlama ve stok kontrol kararlarını sistem yaklaşımı ile birleştirmek • İşbirliğini kısıtlayan teşvik sistemleri yerine bütün sistemin etkinliğini artıran örgütsel teşvikler geliştirmek • Bütün zincir elemanlarının sorumlu olduğu ortak ölçütlere dayalı toplam performansları ölçmek • Doğru hedeflerin ve işletme verimliliğinin yakalanması için paydaşların ihtiyaçlarını anlamak

Kaynak: Lee ve Billington, 1992

1.2.3. Stokların Sınıflandırılması

Stok yönetiminde dikkat edilmesi gereken noktalardan bir tanesi stokların amacına uygun bir biçimde sınıflandırılmasıdır. Bir işletmede, farklı aşamalardan geçerek değer akışı süresinin belirlenmesinde önemli bir yeri olan stokların tamamını bir arada değerlendirmek, üretim planlamasından maliyet muhasebesine kadar tüm süreçlerde uyumsuzluklara neden olmaktadır. Dolayısıyla stoklar, türüne (lokasyonuna) ve kullanım amacına (işlevselliğine) göre iki ana başlık altında değerlendirilmektedir (Silver vd., 1998: 30; Vrat, 2014: 22).

1.2.3.1. Türüne Göre Sınıflandırma

Değer akışı boyunca yer alan süreçlerde stok bulundurulmaktadır. Bu durum, bir üretim planlamasının farklı noktalarında stokların yer alması anlamına gelmektedir. Bu aşamada stoklar, türüne göre farklı gruplara ayrılmaktadır. Ayrıca, stokların bu şekilde gruplandırılması, kurumsal kaynak planlaması yazılımlarında ve maliyet muhasebesi analizlerinde de kolaylık sağlamaktadır. Türüne göre stoklar beş grupta incelenmektedir (APICS, 2013; Ivanov vd., 2019: 363):

- a. Hammadde stoku: Satın alınarak veya çıkarılarak üretim sisteminin girdisini oluşturan, üretim süreci aracılığı ile değer kazandırılarak farklı bileşenlere ve ürünlere dönüştürülen maddelerdir.
- b. Yarı mamul (yarı işlenmiş ürün) stoku: Hammaddenin ilk işlenme sürecinden başlayarak nihai kontroller sonucunda müşteriye sevk edilebilir hale gelene kadar üretim birimleri arasındaki tüm aşamalarda tutulan ürünlerdir.
- c. Mamul (bitmiş ürün) stoku: Üretim ve kalite kontrol süreçlerinden geçerek üzerinde yapılması gereken bütün işlemlerin yapıldığı ve hatta ambalajlanarak müşteriye teslim etmeye hazır bir biçimde, kullanışlı ama atıl olarak depolarda bekletilen ürünlerdir.
- d. Hazır parça stoku: Genellikle dışarıdan tedarik edilen, yarı işlenmiş veya bitmiş ürüne montaj sürecinde dahil edilerek bir bölümünü oluşturan parçalardır.
- e. Yardımcı malzeme stoku: Ürünün doğrudan bir parçasını oluşturmayan, ancak üretim ve hizmet sistemleri için gerekli bakım, onarım ve sarf malzemeleri olarak adlandırılan tüm muhtelif maddelerdir.

1.2.3.2. Kullanım Amacına Göre Sınıflandırma

Tam zamanında üretim (Just-in-Time) felsefesine hâkim endüstriler neredeyse hiç stok bulundurmazken, diğer tüm endüstriler belirli bir maliyete karşılık stok tutmaya ihtiyaç duymaktadır. Stoklar, sistem içerisindeki kullanım amaçlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Axsäter, 2015: 1; Silver vd., 1998: 30):

- a. Çevrim stoku: Herhangi bir ürün stokunun kavramsal iki bileşeninden biri olan çevrim stoku, en aktif bileşendir ve bu özelliği ile çevrim süresi kısa, yenilenme sıklığı ise fazladır. Müşteri siparişleri alındığında çevrim stoku kademeli olarak azalmakta ve döngüsel olarak yenilenmektedir.
- b. Emniyet (tampon) stoku: Ürün stokunun diğer kavramsal bileşeni ise emniyet stokudur. Talep ve arzdaki belirsizlikler, dalgalanmalar ve tedarik sürelerinin

değişkenlik göstermesi, müşteriye (veya bir süreçten sonrakine) teslimatın gecikmesine neden olmaktadır. Stoksuzluk sonucu meydana gelebilecek maliyetlere önlem almak amacıyla emniyet stoku tutulmaktadır. Arzdaki belirsizlik ne kadar fazla olursa, emniyet stoku ve devamında katlanılan maliyetler de o kadar fazla olmaktadır.

- c. Beklenti stoku: Talebin, döngüsel veya mevsimsel olduğu durumlarda en yoğun dönem talebini karşılamak için beklenti stoku hazırlanmaktadır. Gelecek dönemlerde beklenen talebe göre satışı planlanan ve bu talep beklentisiyle üretim veya teslimat için hazır bulundurulan stoklardır.
- d. Ulaştırma stoku: Üretim aşamasını tamamlamış ancak henüz müşteriye teslim edilmemiş olan nakliye aşamasındaki stoklardır. Üretim süreci kapsamında değerlendirildiğinde, süreçler arasında hareket halinde olan, ancak atıl bir biçimde nihai ürüne dönüştürülmeyi bekleyen yarı işlenmiş ürünler de bu sınıfta değerlendirilmektedir.
- e. Ayırma stoku: Üretim sürecinde yer alan farklı stok noktaları arasındaki bağımlılığı ortadan kaldırmak amacıyla tutulan stoklardır.
- f. Sıkışma (birikme) stoku: Birden fazla ürünün, sınırlı kapasiteye ve uzun hazırlık süresine sahip üretim ekipmanını ortak kullanmaları gerekebilir. Bunun sonucunda stoklar yığılır ve ekipman tekrar kullanıma hazır hale gelene kadar bekledikleri için birikmeye neden olmaktadır.

Bunların dışında farklı amaçlar için oluşturulan stoklar da bulunmaktadır. Örneğin bu stoklar arasında; spekülasyon, promosyon ve konsinye stoku yer almaktadır (Algburi, 2019: 7). Ayrıca, ürünün raf ömrünün dolması, bozulması, modasının geçmesi, enflasyonist baskılar ve piyasadaki malzeme kıtlığı endişesiyle gereğinden fazla hammadde temini edilmesi veya gereksiz üretim nedeniyle işletmenin elinde ürün stokları kalabilmektedir. Bu ürünler ise ölü stoku olarak kabul edilmektedir (Vrat, 2014: 23).

1.2.4. Stok Maliyetleri

Birçok firma için en pahalı varlıklardan biri olarak görülen stoklar, toplam yatırılan sermayenin neredeyse yarısını oluşturmaktadır (Ivanov vd., 2019: 363). Stok bulundurma ve elde etmenin bir maliyeti olduğu gibi stok bulundurmamanın da işletmeye maliyet ve itibar açısından büyük zararları olmaktadır. Stok maliyetleri sabit veya değişken yapıda olup stok miktarına bağlı olarak aynı veya ters yönde hareket edebilmektedir. Dolayısıyla stok

yönetimin amacı, toplam stok maliyetini minimize edecek maliyetler arası denge noktasını bulabilmektir.

Tedarik zincirinde her ne kadar farklı faaliyet alanları içinde yer alsalar da işletmelerin karşı karşıya kaldığı dört temel maliyet grubu bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; stok bulundurma (elde tutma) maliyeti, sipariş (veya hazırlık) maliyeti, satın alma (veya üretim) maliyeti ve stok bulundurmama (stoksuzluk) maliyetidir. Stok maliyetlerinin farklı şekillerde anılmasının sebebi, satın aldığı ürünü herhangi bir işleme tabi tutmadan satışını gerçekleştiren toptancı, perakendeci veya distribütör firmalar ile üretim yapan firmaların maliyetlere farklı açılardan maruz kalmalarıdır (Axsäter, 2015: 38; Ivanov vd., 2019: 363; Sulak, 2008: 9).

1.2.4.1. Stok Bulundurma Maliyeti

Stok bulundurma (elde tutma) maliyeti, bir işletmenin stok tuttuğu dönemlerde katlanması gereken ve stok miktarı ile orantılı olarak artan maliyetlerdir. Sermayenin fırsat maliyeti, depolama maliyeti ve bazı risk maliyetleri bu grupta değerlendirilmektedir.

Sermaye maliyeti aynı zamanda fırsat maliyeti olarak ifade edilmektedir. Bir işletmenin stok bulundurması, sermayesini diğer alternatif yatırım alanları yerine stoka bağlaması anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda diğer alternatif yatırım alanlarının getireceği kazanç, işletme açısından stok bulundurmanın fırsat (alternatif) maliyeti olmaktadır. Sermaye maliyetinin, stok bulundurma maliyeti içindeki en baskın kısmı olduğu ve toplam stok değerinin %10-25'ini oluşturduğu belirtilmektedir (Axsäter, 2015: 38; Sulak, 2008: 12).

Depolama ve risk maliyetleri içinde genel olarak; depo işletme ve kira giderleri, personel maaş ödemeleri, stok sayım maliyetleri, ürünlerin bozulmasına, zarar görmesine, kaybolmasına veya çalınmasına karşı alınan tedbirlere yönelik giderler, vergiler ve sigorta giderleri yer almaktadır. Stok bulundurma maliyeti değişken bir maliyet olup stok miktarı ile doğru orantılı hareket etmektedir. Bu nedenle, belirli bir periyottaki elde tutma maliyeti, ortalama stok miktarının bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Algburi, 2019: 13).

1.2.4.2. Sipariş (veya Hazırlık) Maliyeti

Sipariş ve hazırlık maliyeti arasındaki temel farklılık, işletmelerin TZ içindeki faaliyet alanlarından kaynaklanmaktadır. Üretim alanında faaliyet gösteren bir işletmede, yarı mamul veya mamul ürünler elde etmek üzere; hammaddenin tedarik edilmesi ve belirli ön süreçlerden geçirilmesi, üretim öncesi makinelerin hazırlanması, kalıp değiştirilmesi, üretim aşamasında çıkan sorunlar nedeniyle üretimin kesintiye uğraması ve tüm bunlar için gerekli

işgücünün istihdam edilmesi ile ilgili maliyetler hazırlık maliyeti kapsamında değerlendirilmektedir (Silver vd., 1998: 46).

Ürünü hazır olarak alan ve herhangi bir işleme tabi tutmadan doğrudan satışını gerçekleştiren bir işletme için, tedarik anlaşmaları çerçevesinde ve tedarik süresi boyunca meydana gelen; kırtasiye, nakliye, bilgi işlem, iletişim ve sorumlu personeller için yapılan ödemeler ise sipariş maliyetleri olarak kabul edilmektedir (Sulak, 2008: 10).

Sipariş ve hazırlık maliyetleri genellikle parti büyüklüklerinden bağımsız sabit maliyetlerden oluşmaktadır. Tek seferde yapılan sipariş ve üretim miktarının artmasıyla birim başına düşen sipariş ve hazırlık maliyetleri azalırken stok bulundurma maliyeti ise artmaktadır (Algburi, 2019: 13; Ivanov vd., 2019: 363).

1.2.4.3. Satın Alma (veya Üretim) Maliyeti

Bir birim malı satın almak veya üretmek için gerekli olan birim değişken maliyetidir ve birim değeri olarak da adlandırılmaktadır. Satıcı için birim satın alma maliyeti, ürünün her bir birimi için nakliye bedelini de içerecek şekilde tedarikçiye yaptığı ödemedir. Üretici pozisyonundaki işletme için bir ürünün birim değerine karar vermek genellikle daha zordur. Bir ürünü müşterinin veya diğer iç süreçlerin ihtiyacını karşılayacak şekilde hazır hale getirmek için kullanılan hammadde ve işçilik giderleri, bir ürünün maliyet bileşenlerini oluşturmaktadır (Silver vd., 1998: 44; Winston, 2004: 846). Satın alınan veya üretimi yapılan ürünün miktarı arttıkça bu maliyetler de artmaktadır. Ancak, sipariş veya parti büyüklüklerine bağlı olarak miktar indirimlerinin geçerli olduğu durumlar da söz konusu olabilmektedir.

1.2.4.4. Stok Bulundurmama Maliyeti

Müşteri tarafından bir ürün talep edildiğinde ve bu talep zamanında karşılanmadığında stok bulundurmama ya da stoksuzluk durumu ile karşılaşmış demektir. İşletmeler; yeterli kapasitenin olmaması, yanlış tedarik veya üretim planlarının yapılması, talep tahmini hataları, öngörülemeyen talepler ya da eksik bilgiye dayalı teslimat anlaşmaları nedeniyle stok bulundurmama sorunu yaşamaktadırlar. Talebin belirtilen zamanda karşılanmaması sonucunda stok bulundurmama (stoksuzluk) maliyeti ortaya çıkmaktadır. Ancak, her müşteri zamanında ve eksiksiz yapılmayan teslimatı kabul etmemekte, bu nedenle de siparişini iptal ederek farklı bir tedarikçiye veya ikame ürünlere yönelebilmektedir. Bu tür durumlar ise kayıp satış olarak değerlendirilmektedir (Winston, 2004: 847).

Bunun yanında, satıcılar ve üreticiler için stoksuzlukla ilişkili olan ve değeri tam olarak tahmin edilemeyen bazı maliyetler de yer almaktadır. Örneğin; geciken teslimatlar sonucunda miktar indirimlerine mecbur kalındığında, ekstra nakliyeler gerçekleştirildiğinde,

uzun dönem satışlarına ve bunlardan gelecek getiriye engel olan itibar kayıpları yaşandığında, üretimi hızlandırma çabasıyla fazla mesai ücretleri ödendiğinde, hammadde, yarı mamul veya yedek parça eksikliği nedeniyle süreçler aksadığında, veya işgücü atıl bir şekilde bekletildiğinde bu tür ilave maliyetler oluşabilmektedir (Axsäter, 2015: 38). Stoksuzluk maliyetlerinin zor tespit edildiği durumlarda optimal stok politikasının araştırılması yerine, belirli bir hizmet düzeyi kısıtının getirilerek bir ölçüde stoksuzluğa izin verilebileceği ve bu sayede taleplerin hangi seviyelerde karşılanacağı belirlenebilmektedir.

Her ne kadar işletmeler sermayelerinin büyük bir bölümünü stoklara yatırmış olsalar da stok bulundurmanın pek çok haklı gerekçesi bulunmaktadır. Stoklar en yalın biçimde arz ve talep arasındaki dengenin korunması ve bunun yanında arz, talep ve tedarik süresindeki belirsizlik ya da değişkenlik gibi kaçınılması güç problemlerle karşılaşılması durumunda işletme faaliyetlerinin sorunsuz bir biçimde akmasını sağlamak için tutulmaktadır (Waters, 2003: 8; 2017: 197). Belirsizliklere karşı fazladan bulundurulan stok aynı zamanda emniyet stoku olarak da anılmaktadır. Bir diğer önemli neden ise ölçek ekonomisinden yararlanmaktır. İşletmeler, ölçek ekonomisi sayesinde fazla miktarda satın alarak veya üretim yaparak birim başına düşen sipariş veya hazırlık maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedirler. Bu nedenle, daha fazla stok bulundurma yoluna gitmektedir (Ivanov vd., 2019: 364).

İKİNCİ BÖLÜM

STOK MODELLERİ ve TALEP TAHMİNİ

Tedarik zinciri içerisindeki herhangi bir organizasyon, önceki bölümde ifade edildiği üzere, ihtiyaç duyduğu malzemelerin üretim, tedarik veya dağıtım faaliyetlerinde problem yaşamamak adına belirli oranlarda stok bulundurma yoluna gitmektedir. XX.yy.'ın başlarında, belirsizlik durumlarında stoksuzluk gibi sorunlara karşı stokların koruma sağladığına inanan kuruluşlar da sanayileşmenin etkisiyle bu yola mümkün olduğu kadar fazla başvurmuşlardır. Ancak, stok miktarıyla orantılı olarak stok bulundurmanın oldukça maliyetli olduğunu fark eden idareciler, stokların yararları ve maliyetleri arasındaki dengenin nasıl kurulması gerektiğinin yollarını araştırmaya başlamışlardır (Waters, 2017: 197).

Stok yönetiminde en önemli sorunlardan bir diğeri, stok maliyetlerini azaltırken aynı zamanda hizmet düzeyini de yukarıya çıkarabilmektir. Ivanov (2019) ve Kaufman (2018)'e göre stok yönetiminin üstesinden gelmek büyük ölçüde bir işletmenin varlığını borçlu olduğu değer yaratma, pazarlama, satış, değer sağlama ve finans döngüsü içindeki üretim, satın alma, dağıtım ve tedarik zinciri stratejilerine bağlıdır. Farklı tekniklerin geliştirilmesi ve tedarikteki belirsizliklerin kısmen azaltılmış olması, işletmelere stok yönetimine karşı yeni tutumlar kazandırmıştır. Ancak, yerel veya küresel çaptaki ekonomik resesyonlar, hammadde arzındaki dalgalanmalar, nakliye ve lojistik operasyonlarındaki engeller ve uluslararası çatışma ortamı gibi pek çok risk faktörünün arz piyasasından asla koparılamayacağı unutulmamalıdır.

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, fiziksel mesafelerin önemini ortadan kaldırmaktadır. Etkili stok kontrol sistemleri, operasyonel faaliyetlerin verimliliğini artırmakta ve işletmeleri daha rekabetçi hale getirmektedir (Waters, 2003: 20). Amazon, Volkswagen ve Dell gibi önde gelen kuruluşlar, uyguladıkları stok kontrol sistemleri sayesinde üretimlerini güncel veriler üzerine inşa edebilmekte, böylece hizmet düzeyleri ve maliyetler konusundaki hedeflerine ulaşabilmektedir.

Stok kontrol sistemleri, kuruluşların; stok bulundurma, stoksuzluk, satın alma, nakliye, işçilik ve üretimle ilgili birçok maliyet unsuru ile mücadele etmesinde çok büyük bir rol oynamaktadır. Bunu başarabilen kuruluşlar; büyük çaptaki taleplere hızlı ve dinamik çözümler üretmekte, tedarik sürelerini kısaltmakta, daha fazla sayıda ürün çeşitliliği sunmakta ve yenilikçi ürünler geliştirmeye daha fazla vakit ayırmaktadır (Ivanov vd., 2019: 361). Stoklar doğru yönetilmedikleri takdirde ise maliyet, zaman ve güven üçgeninde hasarlara neden olmaktadır. Doğabilecek sorunların üstesinden gelmek için bilimsel olarak ortaya konan stok kontrol sistemlerine ve modellerine gereksinim duyulmaktadır.

Ayrıca, tahmin yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak gelecek dönem talep tahminlerinin yapılabilirliği talepteki belirsizliklerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. İşletmeler bazen stok seviyelerini kontrol etmeye çalışırken stok miktarlarını gereğinden fazla aşağıya çekmenin maliyetleri de azaltacağı yönünde bir yanılgıya kapılabilmektedir. Oysaki tek başına stokları minimize etmek yerine talep yapısının veya üretim sürecinin ihtiyaç duyduğu toplam maliyeti azaltan bir stok politikasına odaklanmaları gerekmektedir.

Bu bölümde; stok kontrol sistemleri ve modellerinin farklı değişkenler altında birbirinden nasıl ayrıştıkları matematiksel modeller ve grafikler aracılığıyla açıklanmakta, stok yönetimlerinin çoğu zaman talep yönetimi için ihmal ettiği tahmin yöntemlerine yer verilmekte ve çalışma konusu ile buna dayanak oluşturan diğer çalışmaların birbirinden nasıl farklılaştığı gösterilerek tez çalışmasının literatüre katkısı incelenmektedir.

2.1. Stok Kontrolü

Stoklar işletmeler için son derece önemli kaynaklar olmakla birlikte aynı zamanda oldukça maliyetli yatırımlardır. Kontrol mekanizmaları ile sahip olduğu faydalar ve maliyetler dikkatle incelenmeli, analiz edilmeli ve bunlar arasındaki dengenin korunması gerekmektedir (Waters, 2017: 198).

Stokların makul hesaplamalar sonucunda aşağıya çekilmesinin ekonomik olarak yarar sağladığı görülmektedir. Farklı kaynaklarda paylaşılan istatistiklere göre stokların %20 ile %50 arasında yıllık maliyete neden olduğu belirtilmektedir. Örneğin; ABD’de stokların yıllık ortalama maliyetinin %30 olduğu ölçülmüştür. Bu durumda, 100 birimlik maliyete sahip olan stoklar bir yılda yaklaşık olarak 30 birim fazladan maliyete yol açacaktır. Bu maliyetler, esas olarak stokların raf ömrünün kısalması, sigortalanması veya fırsat maliyetleri gibi nedenlerden oluşmaktadır. Benzer şekilde, eğer stok miktarı (stoklara ayrılan yatırım) 10 birim kadar düşürülecek olursa, işletmenin buradan 3 birimlik kazanç sağlayacağı söylenebilir (Jacobs ve Chase, 2018: 516).

Bir organizasyon veya tedarik zinciri içinde stok kontrolünün etkili bir şekilde yapılabilirliği, sürecin her anında stok yönetimi veya bununla ilişkili birimlerin sorumluluğu altındaki bütün stok türlerinin de takip edilebilirliğini gerektirir. Kontrol sistemleri kurumlar arasında farklılık gösterebilir, ancak farklı talep yapısına göre izlenecek politikaların artılarını veya eksilerini ortaya koyarak gerekli aksiyonların alınmasına destek olmaktadır.

Günümüzde stok yönetiminde yaşanan en temel sorun, gereğinden fazla veya az stok bulundurmak ve bunun bilincinde olmamaktır. Nitekim bu durum hem işletmenin kendi

süreçlerinin hem de işletmeler arasındaki koordinasyonun bozulmasına ve maliyetlerin katlanarak artmasına neden olmaktadır. Stok kontrolü, kazandırdığı farkındalık ile organizasyon içerisindeki stokların uygun düzeylerde tutulmasını sağlamakta, dolayısıyla da arz ve talep arasındaki dengenin her aşamada korunmasına yardımcı olmaktadır (Algburi, 2019: 17).

2.1.1. Stok Kontrolünün Önemi ve Amacı

Hammadde tedarikçilerinden nihai müşterilere kadar tedarik zinciri içerisinde yer alan neredeyse tüm sektörler için malzeme, bilgi ve finans akışının kontrol edilmesi son derece önemlidir. Bilimsel yaklaşımlar ve bunları esas alarak geliştirilen bilgisayar destekli programlar, stok kontrolü sürecinde kurumlara ciddi rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu durum günümüzde konunun stratejik birimleri ve yöneticileri tarafından da kabul edilmektedir (Axsäter, 2015: 1).

Stok yönetiminde başarının yakalanabilmesi, her ne kadar aynı doğrultuda ve çelişen hedeflere sahip olsalar da üretim, pazarlama, satın alma ve finans gibi faaliyet alanları arasındaki iletişimin kuvvetli olmasına ve temiz veri akışı ile stok kontrolünün uygulanmasına bağlıdır. Değer akışının belirlenen politikalar çerçevesinde kesintisiz olarak sürdürülebilmesi için stok kontrolünün temelde üç soruya cevap vermesi beklenmektedir: “*Hangi ürünler stokta bulundurulmalıdır?*”, “*Üretim/sipariş emri ne zaman verilmelidir?*” ve “*Ne kadar üretim yapılmalıdır/sipariş verilmelidir?*” (Waters, 2003: 55).

Stoklar gerekli ölçülerde kontrol edilmediği takdirde artma eğilimi göstermektedir. Bu konuda esnek davranan ve herhangi bir sermaye veya depolama alanı sıkıntısı yaşamayan işletmelerde stok miktarları giderek katlanmaktadır. Yeni ürünlerin plansız bir şekilde stoklara eklenmesi ve daha yüksek düzeyde müşteri hizmeti sunma kaygıları, stokların artmasında başrol oynamaktadır. Kurum faaliyetleri geliştikçe envantere yeni ürünler veya makineler dahil edilmekte, ancak eski ürünler veya yedek parçalar stoklardaki yerini korumaya devam etmektedir. Yine de bazı yöneticiler, bu özellikteki ürün veya malzemeleri ortadan kaldırmayı veya geri dönüştürmeyi başarabilmektedir (Waters, 2003: 56).

Bir karar alınırken aynı zamanda diğer kararlardan vazgeçilmesi durumu, literatürde “ödünleşim (trade-off)” olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bir tercih yapıldığında diğer seçeneklerin sağlayacağı getirilerden (görülmeyen faydalardan) vazgeçilmektedir. Ödünleşmeler sonucunda işletmeler önemli fırsat maliyetleriyle karşılaşmaktadır. Stoklar, fırsat maliyetine neden olmakta ve doğru yönetilmedikleri takdirde bu maliyet daha da artmaktadır. Fırsat maliyetinden kurtulmak mümkün olmasa da stoklanacak ürünlerin türü,

yeri ve miktarını belirlerken sermaye, kapasite, enerji ve zaman gibi kaynakların daha verimli kullanılması fırsat maliyetini azaltabilir (Gürbüz, 2020: 185).

Maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir işletmenin stok miktarını minimum seviyeye taşıyacak politikalar geliştirmesi beklenir. Gerçekten de maliyetleri aşağıya çekebilmek için bazen müşteri hizmetlerinden ödün vermek pahasına stoklar en aza indirilmekte ve kaçınılmaz olarak stoksuzluk durumu ile karşılaşmaktadır. Stok kontrol sistemlerini benimseyen kuruluşlar, bu tür durumlarda hızlı ve etkili kararlar alabilmekte, zaman zaman stoksuzluk durumuyla karşı karşıya kaldığında ve müşteri taleplerini tam olarak yerine getiremediğinde bile krizi yöneterek kazanç elde edebilmektedir (Waters, 2017: 198). Dolayısıyla, yalnızca stok miktarının optimize edilmesinde değil, bunun yanında farklı koşullar altında kararların alınmasında ve bunların hayata geçirilmesindeki rolü düşünüldüğünde, stok kontrolünün son derece önemli olduğu görülmektedir.

2.1.2. Stok Kontrol Sistemleri

Stok kontrol sistemleri, stoklanacak ürünlerin işletme politikaları çerçevesinde kontrol edilmesini ve kurumsal yapının oluşmasını sağlamaktadır. Genel olarak, en az maliyetle hangi üründen ne zaman ve ne kadar sipariş verildiğinin takip edilmesinin yanında, stok yönetim sistemi için de son derece önemli veriler taşımaktadır. Bu veriler, kurum içerisinde stok yönetimiyle ilişkili olan birimler arasında etkin koordinasyonun sağlanmasına ve tedarikçi-müşteri konumunda yer alan üyelerle güvenilir ilişkilerin oluşmasına önemli katkılar sunmaktadır (Jacobs ve Chase, 2018: 521; Waters, 2003: 198).

Sahip olunan stoklar çerçevesinde uygun bir sistemin veya modelin bulunması, her bir modele ait değişken türlerinin ve varsayımların tam olarak anlaşılmasını gerektirmektedir. Stok yönetimindeki literatürün olağanüstü genişlemesi ve teknolojik olarak desteklense de tabiatında matematiksel gösterimlere dayanan modellere ait varsayımların açık olarak ifade edilmemesi yöneticileri zor durumda bırakmaktadır. Dolayısıyla yöneticiler, maliyetlerin, stoksuzluk durumlarının ve tedarik sürelerinin daha da artmasına sebep olan modelleri tercih etmektedirler (Prasad, 1994: 209).

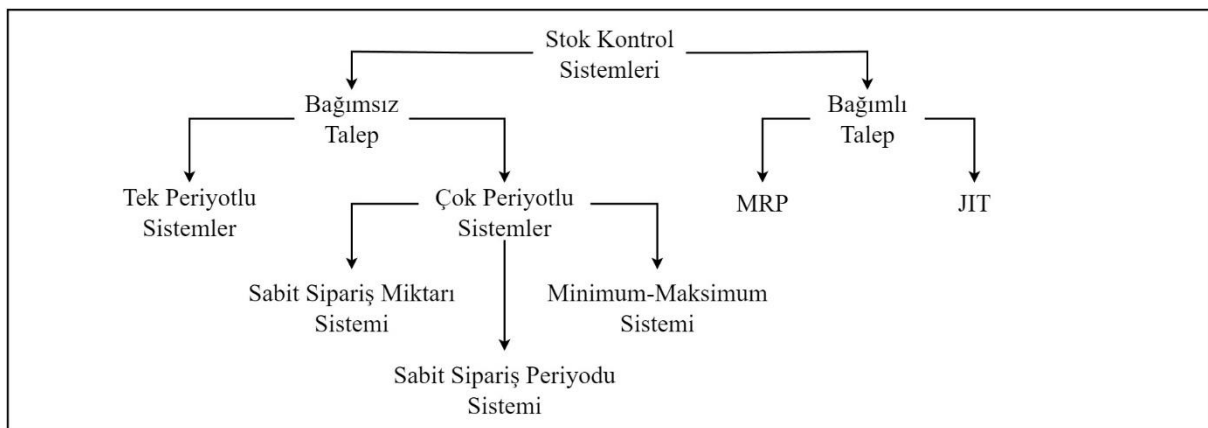
Araştırmacılar, çeşitli koşullar ve kategoriler altında sistemleri ve modelleri sınıflandırmaya çalışmışlardır. Literatüre yapılan katkılar sonucunda dört ana kategori altında 18 alt kategoriden oluşan bir sınıflandırma önerilmiştir (Prasad, 1994: 211). Ancak, tam anlamıyla hiyerarşik bir sınıflandırma yapmak oldukça zordur. Her işletme, içinde bulunduğu organizasyonun, yönetim yapısının, büyüklüğünün ve finansal istikrarının gerektirdiği ölçüde bir stok kontrol sistemi inşa etmektedir. Üretim ve stok politikalarının birbirini destekleyici

nitelikte uygulanabilmesi için stok modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim ortamı ve planlaması, üretilen ürünlerin karakteristik özelliği, pazar koşulları ve tedarikçi anlaşmaları kontrol sistemlerinin işleyişinde etkili olmaktadır (Sulak, 2008: 18).

Stoklar, sahip olduğu maliyetler nedeniyle yönetilmesi zor ve karmaşık ürünlerdir. Stok yönetimi; yeni bir ürünün geliştirilmesi, üretilmesi ve siparişlerin karşılanması süreçleriyle yakından ilişkilidir ve talep yaratılmadan bu döngünün işlemesi mümkün değildir. Bu nedenle, uygun stok kontrol sisteminin belirlenmesinde talep yapısının önemli bir temel oluşturduğu ifade edilmektedir (Croxtton vd., 2001: 14; Sulak, 2008: 18).

Talep, belirli koşullar altında birden fazla karakteristik yapı sergilemektedir. Bu özelliklerden bir tanesi, talebin nihai ürünle mi, yoksa nihai ürünün üretilmesi için gerekli olan bileşenlerle mi ilgili olduğudur. Nihai ürünlere olan talep bağımsız talep olarak ifade edilirken, bu türdeki ürünleri meydana getiren bileşenlere yönelik talep ise bağımlı talep kategorisinde değerlendirilmektedir (Çekiç, 2015: 55). Başka bir ifadeyle, bağımsız talep firma dışındaki müşteriler tarafından, bağımlı talep ise firma içindeki süreçler tarafından meydana gelen talep olarak da kabul edilmektedir (Sulak, 2008: 18).

Örneğin; otomobil üretilen bir fabrikada herhangi model bir araca gelen talep fabrika dışında oluşmakta ve diğer ürünlere olan taleple ilgisi olmadığından bağımsız talep olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bir aracı üretmek için ihtiyaç duyulan tekerlek ve lastik sayısı üretilen araç sayısına bağlı olduğundan fabrika içinde bağımlı talep oluşturmaktadır. Talebin bağımsız ve bağımlı olduğu durumlar için geliştirilen stok kontrol sistemleri genel olarak Şekil 2.1'deki gibi sınıflandırılmaktadır. Farklı talep yapısı gösteren ürünlerin doğru bir şekilde ayrıştırılması hem stok yönetimi hem de muhasebe yönetimi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 2.1 Stok Kontrol Sistemleri

Kaynak: Jacobs ve Chase, 2018: 521; Waters, 2003: 58

2.1.2.1. Bağımsız Talep için Oluşturulan Sistemler

Bağımsız talep sistemleri, bir ürüne olan talebin diğer herhangi bir ürüne olan talepten bağımsız olduğunu varsaymaktadır. Bir ürün için toplam talep, ayrı müşterilerden gelen birçok bağımsız talepten oluşmaktadır. Bu koşullarda gelecekteki talebi tahmin edebilmenin tek yolu tarihsel eğilimleri ortaya çıkarmaktır. Tahmini talep değerleri, maliyetler ve diğer değişkenlere ait değerler nicel modellere dahil edilerek en uygun sipariş zamanlarına ve miktarlarına karar verilmektedir (Waters, 2003: 57). Bağımsız talep altındaki sistemler tek ve çok periyotlu olacak şekilde iki sınıfa ayrılmaktadır.

Bu sınıflandırmada, satın alma veya üretim faaliyetlerinin sabit bir süreyi kapsayan (ürünün yeniden sipariş edilmediği veya üretilmediği) tek seferlik bir karar mı, yoksa bu faaliyetlerin belirli zamanlarda oluşan talepleri karşılamak üzere tekrarlanan ve gerekmesi halinde stok bulundurulmasına izin verilen periyodik bir karar mı olduğu rol oynamaktadır.

Tek periyotlu sistemler, bir ürünün beklenen talebini karşılayacak düzeyde ikinci kez siparişine gitmeden tek seferde ne kadar satın alınması veya üretilmesi gerektiğine cevap aramaktadır. Bir gazete satıcısının dağıtmak üzere bayiden ne kadar gazete satın alması gerektiği, önceden iptalleri dikkate alarak bir otelin kaç adet rezervasyon kabul etmesi gerektiği veya benzer şekilde bir tekstil fabrikasının şampiyonluk maçı için özel baskılı tişörtlerden ne kadar üretmesi gerektiği problemleri buna örnek olarak gösterilebilir (Jacobs ve Chase, 2018: 521). Bu türdeki durumlar için kararın toplam talebi karşılayacak düzeyde önceden ve bir defaya mahsus olarak alınması gerekmektedir.

Çok periyotlu sistemler, bir ürünün yıl boyunca sürekli mevcut olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır ve genellikle yıl içerisinde birden fazla periyotta ürünün satın alma veya üretim işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sabit sipariş miktarı sistemi, sabit sipariş periyodu sistemi ve minimum-maksimum sistemi olmak üzere üçe ayrılmaktadır. İlk iki sistem arasındaki temel farklılık, birinin durum tetiklemeli, diğerinin ise zaman tetiklemeli olmasıdır (Jacobs ve Chase, 2018: 524).

2.1.2.1.1. Sabit Sipariş Miktarı Sistemi

Sabit sipariş miktarı sisteminde stok miktarı sürekli gözden geçirilerek belirli bir eşik değerin altına düşüp düşmediği kontrol edilmekte ve eşik değerin altına düşmesi durumunda sistemin temel parametresi olan sipariş miktarı kadar sipariş verilmektedir. Bu parametre, sistem faaliyetleri boyunca değişmeyecek şekilde önceden ayarlanmaktadır. Ancak, siparişler arasındaki süre minimum stok seviyesine veya tedarik süresine bağlı olarak değişebilmektedir (Bedyeva ve Kapitanov, 2015: 698).

Sabit sipariş miktarı sistemi literatürde aynı zamanda ekonomik sipariş miktarı (EOQ) veya Q -modeli olarak da ifade edilmektedir. Bu şekilde ifade edilmesinin nedeni, stok miktarının yeniden sipariş noktasının altına düştüğü her durumda sabit Q birim kadar ürünün sipariş ediliyor olmasıdır. Stoklardan ürün çekildiği veya stoklara ürün girişi yapıldığı her an kayıtlar güncellenmektedir. Bu özelliği nedeniyle stok hacminin sabit sipariş periyoduna göre daha az olması beklenmektedir. Talepteki dalgalanmanın az olduğu ve ayrıca yüksek değerli ürünlerin bulunduğu durumlarda kullanılması önerilmektedir (Jacobs ve Chase, 2018: 525).

Stokların yenilenmesi için fiili (elle) veya otomatik olarak yürütülen bazı yöntemler bulunmaktadır. Çift kutu yöntemi gibi fiili yöntemlerin işlem maliyetleri ve stokta bekleyen ürünlerin yıpranma riski, bilgisayar destekli yöntemlere göre daha fazladır. Buna rağmen fiili yöntemler, değerce daha düşük veya çeşit sayısının az olduğu ürünler için daha esnek bir kullanım sunmaktadır (Axsäter, 2015: 223).

2.1.2.1.2. Sabit Sipariş Periyodu Sistemi

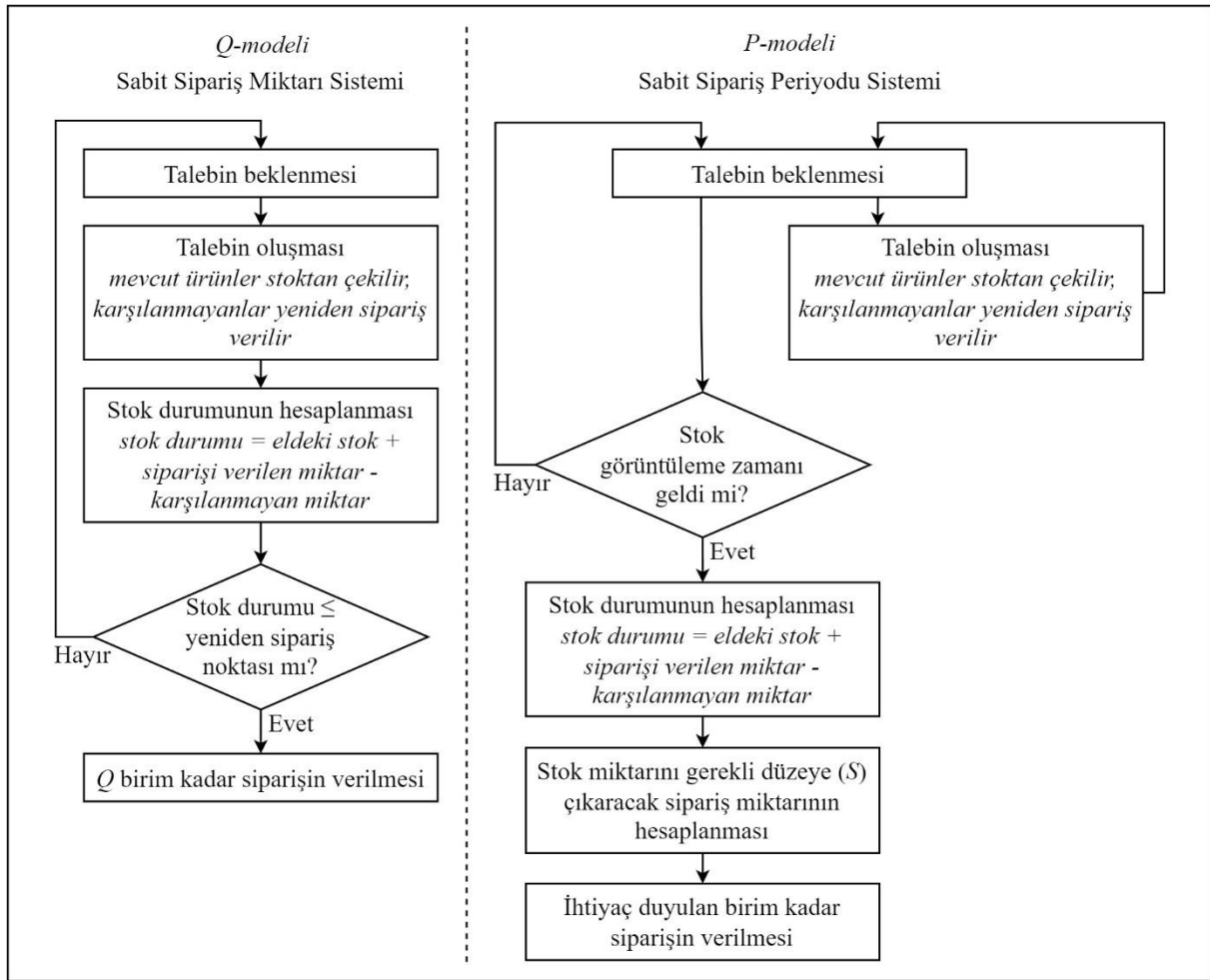
Stoklar, işletme yapısına ve sahip olduğu olanaklara göre sabit aralıklarla kontrol edilebilir. Bu türdeki kontrol ve yenileme işlemleri; sabit sipariş periyodu sistemi, periyodik görüntüleme sistemi veya P -modeli olarak ifade edilmektedir. P -modelinde başlangıçta günlük, haftalık veya aylık olarak bir gözden geçirme süresi belirlenmekte ve siparişler yalnızca bu periyotlarda verilmektedir. Dolayısıyla, Q -modeline göre daha fazla stok bulundurmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Jacobs ve Chase, 2018: 525).

Sabit sipariş periyodu sisteminde gözden geçirme periyodu sabittir, buna karşılık her periyotta verilen sipariş miktarı değişkenlik gösterebilir. Bunun için kullanılan en basit yöntemlerden biri gözle kontrol yöntemidir (Sulak, 2008: 20). Küçük işletmeler, uygulanmasının kolay ve az maliyetli olması nedeniyle tercih etmektedir. Ancak, stoksuzlukla karşılaşma olasılığının yüksek olduğu bu sistemlerde fiili yöntemlerin kullanılması beraberinde önemli riskler taşımaktadır.

2.1.2.1.3. Minimum-Maksimum (Min-Max) Sistemi

Q ve P modellerinin sürekli aynı miktarda veya her periyotta sipariş vermeye zorluyor olması, taleplerin karşılanması ve stok maliyetleri kapsamında sorun yaratabilmektedir. Uygulamada yaşanan bu sorunları aşmak için gerçek dünyada daha sık tercih edilen bir sistem bulunmaktadır. Minimum-maksimum olarak adlandırılan sistemin temel çalışma prensibine göre stoklar periyodik olarak gözden geçirilmekte, belirlenen minimum düzeye (s) inmesi halinde yine belirlenen maksimum düzeye (S) kadar yenilenmektedir. Diğer bir ifadeyle, eğer periyodik görüntüleme sonucunda stokların belirlenen noktanın altına inmediği tespit edilirse

sipariş verilmemektedir (Zhou vd., 2007: 524). Sabit sipariş miktarı ve sabit sipariş periyodu şeklinde ifade edilen yeniden sipariş verme sistemlerinin temel çalışma prensipleri Şekil 2.2'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Sabit Sipariş Miktarı (Q) ve Sabit Sipariş Periyodu (P) Sistemleri

Kaynak: Jacobs ve Chase, 2018: 526

2.1.2.2. Bağımlı Talep için Oluşturulan Sistemler

Bu bölümde bağımlı talep altında yer alan stok kontrol sistemlerinden malzeme ihtiyaç planlaması (MRP) ve tam zamanında üretim (JIT) sistemleri kısaca anlatılacaktır. Tedarik zincirinde üretici pozisyonundaki her firmanın üretim faaliyetlerini planlamak, anlaşılır hale getirmek ve etkin bir şekilde sürdürülmesini sağlamak için başvurduğu sistemlerdir. Üretim planlarının aksamadan ilerlemesi ve taleplere anında karşılık verilebilmesi, bu sistemlerin doğru bir biçimde uygulanmasına bağlıdır. Ancak, firmaların büyüklüğü ve alt yapıları doğrultusunda uygulamada farklılıklar görülebilmektedir.

Klasik stok kontrol sistemleri, ürünleri bağımsız olarak ele almaktadır. Ancak bazı durumlarda nihai ürünlerin üretilmesi başka ürünlerin bir araya gelmesi ile mümkündür. Örneğin; bir üretim ortamında hammadde, malzeme, yedek parça veya yarı mamul gibi

birbiriyle ilişki içinde olan ürünler bulunduğunda ve nihai bir ürüne yönelik talep gerçekleştiğinde, kendisini oluşturan bu bileşenlerdeki talep de doğrudan etkilenecektir. Ayrıca, bağımlı ürünler tek başlarına nihai ürün olarak kabul edilmezler. Dolayısıyla, nihai ürünü meydana getiren ve aralarında bağımlı talep ilişkisi olan ürünler için MRP sistemi tasarlanmıştır (Winston, 2004: 873; Zipkin, 2000: 21).

Malzeme ihtiyaç planlaması, üretici firmanın kendi kaynaklarını gözden geçirerek nihai ürüne olan talebin zamanında karşılanması için ihtiyaç duyulan malzemelerin verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Eksik malzemenin tespit edilmesi durumunda ilgili kurum içi birimleri bilgilendirerek siparişlerin tedarikçilere ulaştırılmasını sağlamaktadır (Waters, 2003: 307). Kontrol sisteminin ve detaylı üretim planının işlemesi için; belirli zaman dilimlerine ayrılmış program içerisinde üretilecek ürünlerin sayısını belirten ana üretim planlaması (MPS), malzeme ve reçete bilgileri, ve stok kayıtları önemli veri kaynağı olarak kullanılmaktadır (Jacobs ve Chase, 2018: 563).

Organizasyon içindeki temel MRP yaklaşımının; arzdaki dalgalanma, fire oranları, tedarikçi güvenilirliği, zayıf ürün kalitesi, değişken talep ve tedarik süresi gibi problemlere uyum sağlaması için bazı uzantıları geliştirilmiştir. Örneğin; MRP-II (Manufacturing Resources Planning), MRP'nin temel kaynaklar için planlama yapmasının ötesinde finans, pazarlama, lojistik ve insan kaynakları gibi bütün operasyon birimlerinin faaliyetlerini bir mercek altında toplayarak bütünleşik bir sistem kurmaktadır. Bir diğer örnek olarak ERP (Enterprise Resource Planning) sistemi gösterilebilir. Bu sistem sayesinde yalnızca organizasyon içerisindeki değil, aynı zamanda bir tedarik zinciri içerisindeki tüm paydaşların bilgi alışverişinde bulunarak faaliyetlerini uyum içinde yürütmeleri sağlanmaktadır (Waters, 2003: 332).

JIT stok kontrol sistemi, MRP sistemi gibi bağımlı talep temasını sürdürmektedir. En önemli ayırt edici özelliği, üretim faaliyetlerini tam ihtiyaç duydukları zamanda gerçekleşecek şekilde düzenleyerek israfı ortadan kaldırmasıdır. JIT sistemine göre stok, ortadan kaldırılması gereken bir kaynak israfı olarak görülmektedir. Ayrıca, sistemin karakteristik özellikleri arasında, malzeme hareketlerinin kontrolü için görsel çizelgeleme yöntemi olan *Kanban* tekniğini kullanması ve malzemeleri bir süreç boyunca çeken *çekme* modelini izlemesi yer almaktadır (Ivanov vd., 2019: 285).

Stok kontrol sistemleri için geliştirilen yaklaşımların genel olarak ortalama stok düzeyleri birbirinden farklıdır. Bağımsız talep sistemleri bağımlı talep sistemlerine göre daha fazla stoka ihtiyaç duymaktadır. MRP, ana üretim planlaması ile malzemelere olan talepteki belirsizliği azalttığından dolayı her ne kadar ortalama stok düzeyini oldukça indirse de

operasyon ve teslimatlarda oluşabilecek riskleri önlemek amacıyla belirli düzeyde stoka izin vermektedir. Ancak, JIT sistemi arz ve talebi eşleştirecek şekilde koordine ettiği için stok ihtiyacını tamamen ortadan kaldırmaktadır (Waters, 2003: 342).

2.2. Stok Modelleri

Stok kontrol sistemlerinde olduğu gibi stok modellerinin sınıflandırılmasında da temel faktör talep yapısıdır. Stok modelleri, talebin bilindiği ve bilinmediği durumlara göre ayrılmaktadır. Talep, kesin olarak bilindiği veya öngörü teknikleriyle elde edildiği durumlarda deterministik yapıya sahipken, bilinmediği durumlarda ise stokastik (olasılıklı) yapı sergilemekte ve belirli bir olasılık dağılımı ile hareket etmektedir.

Deterministik stok modelleri, talebin sabit veya değişken olmasına göre statik ve dinamik modeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik statik stok modelleri klasik ve karmaşıklığı az olan modellerdir. Ancak, talebin zamanla değişkenlik gösterdiği dinamik modellere ait varsayımlar günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çeşitliliği nedeniyle gevşetilmekte veya bu modellere yeni varsayımlar ilave edilmektedir. Bu durum, farklı stok modellerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Stokastik stok modelleri ise, talebin olasılık yoğunluk fonksiyonunun sabit veya değişkenlik göstermesine göre durağan veya durağan olmayan modeller olarak ikiye ayrılmaktadır (Sulak, 2008: 22).

Stok modellerinin sınıflandırılması; ürün sayısının bir veya birden çok olmasına, stokların bulundurulduğu yerin tek veya çok basamaklı olmasına ve ürünlerin tüketim hızlarına göre de yapılmaktadır (Vrat, 2014: 33). Çalışmanın devamında, uygulamayı destekleyecek olması nedeniyle, ağırlıklı olarak deterministik stok modelleri analiz edilmekte ve varsayımların gevşetilmesiyle ortaya çıkan modeller açıklanmaktadır.

2.2.1. Deterministik Stok Modelleri

Günümüz ihtiyaçlarına cevap arayan karmaşık modellerin geliştirilmesine her zaman temel (klasik) modeller öncülük etmiştir. Bu modeller, varsayımları itibarıyla problemi kısıtlamaktadır. Teorik olarak birtakım kolaylıklar sağlasa da gerçek hayat problemlerinde uygun çözümlerin elde edilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, karmaşık modellere olan ihtiyaç sürekli artmaktadır.

Stok modellerinin tasarlanması ve çözümü için gereken en temel faktör, herhangi bir stok kalemine olan talebin önceden bilinip bilinmediğidir. Eğer stoktaki bir ürüne ait olan talep önceden biliniyorsa, bu ürün için geliştirilen model deterministik bir model olmaktadır (Taha, 2000: 433). Deterministik stok modellerinin karakteristik özelliği, probleme ait parametrelerin biliniyor olmasıdır. Bilinen parametrelerle matematiksel formülasyonu yapılan

deterministik stok modellerinde, karar değişkenlerinin toplam maliyeti en düşük yapan çözüm değerleri araştırılmaktadır (Öztürk, 2012: 588).

Deterministik stok modelleri, statik ve dinamik modeller olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Talebin, zaman periyotları boyunca belirli bir seviyede sabit olarak kaldığı durumlar için statik modeller, değişkenlik gösterdiği durumlar içinse dinamik modeller tercih edilmektedir.

2.2.1.1. Deterministik Statik Stok Modelleri

Statik modeller, talebin zamanla değişmeyerek sabit kaldığı modellerdir. En iyi bilinen modeller arasında ekonomik sipariş miktarı ve ekonomik üretim miktarı modelleri yer almaktadır. Ancak, varsayımların gevşetilmesi sonucunda elde edilen modeller de bulunmaktadır. Hem klasik hem de genişletilmiş modellerin formülasyonlarının yapılabilmesi için iki ölçü birimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ölçü birimleri zaman ve miktar şeklinde ifade edilmektedir (Zipkin, 2000: 30).

2.2.1.1.1. Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

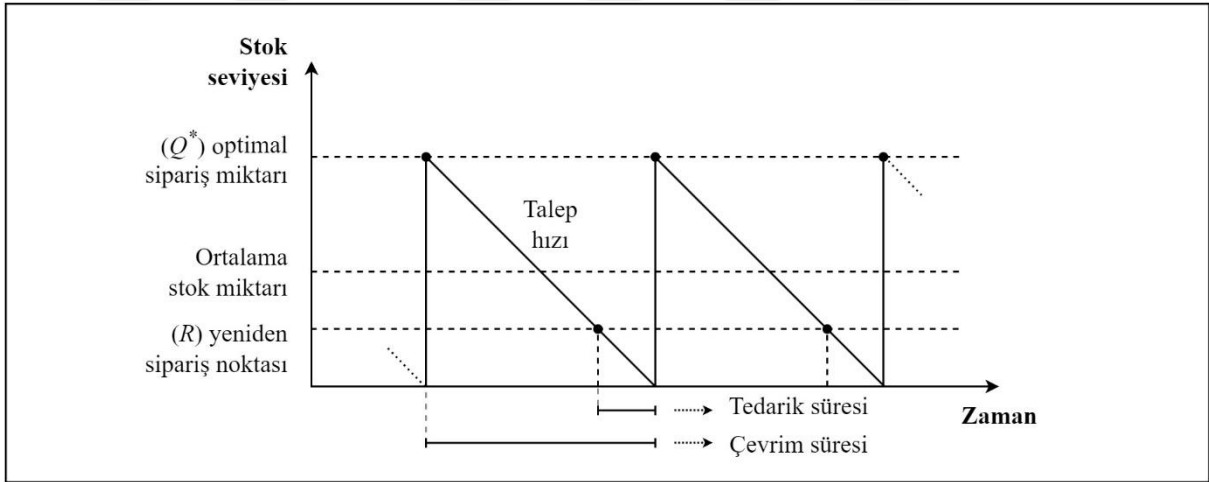
Sanayileşmenin başlangıcından bu yana parti büyüklüğü belirleme problemi, üretim yönetimi ve stok kontrolünde önemli bir yer oluşturmaktadır. Esas olarak ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiğiyle ilgilenmektedir. Diğer bir ifadeyle, parti büyüklüğü belirleme problemi, hazırlık maliyetleri ile stok bulundurma maliyetleri arasındaki dengeyi gözetmektedir. Problem ilk olarak 1913 yılında üretim mühendisi Ford W. Harris tarafından ele alınmıştır. Ekonomik sipariş miktarı (EOQ) modelinin temelini atıldığı bu çalışmada, maliyetleri minimum düzeyde tutacak şekilde tek seferde en çok hangi büyüklükte sipariş verilmesi veya üretim yapılması gerektiğiyle ilgili formüller geliştirilmiştir (Harris, 1990).

Ekonomik sipariş büyüklüğünün belirlenmesinde faktör olarak nitelendirilen pek çok parametre bulunmaktadır. Bu faktörlerin nasıl bir etkiye sahip olacağını tahmin etmek tamamen mümkün olsa da maliyet artışına neden olan hataların yapılma olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle, teorik olarak kanıtlanmış formüller yardımıyla doğru sonuçlara ulaşılabilmektedir (Harris, 1990: 947). EOQ modeli; otomotiv, ilaç ve perakende sektörleri gibi ekonominin içerisinde yer alan çoğu endüstride kullanılmaktadır (Agarwal, 2014: 233).

EOQ modelinin kurulabilmesi için birtakım varsayımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu varsayımlar günümüzdeki bazı problemlerin çözümünde gerçekçi olmamakla birlikte başlangıç noktası oluşturması bakımından oldukça önemlidir. Temel varsayımlar aşağıdaki gibi verilmektedir (Jacobs ve Chase, 2018: 526; Waters, 2003: 67):

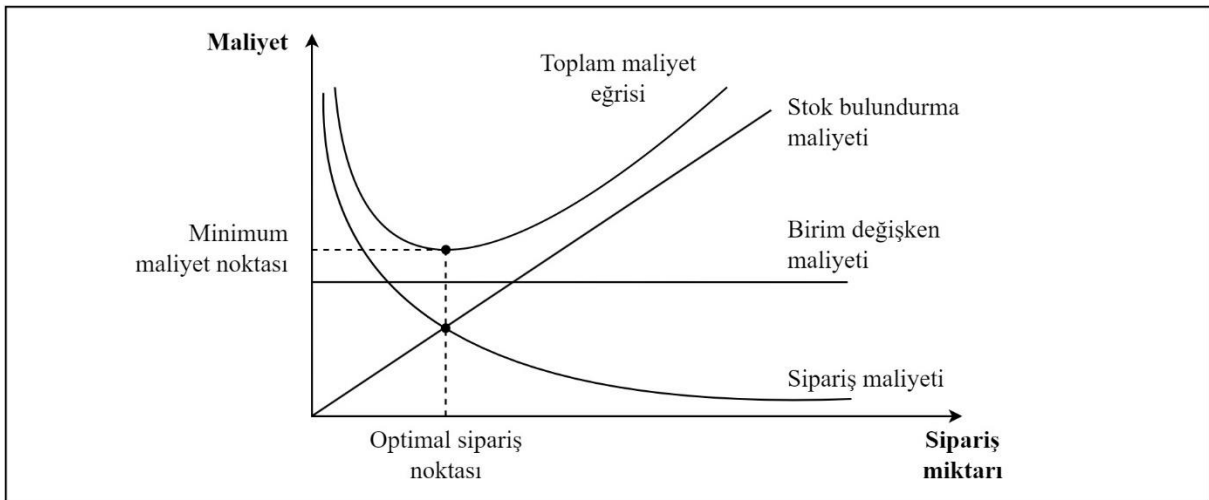
- i. Talep, zaman boyunca sürekli olarak, sabit aralıklarla ve sabit bir oranda meydana gelmekte ve kesin olarak bilinmektedir.
- ii. Tedarik süresi (siparişin verildiği andan teslim edilinceye kadar geçen süre) sabittir veya sıfırdır.
- iii. Satın alma maliyeti (birim başına maliyet) sabittir, zamanla değişmez ve sipariş miktarından bağımsızdır.
- iv. Sipariş maliyeti sabittir ve sipariş miktarından bağımsızdır.
- v. Stok bulundurma maliyeti ortalama stok miktarına bağlıdır.
- vi. Stoksuzluğa izin verilmemekte, bütün talepler anında karşılanmaktadır.

Stok seviyesinin ekonomik sipariş miktarı modeline göre zaman içerisindeki hareketini temsil eden grafik ile birim zamanda sipariş miktarına göre elde edilen maliyetler sırasıyla Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'teki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Stok Seviyesinin Ekonomik Sipariş Miktarı Modeline Göre Hareketi

Kaynak: Waters, 2003: 70



Şekil 2.4 Birim Zamanda Sipariş Miktarına Göre Elde Edilen Maliyetler

Kaynak: Winston, 2004: 852

Ekonomik sipariş miktarı modelinde birim zamandaki toplam maliyetin minimize edilmesi için optimal sipariş miktarı araştırılmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, optimal değerin elde edilmesi sipariş ve stok maliyetleri arasındaki dengenin gözetilmesine bağlıdır. Bu nedenle, modelin cebirsel ifadesi için maliyet denkleminin oluşturulması gerekmektedir.

Modelde ihtiyaç duyulan notasyonlar ve maliyetleri içeren denklem aşağıdaki gibi verilmektedir (Jacobs ve Chase, 2018: 527):

$TC(Q)$: Birim zamandaki toplam maliyet

k : Sipariş maliyeti

c : Satın alma maliyeti

h : Stok bulundurma maliyeti

D : Birim zamandaki talep hızı

Q : Sipariş miktarı

I : Stok miktarı

T : Çevrim süresi

L : Tedarik süresi

R : Yeniden sipariş noktası

Birim zamandaki toplam maliyeti minimum yapan sipariş miktarının değeri Q^* araştırıldığı için toplam maliyet fonksiyonu sipariş miktarının bir fonksiyonu olmalıdır.

$$\begin{aligned}
 TC(Q) &= \left(\text{birim zamandaki sipariş maliyeti} \right) + \left(\text{birim zamandaki satın alma maliyeti} \right) + \left(\text{birim zamandaki stok bulundurma maliyeti} \right) \\
 &= k \left(\frac{D}{Q} \right) + cQ \left(\frac{D}{Q} \right) + h \frac{Q}{2} \left(\frac{D}{Q} \right) \\
 &= k \frac{D}{Q} + cD + h \frac{Q}{2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Dördüncü varsayımdan da görüleceği üzere k sipariş maliyeti sabit bir maliyettir. Ancak, birim zamandaki sipariş maliyeti Denklem (1)'de ifade edildiği gibi Q miktarı arttıkça azalmaktadır. I stok seviyesi sıfıra düştüğü her anda Q birim kadar yenilenmekte ve D (talep hızı) negatif eğim çizgisi boyunca azalmaktadır. Stok seviyesinin yeniden sıfır düzeyine inmesi için geçen süre $T = \frac{Q}{D}$ 'dir ve bu oran sipariş çevrim süresi olarak adlandırılmaktadır. Bu oranın 1'e bölünmesiyle sipariş çevrim sayısı $\frac{D}{Q}$ elde edilmektedir. Dolayısıyla, birim zamandaki sipariş maliyeti, bu zaman dilimindeki sipariş çevrim sayısı ile ilişkilidir. Birim zamandaki ortalama stok miktarı ise $\bar{I} = \frac{Q}{2}$ 'dir.

Birim zamandaki sipariş maliyetiyle stok bulundurma maliyeti arasında Q değerleri boyunca ters yönde bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca, birim zamandaki elde etme

maliyetinin sipariş miktarından bağımsız olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle, $TC(Q)$ fonksiyonunu minimum yapan sipariş miktarının bulunabilmesi için fonksiyonun Q 'ya göre birinci dereceden türevinin sıfıra eşitlenmesi gerekmektedir. Optimal sipariş miktarı Q^* elde edildikten sonra optimal çevrim süresi T^* hesaplanabilir.

$$\frac{\partial TC(Q)}{\partial Q} = -\frac{kD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kD}{h}}, \quad T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2k}{hD}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 TC(Q)}{\partial Q^2} = \frac{2kD}{Q^3} > 0 \quad (3)$$

Birim zamandaki toplam maliyeti minimize eden sipariş miktarı Denklem (2)'deki gibi elde edilmektedir. Fonksiyonun Q 'ya göre ikinci dereceden türevinin $Q > 0$ değerleri için sıfırdan büyük olduğu Denklem (3)'te görülmektedir. Bu durum, toplam maliyet fonksiyonunun konveks olduğunu ve fonksiyonu minimum yapan tek bir Q değeri olduğunu açıklamaktadır.

Ekonomik sipariş miktarı modelinin ikinci varsayımına göre tedarik süresi sabittir veya sıfırdır. Modelin çıkarımı yapılırken genellikle sıfır olduğu kabul edilmektedir. Ancak, yeni bir siparişin verilir verilmez hemen tedarik edilmesi her zaman söz konusu olmayabilir. Bu durumda, tedarik süresi (L) ve yeniden sipariş noktası (R) kavramları ortaya çıkmaktadır. Yeniden sipariş noktası, tedarik süresi boyunca meydana gelen talepleri karşılayacak ve stok tükenmesiyle karşılaşılmayacak şekilde belirlenmelidir.

Tedarik süresinin 0'dan farklı ancak sabit olduğu durumlarda tedarik süresi boyunca meydana gelen talep D 'ye bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, D talep hızının oluşturduğu negatif eğim ölçüsü, D boyunca R birim kadar talebin meydana geleceği ve bunun karşılanacağı anlamına gelmektedir. Şekil 2.3'te tedarik süresinin çevrim süresinden küçük olduğu varsayılmaktadır. Ancak, her zaman bu şekilde olmayabilir. Bu durumda, bir dönüşüm yardımıyla R hesaplanabilir (Taha, 2000: 436).

$$L_c = L - nT \text{ ve } \left\{ n \in \mathbb{Z}: n \leq \frac{L}{T} \right\} \text{ olmak üzere;}$$

$$\begin{cases} L \leq T \text{ ise } R = LD \\ L > T \text{ ise } R = L_c D \end{cases}$$

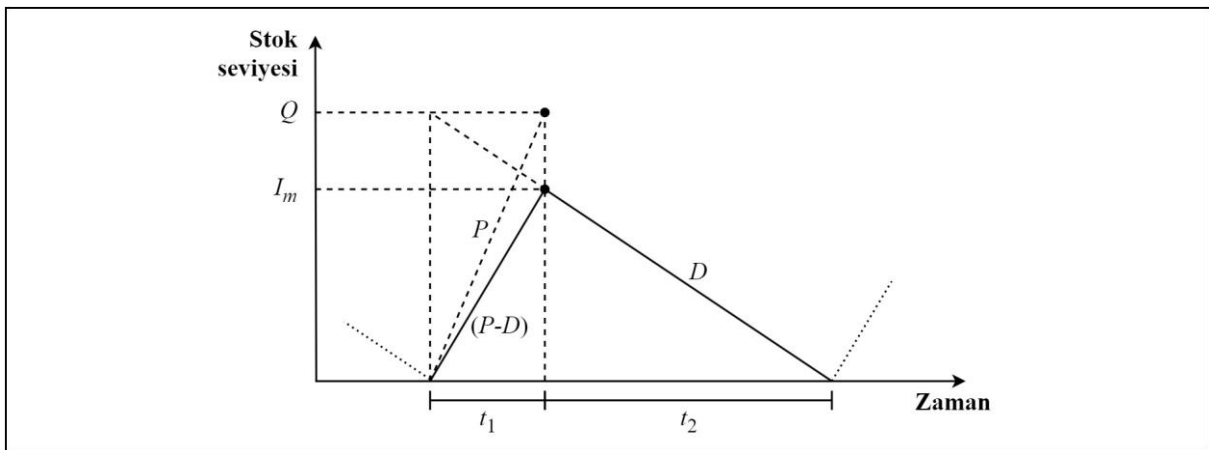
Sonuç olarak, modelden elde edilen optimum stok politikası şu şekilde olacaktır: $L = 0$ ise her T^* zaman biriminde ($I = 0$ olduğu anda) Q^* birim kadar sipariş verilmeli, eğer $L \neq 0$ ve sabitse stok düzeyi R birime düştüğü anda Q^* birim kadar sipariş verilmelidir.

2.2.1.1.2. Ekonomik Üretim Miktarı Modeli

Tedarik zincirinde alıcı konumundaki işletmeler için EOQ modelinin, varsayımlar korunduğu sürece, uygun olduğu düşünülebilir. Siparişe dayalı işletmelerde veya süreçlerde, yüksek hacimli tedarikler ile stok seviyesi anında yukarıya çıkmakta ve sabit talep hızı ile azalmaktadır. Ancak, üretime dayalı süreçlerde sınırlı üretim hızı olduğundan stoklar anında yenilenemez. Dolayısıyla, bir yandan üretim yapılırken diğer yandan da talebin karşılanması gerekmektedir. Bu durumda stok hareketleri bir önceki modele göre farklılık göstermektedir.

Bir üretim hattındaki üretim hızının talep hızından yüksek olması gerekmektedir. Aksi halde, üretilen ürünler talebin karşılanması için kullanılacak ve sonrasında meydana gelen talepler karşısında stoksuzluk sorunu ortaya çıkacaktır. Ayrıca, üretimin talebi karşılayacak şekilde sürekli olarak devam etmesi, özellikle birden fazla stok kalemiyle üretimin yapıldığı işletmelerde, mümkün olmayacaktır. Bu nedenle üreticiler, toplam çevrim süresinin bir kısmında üretim yaparak hem talepleri karşılamakta hem de stok biriktirmektedirler. Üretimin olmadığı diğer kısımda ise oluşan talepleri biriktirilen stoklardan karşılamaktadırlar.

Stokların anında yenilenmediği, aksine, sabit oranla ve sınırlı süreyle biriktirildiği model, ekonomik üretim miktarı (EPQ) olarak adlandırılmaktadır. Stoklar yalnızca üretim hızının talep hızından fazla olduğu zaman diliminde talep ve üretim arasındaki fark oranında birikmektedir. Bu yığılma, üretim sürdükçe devam etmektedir. EPQ modelinin amacı, farklı bir stok kaleminin üretimine geçmeden, mevcut iş akışındaki üretimin hangi noktadan itibaren sonlandırılacağına karar vermektir. Bu amaçla, fazladan hazırlık maliyetine ve stok tükenmesine izin vermeyecek ölçüde optimal parti büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir (Waters, 2003: 113).



Şekil 2.5 Stok Seviyesinin Ekonomik Üretim Miktarı Modeline Göre Hareketi

Kaynak: Sulak, 2008: 33

Şekil 2.5'te ifade edildiği üzere, P üretim ve D tüketim hızına sahip modelde t_1 süresinin sonuna kadar $(P - D)$ hızı ile üretim devam etmekte ve stok seviyesi periyottaki

maksimum düzeye ulaştıktan sonra ilgili kalemin üretimi sonlandırılmaktadır. Üretimin yapılmadığı t_2 periyodunda sabit D hızı ile stok tükeninceye ve bir sonraki çevrim periyoduna geçinceye kadar talep karşılanmaktadır. EOQ modelinin sahip olduğu varsayımlar korunmaktadır. Ancak, bazı maliyet türleri farklı şekilde isimlendirilmektedir.

Ekonomik üretim miktarını (optimal parti büyüklüğü) ve en yüksek stok seviyesini veren modele ait notasyonlar ve maliyet denklemi aşağıdaki gibi verilmektedir (Sulak, 2008: 33; Waters, 2003: 114):

$TC(Q)$: Birim zamandaki toplam maliyet

k : Üretime hazırlık maliyeti

c : Üretim maliyeti

h : Stok bulundurma maliyeti

D : Birim zamandaki talep hızı

P : Birim zamandaki üretim hızı

Q : Sipariş miktarı

I_m : Çevrim süresinde ulaşılan maksimum stok miktarı

t_1 : Çevrim süresi içerisinde üretimin yapıldığı zaman aralığı

t_2 : Çevrim süresi içerisinde üretimin yapılmadığı zaman aralığı

T : Çevrim süresi ($T = t_1 + t_2$)

Minimum maliyetli üretim planlaması yapılırken optimal parti büyüklüğü için bilinen üretim ve stok maliyetlerinin dışında, talep ve üretim oranlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Denklem (5)'teki gibi birim zamandaki toplam maliyeti hesaplarken Denklem (4)'te gösterilen eşitlikleri kullanmak, hesaplamalarda kolaylık sağlayacaktır. α parametresi, formüllerdeki notasyonu kısaltmak amacıyla kullanılmıştır.

$$T = \frac{Q}{D} \text{ ve } t_1 = \frac{Q}{P} = \frac{I_m}{P - D} \Rightarrow I_m = \frac{Q(P - D)}{P} = Q \underbrace{\left(1 - \frac{D}{P}\right)}_{\alpha} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} TC(Q) &= \left(\begin{smallmatrix} \text{birim zamandaki} \\ \text{hazırlık maliyeti} \end{smallmatrix} \right) + \left(\begin{smallmatrix} \text{birim zamandaki} \\ \text{üretim maliyeti} \end{smallmatrix} \right) + \left(\begin{smallmatrix} \text{birim zamandaki} \\ \text{stok bulundurma maliyeti} \end{smallmatrix} \right) \\ &= k \left(\frac{D}{Q} \right) + cQ \left(\frac{D}{Q} \right) + h \left(\frac{t_1 I_m}{2} + \frac{t_2 I_m}{2} \right) \left(\frac{D}{Q} \right) \\ &= k \frac{D}{Q} + cD + h \frac{\alpha Q}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Ekonomik sipariş miktarı modelinde olduğu gibi bu modelde de birim zamandaki maliyetler hesaplanırken tüm maliyetler T çevrim süresine bölünmektedir. Optimal parti

büyükliğünün (Q^*) elde edilmesi için maliyet fonksiyonunun Q 'ya göre birinci türevinin sıfıra eşitlenmesi gerekmektedir.

$$\frac{\partial TC(Q)}{\partial Q} = -\frac{kD}{Q^2} + \alpha \frac{h}{2} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kD}{h\alpha}} = \sqrt{\frac{2kD}{h\left(1 - \frac{D}{P}\right)}}, \quad T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2k}{hD\left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 TC(Q)}{\partial Q^2} = \frac{2kD}{Q^3} > 0 \quad (7)$$

Optimal parti büyüklüğü ve çevrim süresi Denklem (6)'da gösterilmektedir. Burada, üretim oranının talep oranından büyük olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Eşit olması halinde ise, elde bulundurma maliyeti karekök içerisindeki ifadeye ulaşmadan ortadan kalkacaktır. Denklem (7)'de ise maliyet fonksiyonunun ikinci türevinin $Q > 0$ değerleri için pozitif olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, EPQ modelinin toplam maliyet fonksiyonu da konveks bir fonksiyondur ve bu fonksiyonu minimum yapan tek bir Q değeri bulunmaktadır.

Ayrıca, üretim sonsuza doğru arttıkça optimal parti büyüklüğünün ekonomik sipariş miktarına doğru yakınsadığı Denklem (8)'de gösterilmektedir. Bu durum, üretim oranında ne kadar büyük bir artış yaşanırsa, anında stok yenilenmesi durumuna da o kadar çok yaklaşılabileceğini ortaya koymaktadır (Winston, 2004: 867).

$$Q_{EPQ}^* = \sqrt{\frac{2kD}{h} \frac{1}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2kD}{h} \sqrt{\frac{P}{P-D}}} = Q_{EOQ}^* \sqrt{\frac{P}{P-D}} \Rightarrow \lim_{P \rightarrow \infty} Q_{EPQ}^* = Q_{EOQ}^* \quad (8)$$

EOQ ve EPQ modelleri, yüksek elde tutma maliyetine sebep olan seyrek sipariş kararları ile yüksek sipariş verme maliyetine sebep olan sık sipariş kararları arasında bir uzlaşma aramaktadır. EPQ modelini matematiksel olarak EOQ modelinden ayıran tek özellik, optimal parti büyüklüğünü hesaplarken $\sqrt{\frac{P}{P-D}}$ faktörünü içeriyor olmasıdır. EPQ modeli elde daha az stok bulundurarak elde bulundurma maliyetini ve dolayısıyla da birim zamandaki toplam maliyeti daha da aşağıya çekmekte ve bu sayede diğer her şey eşit olduğunda daha büyük partiler üretebilmektedir (Waters, 2003: 116).

2.2.1.1.3. Gevşetmeler Sonucunda Elde Edilen Modeller

Ekonomik sipariş ve üretim miktarı modelleri, yer aldığı sisteme göre optimal sonuçları veren temel modellerdir. Her ne kadar bu başlık altında yer verilmesi de EPQ modeli bir yönüyle EOQ modelinin bir gevşetmesidir. Klasik EOQ modelinde stokların

anında yenilenmesi söz konusu iken, EPQ modelinde stoklar sabit bir hızla yenilenmektedir (Winston, 2004: 865).

Ekonomik sipariş ve üretim miktarı modelleri bir dizi varsayıma dayanmaktadır. Ancak, deterministik statik stok modellerindeki bu varsayımların geçerliliği her zaman korunmamaktadır. Karşılaşılan problemlere çözüm üretmek amacıyla belirli varsayımlar gevşetilmekte ve maliyet fonksiyonları yeniden hesaplanmaktadır. Gevşetmeler, gerçek hayat problemlerinin daha iyi temsil edilebilmesi için yapılmaktadır.

Bu modeller genel olarak; miktar indirimini, planlı stok tükenmesini, kusurlu veya bozulabilen ürünleri, öğrenme etkisini, enflasyon etkisi ve paranın zaman değerini, ödemelerde gecikmeye izin verilmesini ve farklı talep fonksiyonlarını dikkate alarak geliştirilen modellerdir.

i. Miktar indirimi: EOQ modelinde satın alma maliyetinin sipariş miktarından bağımsız ve sabit olduğu varsayılmaktadır. Ancak, gerçek hayatta tedarikçiler (satıcılar) sipariş miktarına bağlı olarak satın alma fiyatında indirimde gitmektedir. Diğer bir ifadeyle, birim zamandaki satın alma maliyeti sipariş miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, literatürde miktar indirimi veya fiyat indirimi olarak ifade edilmektedir. Satın alma maliyeti sipariş miktarına bağlı olarak değiştiği için, Şekil 2.4'ün aksine, elde tutma maliyeti ve sipariş (veya üretime hazırlık) maliyeti arasındaki ödünleşimden ayrı tutulmaması gerekmektedir. Bu durumda, yeni bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır (Winston, 2004: 860).

Q : Sipariş miktarı

b_i : Sipariş miktarına bağlı değişen fiyat kırılma noktaları

c_i : Satın alma maliyeti

$TC_i(Q)$: c_i satın alma maliyeti ve Q sipariş miktarı altında birim zamandaki toplam maliyet

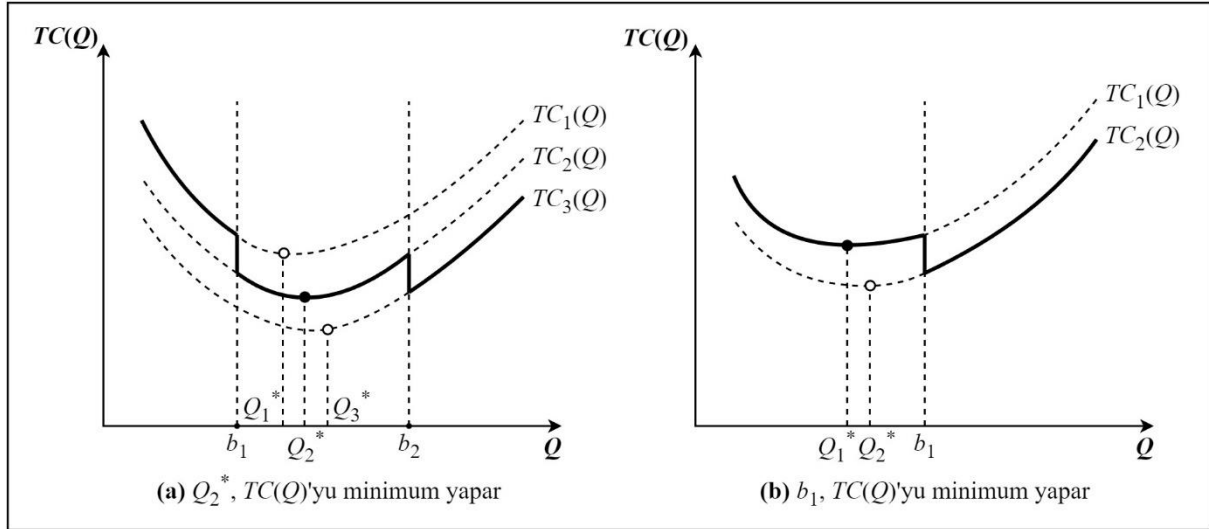
$TC(Q)$: Fiyat kırılımlarını dikkate alarak hesaplanan birim zamandaki maliyet

Q_i^* : c_i satın alma maliyeti ile oluşan birim zamandaki toplam maliyet eğrisi için optimal sipariş miktarı (Q_i^* , eğer $b_{i-1} \leq Q_i^* \leq b_i$ ise geçerlidir)

$$c_i = \begin{cases} c_1 & , Q < b_1 \\ c_2 & , b_1 \leq Q < b_2 \\ c_{k-1} & , b_{k-2} \leq Q < b_{k-1} \\ c_k & , b_{k-1} \leq Q < b_k = \infty \end{cases} , \quad i = 1, \dots, k$$

Şekil 2.6'da $TC(Q)$ fonksiyonu kesikli olmayan kalın çizgilerle verilmektedir. Farklı satın alma fiyatlarına göre oluşturulan maliyet fonksiyonları ise $TC_i(Q)$ şeklinde ifade edilmektedir. Her $TC_i(Q)$ fonksiyonun bir optimal sipariş miktarı vardır, ancak bu noktaların hepsi geçerli (kabul edilebilir) nokta olmayacaktır. Eğer bu sipariş noktaları geçerli olarak

kabul edilirse fiyat kırılımları arasında, geçerli olmadıklarında ise fiyat kırılımları üzerinde yer almaktadır. Örnek olarak (a) ve (b) grafiklerinde, geçerli sipariş miktarlarının fiyat kırılımlarına göre $TC(Q)$ maliyet eğrisi üzerinde nasıl seçileceği gösterilmektedir. Geçerli sipariş miktarlarının oluşturduğu küme içerisinde toplam maliyet fonksiyonunu minimum yapan değer, optimal sipariş miktarı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.6 Miktar İndirimini Dikkate Alan Ekonomik Sipariş Miktarı

Kaynak: Winston, 2004: 861

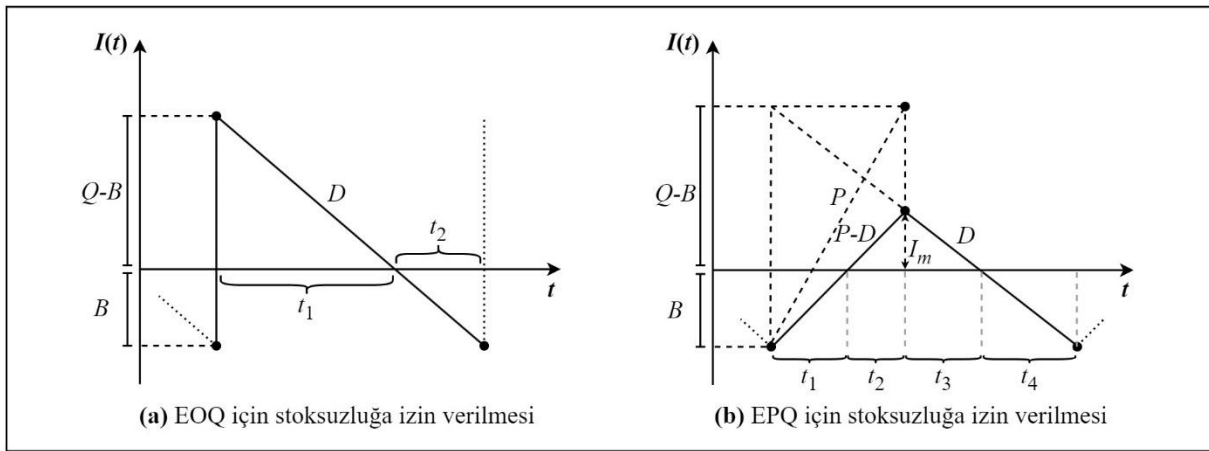
Toplam maliyet fonksiyonunda belirli kırılmalarla minimum maliyetin araştırıldığı bir diğer problem, sevkiyat sayısına bağlı olarak artan nakliye ücretleridir. Siparişlerin teslimatı aşamasında doğru yüklemelerle optimal sevkiyat planının yapılması sipariş maliyetinin aşağıya çekilmesinde büyük rol oynamaktadır (Waters, 2003: 109).

ii. Planlı stok tükenmesi: Tedarik zincirinde karşılaşılan en önemli güçlüklerden biri, stoksuzluğa düşmeden gerçekleşen taleplerin karşılanmaya çalışılmasıdır. Gerçek hayatta taleplerin zamanında karşılanması pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle EOQ ve EPQ modellerinde stok tükenmesine izin verilmesi aynı zamanda planlı stok tükenmesi anlamına da gelmektedir.

Stoksuzluğa izin verilmesi halinde, talebin ilk anda karşılanabilen kısmı eldeki stoktan karşılanmakta, karşılanamayan kısmı ise sonradan karşılanmak üzere bekletilmektedir. Talebin tamamının zamanında karşılanmaması halinde iki farklı senaryo mevcuttur. İlk olarak, müşteri eksik kalan sipariş miktarı için beklemeyi kabul edebilir ve ertelenen talebi karşılanabilir. Alternatif senaryoda ise, talebin anında karşılanamayan kısmını müşteri kabul etmeyebilir ve bu durum firma için satış kaybına yol açabilir (Zipkin, 2000: 39). Bu nedenle, teslimat anına kadar gelen ve biriktirilen taleplerin yalnızca potansiyel satış rakamlarını temsil ettiği unutulmamalı ve biriktirilen bu taleplerin hangi oranlarda ve zaman dilimlerinde karşılandığı doğru analiz edilmelidir (Zipkin, 2000: 22). Sonuç olarak her iki senaryoya göre

firma; müşteri kaybı, firmaya olan güvenin sarsılması, eksik kalan talebin tedariki için fazladan işgücüne ihtiyaç duyulması ve zaman kaybı gibi nedenlerden dolayı stoksuzluk maliyeti ile karşılaşmaktadır (Winston, 2004: 869).

Q , sipariş miktarı ve B , çevrim süresi içinde izin verilen maksimum stoksuzluk miktarı olmak üzere, birim zamandaki toplam maliyet fonksiyonu $TC(Q, B)$ 'yi minimum yapan optimal (Q, B) ikili değerine ait örnek grafik Şekil 2.7'deki gibi gösterilmektedir. Çözüm değerlerinin elde edilmesinde, EOQ ve EPQ modellerine ait optimal sipariş miktarlarının hesaplanması sürecindeki yollar takip edilmektedir. Stoksuzluğa izin verilmesi halinde temel modellerden farklı olarak modele ayrıca stoksuzluk maliyeti eklenmektedir. Detaylı ve açıklayıcı hesaplamalar için Sulak (2008)'in çalışması incelenebilir.



Şekil 2.7 Stok Tükenmesine İzin Verilmesi Halinde EOQ ve EPQ Modelleri

Kaynak: Sulak, 2008: 37-42

Stok tükenmesine izin verilmesi halinde satıcının tam olarak hangi oranda stoksuz kalacağını biliyor olması her zaman yeterli olmamaktadır. Stoksuzluk, taleplerin anında karşılanmamasına ve zamanında karşılanmayan talepler ise ileride satış kayıplarına dönüşebilmektedir (Silver, 1981: 234). Satış kaybına yol açmayacak optimal bir politika belirlemek oldukça zordur, çünkü her bir müşterinin geciken teslimatları için kendine ait ayrı bir eşik değeri bulunmaktadır.

Müşteri yönetimini esas alan ve taleplerin hangi oranlarda karşılanması, bekletilmesi (veya öncelik sırasının belirlenmesi) veya doğrudan iptal edilmesi gerektiğinin araştırılması, satış kayıplarını azaltabilir (Benjaafar vd., 2010: 253). Diğer bir yöntem olarak, Janakiraman vd. (2007)'de tamamen (sonradan karşılanmak üzere) bekletilen ve satış kaybına neden olan talepler ayrı ayrı incelenmekte ve hangi durumun daha maliyetli olduğu analiz edilmektedir.

iii. Kusurlu veya bozulabilen ürünler: Klasik EOQ ve EPQ modellerinde, üretilen veya siparişi verilen ürünlerin kusursuz olduğu ve stoktaki ürünlerin zamanla fiziksel, kimyasal veya ekonomik özelliklerini kaybetmediği varsayılmaktadır. Ancak, bazı etkiler

sonucunda ürünler kusurlu hale gelmekte veya bozulmaktadır. Bu durumun ekonomik sipariş veya üretim miktarı üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Tedarik zincirindeki üretim, stoklama veya teslimat süreçlerinin herhangi bir noktasında ürünlerde kusur veya bozulma oluşabilmektedir. Yönetimsel açıdan ürünlerde meydana gelen bu tür sorunların nereden kaynaklandığı, ne zaman tespit edildiği ve geri ödemesinin yapılıp yapılmadığı büyük önem arz etmektedir (Zipkin, 2000: 58).

Gerçekte, bütün üretim endüstrileri uygun kaliteyle ürün üretmeyi amaçlamaktadır. Ancak, makine arızaları, işçilik sorunları veya hammadde eksiklikleri gibi çeşitli etkenlerden dolayı uzun vadede kusursuz üretim yapabilmek ve son kullanıcıya mükemmel bir şekilde ulaştırabilmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir (Sarkar vd., 2014: 650). Stoklanan ürünler karakteristik özelliklerine göre; kırılma, buharlaşma, azalma veya bozulma gibi fiziksel veya kimyasal özelliklerini kaybetme riski taşımaktadır. Çabuk bozulabilen veya raf ömürleri kısa olan ürünlere gıda, ilaç ve tıbbi ürünler örnek olarak gösterilebilir (Moussawi-Haidar vd., 2014: 5956; Patriarca vd., 2020a: 602).

Bunun yanında, bazı ürünlerin değerini yitirmesi (modasının geçmesi) riski bulunmaktadır. Çoğunlukla teknolojik ilerlemeler, modadaki değişimler veya piyasaya yeni ürünlerin girmesi sonucunda bir ürün, üreticisi tarafından üretilmediği veya mevcut olsa bile aynı işlevsellikle yeterli performans sergileyemediği için yaşam döngüsünü tamamlamaktadır (Patriarca vd., 2020b; Shi ve Liu, 2020: 133). Bozulan veya değerini kaybeden ürünler; daha düşük bir fiyatla satılmakta, mümkünse yeniden işlenmekte veya geri dönüştürülmekte, tedarikçiye iade edilmekte ya da sistemden anında çıkarılmaktadır (Konstantaras vd., 2007: 473).

Varsayımın gevşetilmesi sonucunda bozulan veya kusurlu ürünler için δ bozulma oranı belirlenerek modele dahil edilmektedir. Eldeki stokun bir kısmında δ oranı ile bozulma meydana gelecek ve talep geriye kalan stok miktarından karşılanacaktır. Talep hızı sabit olsa da bozulma oranı nedeniyle stok miktarı üstel bir şekilde azalacaktır (Zipkin, 2000: 59). Bozulma oranı belirli bir eşik değerin altında tespit edilirse (sipariş miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olmazsa), modelin EOQ veya EPQ modeline yakınsayacağı ve bu durumda δ oranının modelden dışlanabileceği ifade edilmektedir (Sulak, 2008: 55).

iv. Öğrenme etkisi: Optimal parti büyüklüğünün belirlendiği klasik EPQ modellerinde hazırlık ve üretim maliyetlerinin sabit ve sipariş miktarından bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımlar genellikle neredeyse aynı operasyonel faaliyetleri yürüten makinelerin olduğu bir ortamda geçerlidir. Ancak, tekrarlı görevlerin, yeni ürünlerin veya yeniden tasarımların yer aldığı emek yoğun bir ortamda işçilerin performansı zamanla

değişmektedir. Bu koşullarda öğrenme etkisinin ortaya çıkması beklenen bir durum olup modele dahil edilmesi gerekmektedir (Eroğlu ve Karaöz, 2011: 2).

Aynı miktarda çıktıyı elde etmek için çaba ve zamanın azalması, öğrenme eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Öğrenme eğrisi kavramı ilk olarak Wright (1936) tarafından matematiksel bir fonksiyon yardımıyla geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında hükümetlerin uçak üretim süreçlerinde zamandan ve maliyetten tasarruf etmek istemeleri, kavrama olan ilgiyi giderek artırmıştır. Öğrenme eğrisi teorik olarak, toplam üretim miktarının artmasıyla öğrenme etkisinin artacağını ve ürünü üretmek için gereken işgücünün ve dolayısıyla da birim değişken maliyetinin azalacağını öngörmektedir. Yelle (1979), öğrenme oranı, öğrenme katsayısı ve üretilen birim sayısı ile elde edilen öğrenme eğrisini göstermek için gereken doğrudan işçilik sürelerini maliyet değerlerine tercih etmektedir.

Wright'ın log-lineer modelinin yanında farklı veri setleriyle ortaya çıkan durumları içerecek şekilde farklı modeller de geliştirilmiştir. Uygulamada sık karşılaşılan ve öğrenmeyi üç fazda (başlangıç, öğrenme ve olgunluk) tamamlayan S-eğrisi bunlardan biridir (Jaber vd., 2008: 144). EPQ modelleri için gerçekleştirilen ve öğrenme etkisini araştıran ilk çalışma Keachie ve Fontana (1966) tarafından yapılmıştır. Salameh ve Jaber (2000)'in kusurlu ürünler için geliştirdiği model, Jaber vd. (2008) tarafından yeniden incelenerek öğrenme etkisinin aynı zamanda parti başına üretilen kusurlu ürünlerin yüzdesinin azalmasına etki ettiği tespit edilmiştir.

v. Enflasyon etkisi ve paranın zaman değeri: Ekonomik sipariş miktarı belirlenirken talep enflasyonu, maliyet enflasyonu, para arzı ve enflasyon beklentileri gibi temel nedenlerle oluşan enflasyon etkileri göz ardı edilmektedir. Son yıllarda Türkiye başta olmak üzere gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ekonomileri yüksek enflasyonla karşı karşıya kalmaktadır. Sanayi sektörünün bütün bileşenleri zorlu ekonomik koşullar altında yatırım yapmak ve üretim faaliyetlerini geliştirmek için finansman kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Diğer taraftan sermaye yatırımlarının büyük çoğunluğunu da stoklar oluşturmaktadır. Enflasyon etkisinin envanter maliyetleri üzerindeki baskısı dikkate alındığında üretim ve sipariş kararları verirken gelecek ve şimdiki dönem maliyet analizlerinin doğru yapılabilmesi için yalnızca enflasyon oranının değil aynı zamanda paranın zaman değerinin de hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir (Silver vd., 1998: 164; Zipkin, 2000: 62).

vi. Ödemelerde gecikmeye izin verilmesi: EOQ ve EPQ modelleri elde edilirken müşterinin satın aldığı ürünlere karşılık tedarikçiye olan ödemesini anında yaptığı zımnen kabul edilmektedir. Ancak, alıcılar için ödemelerde gecikmeye izin verilmesi hem alıcılara hem de satıcılara bazı avantajlar sağlayabilmektedir. Ekonomik sipariş miktarı belirlenirken

ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu ilk olarak Goyal (1985) tarafından ele alınmıştır. Buna göre, bir müşterinin kendisine tanınan süre boyunca ödemeyi geciktirmesiyle faizsiz krediye sahip olması ekonomik olarak eşdeğerdedir. Bu sayede müşteri başta ödeme yapmadan hem ürünleri teslim almakta hem de ödeme vadesi gelinceye kadar gelir kazanmaya devam etmektedir. Vadesinde yapılmayan ödemeler içinse ceza olarak faiz işletilmektedir.

Ödemelerde gecikmeye izin verilmesi satıcılar için de yararlı olabilmektedir. Ürünlerini tanıtmak veya azalan talebi yeniden canlandırmak isteyen satıcılar bu politikayı tercih etmektedir (Chang ve Dye, 2001: 346). Diğer taraftan, satın alma maliyetini dolaylı olarak azaltmak isteyen ve enflasyon etkisi nedeniyle daha yüksek fiyatlara maruz kalmak istemeyen alıcılar daha fazla miktarda sipariş vermektedirler (Liao ve Chen, 2003: 245). Nitekim müşteriler, ödemelerde kendilerine esneklik sunulduğunda satın almaya veya sipariş miktarlarını artırmaya eğilimlidirler.

Bu tür problemlerde aynı zamanda her iki tarafın da çıkarlarını gözetmek suretiyle en uygun parti büyüklüğünün ve çevrim süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Chung vd. (2005), parti büyüklüğünün belirli bir eşik değerin üstünde olması halinde ödemede gecikmeye izin veren, aksi halde ödemenin anında yapılmasına hükmeden bir model geliştirmişlerdir. Chung ve Huang (2003) sınırlı üretim kapasitesiyle optimal çevrim süresini ve Liao ve Chen (2003) ise müşteriler için optimal ödeme zamanını araştırmışlardır.

Ayrıca, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi sipariş miktarlarının artmasına yol açtığı için bu durum bozulabilir ürünler için bir risk oluşturmaktadır (Chang ve Dye, 2001: 345; Yang ve Wee, 2006: 210). Bir diğer risk faktörü ise tedarikçilerin vadeli ödeme seçeneği nedeniyle enflasyona maruz kalmalarıdır (Liao vd., 2000) ve bu nedenle şimdiki değer analizinin uygulanması gerekmektedir (Silver vd., 1998: 172).

vii. Farklı talep fonksiyonları: Birçok araştırmacı talebin sabit olduğu varsayımından hareket ederek stok modellerinin çeşitli yönlerini ele almaktadır. Ancak, gerçek hayatta talebi etkileyen birtakım unsurlar bulunmaktadır. Talebin dinamik bir yapıya kavuşmasına neden olan bu unsurlar aynı zamanda optimal sipariş miktarının belirlenmesine de doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir. Bu nedenle, farklı talep fonksiyonlarını dikkate alan bazı modeller geliştirilmiştir.

Günümüz rekabet piyasasında, bir malın satış fiyatı onun tercih edilmesindeki hayati faktörlerden biridir. Satış fiyatının değişkenlik göstermesi talebin devamlılığını ve tekrar siparişlerini olumsuz veya olumlu anlamda etkileyebilir. Bu durum, talep ile malın satış fiyatı arasında bir ilişkili olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla modellemelerde, talebin, malın

satış fiyatının bir fonksiyonu olarak belirtilmesi çalışmayı daha gerçekçi kılmaktadır (Rastogi vd., 2017: 12).

Ayrıca, satın alma fiyatı, bir müşterinin elde edeceği değer karşılığında vazgeçmek zorunda olduğu para miktarını temsil ettiği için fiyat, değer ve satın alma ilişkisi kapsamında (Öz, 2022: 60), tamamlayıcı ve ikame malların fiyatının talep üzerinde anlamlı bir etkisi olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bir malın satış fiyatının yanında tamamlayıcı ve ikame malların fiyatının da gözetilmesi optimal fiyatlandırma davranışlarında büyük kolaylık ve avantaj sağlamaktadır (Karaöz vd., 2010: 107).

Talebi etkileyen bir diğer unsur, perakende satış noktalarında sergilenen stok miktarıdır. Talebin, stok seviyesinin bir fonksiyonu olarak ele alındığı araştırmalarda, sergilenen stok miktarının artmasıyla talep oranının yükseleceği aksi durumda ise düşeceği savunulmaktadır. Genellikle tüketim malları türündeki stokların raflarda büyük yığınlar halinde teşhir edilmesinin müşterileri psikolojik olarak daha fazla satın almaya teşvik edeceği düşünülmektedir (Ray ve Chaudhuri, 1997: 172).

Klasik EOQ modelinde talebin sabit kabul edilmesinin arkasındaki nedenlerden biri, ürünün yaşam döngüsünde olgunluk aşamasında olmasıdır. Ancak, bir ürünün yaşam döngüsü zaman içerisinde farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, gerçek hayatta talep doğrusal veya üstel olarak değişkenlik gösterebilir. Bu tür durumlarda talep, zamanın bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Algburi vd., 2019: 24). Diğer bir ifadeyle talep zaman içerisinde değişmektedir. Talebin bilindiği ve zamanla değiştiği modeller deterministik dinamik stok modelleri olarak adlandırılmakta olup bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenmektedir.

Varsayımların gevşetilmesi ile ortaya çıkan modellerin çoğu zaman tek başına gerçek hayat problemlerinde kullanılamadığı ve bunun yerine bütünlüklü yaklaşımların tercih edildiği görülmektedir. Klasik modellerde yer alan varsayımlardan yalnızca bir tanesinin gevşetilmesi halinde bile problemlerin çözümünde yetersiz kalılabilmekte, bu nedenle ilave varsayımların gevşetilmesine veya yeni varsayımların dahil edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2.1.2. Deterministik Dinamik Stok Modelleri

Stok modellerinin belirlenmesinde temel faktör olan talebin bu bölüme kadar statik olduğu kabul edilmiş ve farklı talep fonksiyonları ile gevşetilebileceği gösterilmiştir. Projeye dayalı veya sabit hızla üretimin yapıldığı bir sistemde talebin statik olması beklenebilir. Ancak, talebin biliniyor olmasının yanında zamanla değişkenlik göstermesi uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bunun için deterministik dinamik stok modelleri tercih

edilmektedir. Talepte zamanla meydana gelen değişkenliğe dikkat çekmek için *dinamik* kavramı kullanılmaktadır.

Değişken talepli stok modellerinde talebin sürekli veya kesikli zamanlarda iletildiği iki farklı durum bulunmaktadır. Planlama ufku boyunca herhangi iki periyot arasındaki herhangi bir anda talebin gerçekleşmesi, sürekli zaman değişken talepli parti büyüklüğü modelleri olarak adlandırılmaktadır. Bu modellerde talep sürekli ve değişken olduğu için talep hızı da değişmektedir. Kesikli zaman değişken talepli modellerde ise talep, zaman periyodunun başında veya sonunda tek seferde ulaşmaktadır ve dolayısıyla farklı periyotlarda değişkenlik gösterse de o periyot boyunca sabit olarak kabul edilmektedir (Silver vd., 1998: 199).

Deterministik dinamik stok modellerinde dikkat edilmesi gereken iki unsur bulunmaktadır. Birincisi, her periyottaki talebin biliniyor olmasıdır ve önerilen karar sistemleri için talebin zamana göre sürekli veya kesikli olmasının bir önemi yoktur. İkincisi ise, uygun takviye miktarları belirlenirken bu işlemin kesikli zamanlarda mı (günlük, haftalık veya aylık gibi) yoksa sürekli zamanlarda mı (zamanın herhangi bir noktasında) yapılacağının seçilmesidir. Araştırmacılar tarafından kesikli zaman değişken talepli modellerin sürekli zamanlı modellere göre gerçeği daha iyi yansıttığı ve bu durumların daha yaygın olduğu belirtilmektedir (Silver vd., 1998: 199; Zipkin, 2000: 79).

Ayrıca uygulamalarda talebin yapısı itibarıyla sürekli mi yoksa kesikli mi değerler aldığına da dikkat edilmelidir. Çalışmanın konusu gereğince bundan sonra talebin kesikli, değişken ve tam sayılı olduğu kabul edilmektedir.

2.2.1.2.1. Değişken Talepli Modeller için Geliştirilen Yaklaşımlar

Talep miktarının bir periyottan diğerine değişkenlik gösterdiği ve en uygun parti büyüklüğünün arandığı deterministik modeller için temelde üç yaklaşım önerilmektedir. Birincisi, klasik ekonomik sipariş miktarı (EOQ) modelidir ve oldukça basit bir yaklaşımdır. Planlama dönemi boyunca ortalama talep miktarını kullanarak sabit sipariş miktarı belirleyen bu yaklaşım, talepteki değişkenliğin oldukça düşük olduğu (talebin sabit olduğu varsayımının önemli ölçüde korunduğu) durumlarda tercih edilmektedir (Silver vd., 1998: 200).

İkincisi, belirli varsayımlar kümesi altında matematiksel modeli geliştirilen bir durum için kesin en iyi çözümü arayan yaklaşımlardır. Sonlu planlama döneminde talep veya üretim maliyeti gibi parametrelerin bir periyottan diğerine değiştiği durumlarda EOQ modeli yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir (Grewal, 1999: 21). Bu nedenle, Wagner ve Whitin (1958) tarafından talebin değişken olduğu durumlarda toplam maliyeti minimize etmek için dinamik programlama mantığıyla hareket eden bir algoritma geliştirilmiştir.

Planlama döneminin (sistemdeki durum sayısının) artması, işlem karmaşıklığının da kuadratik olarak artmasına neden olmaktadır (Zipkin, 2000: 86). Hem zamanla değişen talebin hem de uzun planlama döneminin yarattığı işlem karmaşıklığını azaltmak için üçüncü bir yaklaşım olarak yaklaşık çözümü veren sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Değişken talepli bu tür modeller aynı zamanda dinamik ekonomik parti büyüklüğü (DEL) problemi olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca, dinamik ve sezgisel çözümlerin yanında doğrusal programlama, tam sayılı programlama ve bulanık mantık yaklaşımları da yer almaktadır (Hanafizadeh vd., 2019: 435). John ve Sunday (2020) popülasyon sayısının çok fazla olduğu bir kombinatoriyal optimizasyon probleminde bile dinamik programlama ile karma tam sayılı programlama çözümlerinin aynı optimal çözüme ulaştığını, aralarındaki tek farkın işlem karmaşıklığı nedeniyle zaman gereksinimi olduğunu göstermiştir. Ancak, önceden talep tahmininin yapıldığı bir deterministik DEL probleminde her ne kadar talep tahmin ediliyor olsa da öngörülen talep değerleriyle gerçek talep değerlerinin birbiriyle tam örtüşmeyebileceği, bu nedenle de mevcut verilere bulanıklık bileşeninin dahil edilebileceği dikkate alınmalıdır (Grewal, 1999: 34).

2.2.1.2.2. Dinamik Yaklaşımlar

Dinamik programlama yaklaşımı birçok optimizasyon probleminin çözümünde olduğu gibi stok problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır. Fazla sayıda değişken içeren büyük bir problemi daha az sayıda değişkene sahip alt problemlere ayrıştırarak optimum çözümü araştırır. Hesaplamalar yinelemeli bir şekilde yapıldığı için bir alt problemde elde edilen çıktı bir sonraki alt problemin girdisini oluşturur. Bunun için iki farklı yineleme işlemi yapılmaktadır. Hem geriye hem de ileriye doğru yineleme işlemleri aynı sonucu vermesine rağmen hesaplanması daha etkili olduğundan dolayı uygulamalarda genellikle geriye doğru yineleme işlemi tercih edilmektedir (Taha, 2000: 407; Winston, 2004: 961).

Bütün stok problemleri için tek bir dinamik programlama uygulamasının tasarlanması mümkün olmamaktadır. Ancak, problemin yapısı ve karmaşıklığı, dinamik programlamanın ne şekilde tasarlanabileceği hakkında bilgi sağlayabilir. Stok problemlerinde dinamik programlamanın tanımlanabilmesi için bazı değişkenlere, parametrelere ve indis kümelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Problem ne kadar karmaşık olursa olsun programlamanın çalışma prensibi değişkenlerin ve parametrelerin aldığı değerlere göre belirlenmektedir. Bu amaçla, ilk olarak basit yapıya sahip bir stok problemi için dinamik programlamanın temel çalışma prensibi açıklanmakta, devamında ise daha karmaşık yapılar için farklı bir yaklaşım sunan Wagner-Whitin (W-W) algoritması gösterilmektedir.

Birçok dinamik programlama problemi aşamalardan oluşmaktadır ve belirli bir aşama, sistemin o aşamadayken bulunabileceği tüm olası durumları içermektedir. Stok probleminde aşamalar zaman periyotlarını ve durumlar ise periyot başındaki stok miktarlarını temsil etmektedir. T periyotlu bir stok probleminde, tüm zaman periyotları boyunca toplam maliyeti minimize edecek şekilde uygun üretim planını araştıran bir dinamik programlama notasyonu aşağıdaki gibi verilmektedir (Winston, 2004: 989):

$$t = 0, 1, \dots, T \text{ ve}$$

K : Üretime hazırlık maliyeti

c : Üretim maliyeti

h : Bir periyot boyunca stok bulundurma maliyeti

d_t : t periyoduna ait talep miktarı

i_t : t periyodunun başındaki stok miktarı

x_t : t periyodundaki üretim miktarı

olmak üzere;

$$i_{t+1} = i_t + x_t - d_t$$

$$c(x_t) = \begin{cases} 0 & , x_t \leq 0 \\ K + cx & , x_t > 0 \end{cases}$$

$$f_t(i) = \min_{x_t} \{ (c(x_t) + h(i_t + x_t - d_t)) + f_{t+1}(i_{t+1}) \}$$

denklemleriyle en uygun üretim zamanlarına ve miktarlarına karar verilerek minimum maliyetli üretim ve stok planlaması yapılmaktadır. i_t , sistemin t periyodundaki olası bütün stok durumlarını göstermektedir ve t periyodundaki stok miktarı, bir sonraki periyodun sahip olacağı duruma da etki etmektedir. Bunun yanında, karar verilen üretim miktarını temsil eden x_t kontrol değişkeni, modele dışarıdan dahil edilen d_t ise egzojen değişkeni olarak i_{t+1} durumuna etki etmektedir (Zipkin, 2000: 80).

i_{max} , depo kapasite limiti olmak üzere, stok tükenmesine izin verilmediği ve kapasite sınırlamasının dikkate alındığı bir sistemde her periyot $0 \leq i_t \leq i_{max}$ aralığındaki değerler sayısınca duruma sahip olacak ve her durum için ayrı ayrı üretim miktarları hesaplanacaktır. Herhangi bir depolama sınırının bulunmadığı bir sistemde ise her periyot için olası tüm durumlar; $d_0 = 0$, $D(t) = \sum_{s=0}^t d_s$ ve $D[t, T] = D(T) - D(t - 1) = \sum_{s=0}^T d_s - \sum_{s=0}^{t-1} d_s$ olmak üzere, sırasıyla $0 \leq i_t \leq D[t, T]$ aralığındaki toplam talep miktarına göre belirlenecektir. Bu nedenle, depolama alanının oldukça yetersiz olduğu veya talep miktarları arasındaki farkın makul düzeyde küçük olduğu basit bir stok probleminde, bütün periyotlardaki olası tüm durumları belirlemek ve yinelemeli yapı sayesinde optimum karara ulaşmak mümkün olacaktır.

Talep miktarının yüksek olduğu bir stok probleminde ise bu şekildeki dinamik programlama yaklaşımı ile optimum üretim planlamasına karar vermek olağanüstü hesaplama zamanı gerektirir. Bu engeli ortadan kaldırmak ve işlem karmaşıklığını daha da azaltmak için W-W algoritması geliştirilmiştir (Winston, 2004: 1002). Bu algoritma, ardışık karar problemlerini çözmek için matematiksel prosedür olan dinamik programlamanın bir uygulamasıdır. Değişken talep altında planlama ufku boyunca hazırlık ve stok bulundurma maliyetlerinin toplamını minimize edecek şekilde optimum üretim politikasına karar vermektedir (Silver vd., 1998: 205).

W-W algoritmasının ortaya çıkmasında iki önerme etkili olmuştur. Birinci önermeye (önerme-1) göre, eğer herhangi bir t periyodunda optimum üretim planlaması çerçevesinde üretim yapılmaya karar verilirse, j periyot boyunca yapılacak olan üretimin tam olarak bu periyot veya periyotlardaki toplam talep miktarı kadar olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, $x_t > 0$ ise, $j = 0, 1, \dots, T - t$ olmak üzere t periyodundaki üretim miktarı $x_t = d_t + d_{t+1} + \dots + d_{t+j}$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. İkinci önermede (önerme-2) ise, t periyodunda üretim yapılmasının gerek koşulunun $i_{t-1} < d_t$ olduğu ifade edilmektedir (Winston, 2004: 1002).

Önerme-2 için bu koşul yeterli değildir. $i_{t+j-1} > 0$ için hiçbir zaman $i_{t+j-1} < d_{t+j}$ şartı sağlanamaz. Önerme-1, $i_{t+j-1} > d_{t+j}$ olmasını gerektirir, çünkü t periyodunda j periyotluk talebin karşılanacağı teminat altına alınmaktadır. Bu durumda $t + j + 1$ periyoduna kadar üretim yapılamaz, yapıldığında ise dönem başındaki stok miktarı $i_{t+j+1} = 0$ 'dır. Dolayısıyla önermelerden, üretimin ancak ve ancak dönem başı stok miktarının sıfır olması halinde yapılacağı sonucu çıkarılmaktadır (Winston, 2004: 1003).

Sonuç olarak, önerme-1 üretim miktarına ve önerme-2 ise zamanlamaya dikkat çekmektedir. Her iki önermenin geçerlilikleri olmayana ergi yöntemiyle ispatlanabilir. Algoritmanın geliştirilmesine katkı sunan bu önermeler sayesinde olası üretim miktarı kararları sınırlandırılmış ve böylece işlem karmaşıklığı büyük ölçüde giderilmiş olur. Buna göre geriye doğru yinelemeli W-W algoritması aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Winston, 2004: 1003):

$t = 1, 2, \dots, T$ için $f_t, i_t = 0$ durumunda $t, t + 1, \dots, T$ periyotları boyunca elde edilen en küçük toplam maliyet olmak üzere;

$$c_{ij} = K + c(d_t + d_{t+1} + \dots + d_{t+j}) + h[jd_{t+j} + (j - 1)d_{t+j-1} + \dots + d_{t+1}] \quad (9)$$

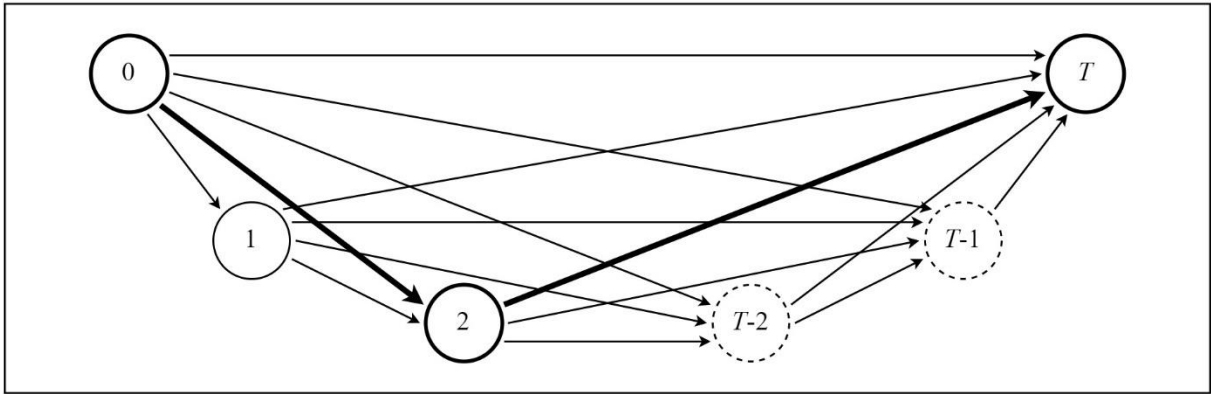
$$f_t = \min_{j=0,1,\dots,T-t} (c_{ij} + f_{t+j+1}) \quad (10)$$

Algoritma $f_{T+1} = 0$ ile başlamakta ve geriye doğru sırasıyla $f_T, f_{T-1}, f_{T-2}, \dots, f_1$ maliyetlerini kümülatif olarak hesaplamaktadır. Bu nedenle, f_T değeri bulunduğunda minimum maliyetli optimum üretim planlaması da elde edilmiş olur.

Denklem (9)'da $i_t = 0$ durumu söz konusu olduğundan j periyotluk talebi karşılayacak düzeyde bir sipariş verilmekte (veya üretim yapılmakta) ve bunun sonucunda da hazırlık maliyeti, üretim maliyeti ve eğer $j > 0$ ise stok bulundurma maliyeti oluşmaktadır. Bu maliyetlerin toplamı c_{ij} ile ifade edilmektedir. Denklem (10), her periyot başındaki stok miktarının sıfır olmasını da dikkate alarak, her bir t periyodundan itibaren ne kadar j periyotluk bir üretimin yapılması gerektiğine karar vermektedir.

Ayrıca, hangi üretim planlaması için olursa olsun sonuç olarak toplam talep miktarı kadar üretim yapılacağı için hesaplamalar sırasında üretim maliyetinin dışlanması ve son adımda toplam maliyete eklenmesi, hesaplamada önemli ölçüde kolaylık sağlayacaktır (Silver vd., 1998: 208).

DEL probleminin çözümündeki başlıca sorunlardan biri üretim zamanlarının doğru belirlenmesidir. DEL problemi ağ (şebeke) modeline dönüştürülerek farklı bir yaklaşımla çözülebilmektedir. Ağ tasarımı yapılan problemdeki amaç, başlangıç periyodundan bitiş periyoduna olan minimum maliyetli çevrim içermeyen (acyclic) yolun bulunmasıdır. T periyottan oluşan bir DEL problemi Şekil 2.8'deki gibi ağ tasarımı ile temsil edilmektedir.



Şekil 2.8 Dinamik Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi için Ağ Tasarımı

Kaynak: Zipkin, 2000: 84

DEL şebeke modeli, $t = 0, 1, \dots, T - 1, T$ olacak şekilde zaman periyotlarını belirten düğümlerden ve $t < u$ olmak üzere her bir (t, u) düğüm ikilisini birbirine bağlayan yönlü ayrıtlardan oluşmaktadır. Bir yol boyunca karşılaşılan (t, u) ikilisinde t üretim zamanına karşılık gelmektedir. Bu periyotta $u - 1$ periyoduna kadar olan talep veya talepleri karşılayacak düzeyde üretim yapılmaktadır. Şekil 2.8'de kalın olarak ifade edilen ayrıtlarla örnek bir yol verilmiştir. Buna göre 0 ve 2'nci periyotlarda üretim yapılması gerekmektedir ve

birinci üretim ile $d_0 + d_1$ talebinin, ikinci üretimle de geriye kalan $d_2 + \dots + d_{T-1} + d_T$ talebinin karşılanması beklenmektedir.

Üretimin yapıldığı periyotların başında stok miktarının sıfır olduğu ve (t, u) ikilisinde u periyodunda üretim yapılamayacağı için $d_T = 0$ alınması gerektiğine dikkat edilmelidir. Diğer bir ifadeyle, üretim T 'nin kendisi hariç olan periyotlarda yapılmakta ve bu durum talep değerlerinin bir basamak geriye yuvarlanmasına neden olmaktadır.

$k[t, u]$, (t, u) ayrıtı boyunca elde edilen toplam maliyet, $D[t, u] = D(u - 1) - D(t - 1)$ ve $t < s < u$ olmak üzere bir ayrıt üzerindeki toplam maliyet aşağıdaki gibi bulunmaktadır (Zipkin, 2000: 84):

$$x_t = D[t, u] = D(u - 1) - D(t - 1) = d_t + d_{t+1} + \dots + d_{u-1} \quad (11)$$

$$i_{t+1} = x_t - d_t = D[t + 1, u] = d_{t+1} + \dots + d_{u-1} \quad (12)$$

$$i_{s+1} = i_s - d_s = D[s + 1, u] = d_{s+1} + \dots + d_{u-1} \quad (13)$$

$$k[t, u] = K + cx_t + h \sum_{s=t+1}^u i_s = K + cD[t, u] + h \sum_{s=t+1}^u D[s, u] \quad (14)$$

Denklem (11), (12) ve (13) her bir ayrıtın üzerindeki toplam maliyeti hesaplayan algoritmanın adımları için gerekli olan fonksiyonları oluşturmakla birlikte sırasıyla; t periyodundaki üretim miktarını, t periyodunda üretim yapılması halinde bir sonraki $t + 1$ periyodunun başındaki stok miktarını ve üretimin olmadığı periyotlardaki stok hareketlerini göstermektedir. Denklem (14)'te ise herhangi bir ayrıtı ait toplam maliyet hesaplanmaktadır. Bütün ayrıtları sırayla dolaşarak her biri üzerindeki toplam maliyeti hesaplayan bir *pseudo-kod* aşağıdaki gibi kısaca ifade edilebilir.

```

for  $t = 0$  to  $T - 1$  do
  for  $u = t + 1$  to  $T$  do
     $k[t, u]$  değerini hesapla ve bir diziye aktar
  end for
end for

```

$k[t, u]$ değerleri diziye aktarıldıktan sonra yapılması gereken, en kısa yol probleminin çözüm mantığı ile hareket ederek optimal üretim planlaması için üretim zamanlarına karar vermektir. Bu periyotların bulunması aynı zamanda üretim anında ne kadarlık bir üretimin de yapılması gerektiğine yardımcı olacaktır. İleri yinelemeli algoritma için gereken notasyonlar ve algoritmaya ait *pseudo-kod* aşağıdaki gibi oluşturulabilir (Zipkin, 2000: 86):

V_t^* : t periyotluk problem için optimum maliyet

V_T^* : T periyotluk problem için optimum maliyet

$s^*(t)$: t periyotluk problemde son üretim zamanını gösteren dizi

$s < t$ için $s^*(t) = s$ olacak şekilde bir s periyodu var ise o zaman s periyotluk dönem ve t periyoduna kadar olan dönem için maliyetler ayrı olarak hesaplanmalıdır. Maliyet toplamaları Denklem (15)'teki gibi elde edilmektedir.

$$V^*(s, t) = V_s^* + k[s, t] \quad (15)$$

```

 $V_0^* = 0$ 
for  $t = 1$  to  $T$  do
  for  $s = 0$  to  $t$  do
     $V^*(s, t) = V_s^* + k[s, t]$ 
     $V_t^* = \min_s V^*(s, t)$ 
     $s^*(t) = \operatorname{argmax}_s \{ \min V^*(s, t) \}$ 
  end for
end for

```

En küçük $V^*(s, t)$ değerini veren üretim periyodunun indisini çekmek için en büyük s adımı her defasında bir diziye aktarılmaktadır. Algoritma sonlandığında optimum üretim periyotları T 'den geriye doğru (en sondan bir öncekine doğru), $s^*(\dots s^*(s^*(T)))$ ile takip edilerek bulunmaktadır. Bu algoritmanın dışında Gallo ve Pallottino (1986) tarafından açıklanan başka bir en kısa yol algoritması da kullanılabilir.

2.2.1.2.3. Sezgisel Yaklaşımlar

Wagner-Whitin algoritması, belirli bir planlama dönemi boyunca sipariş zamanlarına ve miktarlarına karar vermekte ve dahası sipariş ve stok tutma maliyetleri toplamının minimize edilmesini güvenceye almaktadır. Buna rağmen, algoritmanın sahip olduğu bazı özellikler nedeniyle sınırlı olarak kullanıldığı durumlar da söz konusu olabilmektedir. Engel niteliğindeki bu özellikler arasında; uygulayıcılar için diğer yöntemlere göre daha karmaşık bir yapıya sahip olması ve planlama dönemi dışındaki güncel talep bilgilerini kullanarak kendini güncelleyememesi yer almaktadır (Silver vd., 1998: 209).

Sezgisel modeller genel olarak, dinamik modeller üzerindeki karmaşık yapıyı optimal çözümden ödün vererek daha basit hale getirmektedir. Sipariş ve üretim planlaması için geliştirilen ve yakın optimal çözümü veren yöntemlerden biri Silver-Meal (S-M) sezgisel modelidir. W-W algoritmasından daha az işlem gerektiren model, periyot başına en düşük

ortalama maliyeti araştırmaktadır (Winston, 2004: 1005). S-M sezgisel modeli, birim değişken maliyetinin (üretim veya satın alma) sabit olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Birim değişken maliyetinin sabit kabul edilmesi ve hesaplamalar sırasında ihmal edilmesi, modelin sadece sipariş ve elde bulundurma maliyetlerini dengeleyen çözüme odaklanmasını kolaylaştırmaktadır.

Yukarıdaki bilgiler çerçevesinde yine de Silver-Meal sezgisel modelinin her zaman optimale en yakın sonuçlar verdiği söylenebilir mi? Bunun için öncelikle modelin çalışma prensibinin analiz edilmesi gerekmektedir. Model rekürsif bir yapıya sahiptir ve her defasında bulunduğu periyottan ileriye doğru ne kadar periyotluk bir sipariş verilmesi gerektiğine karar vermektedir. Gerekli notasyonlar ve modelin adımları aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Taha, 2000: 463).

$t = 1, 2, \dots, T$ ve $TC(i, t)$

$TC(i, t)$: i . periyotta $i \leq t$ olmak üzere $i, i + 1, \dots, t$ periyotları boyunca meydana gelen toplam maliyet

$AC(i, t)$: $i \leq t$ olmak üzere $i, i + 1, \dots, t$ periyotları boyunca periyot başına ortalama maliyet

t^* : Yerel minimum noktası

K_t : t . periyottaki sipariş (veya hazırlık) maliyeti

h_t : t . periyottaki elde bulundurma maliyeti

$HC(i, t)$: $i \leq t$ olmak üzere $i, i + 1, \dots, t$ periyotları boyunca toplam elde bulundurma maliyeti

d_t : t . periyottaki talep miktarı

olmak üzere;

$$HC(i, t) = h_i d_{i+1} + (h_i + h_{i+1}) d_{i+2} + \dots + (h_i + h_{i+1} + \dots + h_{t-1}) d_t \quad (16)$$

$$TC(i, t) = K_t + HC(i, t)$$

$$= \begin{cases} K_i & , i = t \\ K_i + h_i d_{i+1} + (h_i + h_{i+1}) d_{i+2} + \dots + (h_i + h_{i+1} + \dots + h_{t-1}) d_t & , i < t \end{cases} \quad (17)$$

$$TC(i, t) = TC(i, t - 1) + (h_i + h_{i+1} + \dots + h_{t-1}) d_t, \quad (t = i + 1, i + 2, \dots, T) \quad (18)$$

$$AC(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1} \quad (19)$$

olarak tanımlanmaktadır. S-M modeli, her bir sipariş çevrim süresi içerisinde periyot başına ortalama maliyeti en düşük yapacak politikayı belirlemeye çalışmaktadır. Denklem (19)'da gösterilen ortalama maliyetin ortaya çıkarılabilmesi için toplam maliyet ve onu oluşturan bileşenlerin Denklem (16) ve (17)'deki gibi hesaplanması gerekmektedir. Toplam maliyet

fonksiyonu hem sipariş hem de stok bulundurma maliyetlerini eşanlı olarak ele almakta ve dolayısıyla Denklem (18)'deki gibi yinelemeli bir şekilde en uygun zamanlamayı belirlemeye çalışmaktadır.

Burada temel olarak iki farklı senaryo ortaya çıkmaktadır. Bu senaryolar arasında, tek seferde tüm periyotlardaki talebin karşılanması ya da en az bir kez stok yenileme işleminin yapılması bulunmaktadır. En az bir kez yenileme (sipariş) işleminin gerçekleştirilmesi, yerel minimum noktasının var olup olmamasına göre değişmektedir. Optimale yakın sipariş veya üretim planlamasını veren sezgisel model için aşağıdaki gibi bir *pseudo-kod* yazılabilir.

```

i = 1
while i ≤ T do
  ∃ t* ∈ T: AC(i, t* - 1) ≥ AC(i, t*) ∧ AC(i, t* + 1) ≥ AC(i, t*)
  şartını gerçekleyen bir yerel minimum noktası belirle
  (i, i + 1, ..., t*) periyotları için (di, di+1, ..., dt*) taleplerini
  karşılayacak şekilde sipariş ver
  i = t* + 1
end while

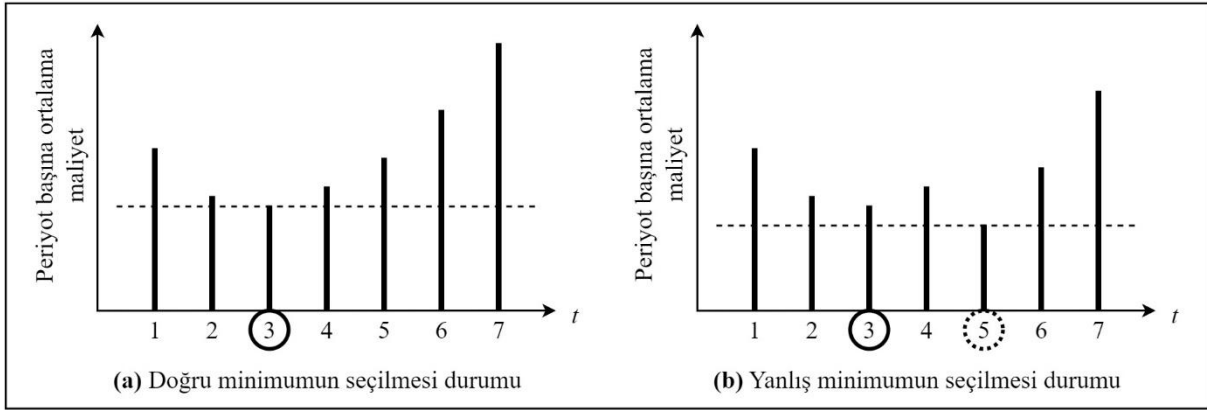
```

Denklem (17)'de ifade edildiği gibi toplam maliyet; sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti olmak üzere iki farklı unsurdan meydana gelmektedir ve periyot sayısının artması ortalama maliyetin hangi yönde hareket edeceğine karar vermektedir. $\frac{1}{t}$, t 'nin azalan bir konveks fonksiyonu olduğundan $\frac{K}{t}$ daima azalmaktayken, $\frac{HC}{t}$ çoğu durumda t 'nin artan bir fonksiyonu olmaya yatkındır (Winston, 2004: 1005). Bu nedenle, periyot başına ortalama maliyet değeri periyot sayısı arttıkça hem artma hem de azalma durumları sergileyebilir.

S-M modeli, yukarıdaki algorithmadan da görüleceği üzere, yerel minimum noktasını belirlerken azalan bir trendi takip etmekte ve son bulduğu değere eşit veya ondan daha büyük bir ortalama değer ile karşılaştığında içinde bulunduğu periyodu yerel minimum noktası olarak tayin etmektedir. Eğer azalan bir trend yakalayamazsa mevcut konumunu yerel minimum noktası olarak belirlemektedir.

Yerel minimum noktası, sipariş veya üretim planlamasında aktif kararların alınmasına teşvik eden periyotlar olarak adlandırılabilir. Çünkü, belirli bir noktadan sonra periyot sayısını bir adım daha ileriye taşımak S-M modeline göre maliyeti artıran bir unsur olarak görülmektedir. Ancak model, maliyeti minimize etme amacına aksi yönde oluşan bir tepkiye anında karşılık verme refleksine sahip olduğu için bazı durumlarda mutlak minimum noktasının kaçırılmasına ve yanlış minimum noktasının seçilmesine neden olmaktadır.

Bu durum Şekil 2.9'daki gibi bir örnekle açıklanabilir. (a) durumundaki üçüncü periyot, modelin karşısına çıkan ilk değişim noktasıdır ve yerel minimum noktası doğru bir şekilde belirlenmiştir. (b) durumunda ise, beşinci periyottaki değişim öngörülemediği için daha düşük ortalama maliyeti veren ve beşinci periyoda karşılık gelen yerel minimum noktası seçilememiştir. Ortaya çıkan bu olumsuz performansa maliyet unsurlarındaki değişkenliğin neden olabileceği ifade edilmektedir (Taha, 2000: 465).



Şekil 2.9 Silver-Meal Yöntemine Göre Minimum Maliyetli Periyodun Seçilmesi

Kaynak: Silver vd., 1998: 212

Silver-Meal modeli periyot başına ortalama minimum maliyeti araştırdığı için literatürde En Düşük Periyot Maliyeti (LPC) yöntemi olarak da ifade edilmektedir. S-M modelinin dışında optimal çözüme yakın değerler sunan farklı sezgisel modeller de bulunmaktadır. En Düşük Birim Maliyet (LUC) ve Parça Periyot Dengeleme (PPB) en iyi bilinen yöntemler arasındadır. PPB yöntemi, En Düşük Toplam Maliyet (LTC) olarak da bilinmektedir (Silver vd., 1998: 210; Teunter vd., 2006: 4387).

Parti büyüklüğü problemleri için geliştirilen sezgiseller, optimal olması gerekmeyen uygun bir çözüm için pratik bir yaklaşım sunmaktadır. S-M modeli periyot başına ortalama en düşük maliyeti araştırırken, LUC yöntemi ürün başına düşen en düşük maliyeti elde etmeye çalışmaktadır. PPB ise, sipariş ve elde bulundurma maliyetlerini dengelemeye çalışan bir yöntemdir. Kümülatif olarak hesaplanan stok bulundurma maliyetinin, eşik değeri olarak kabul ettiği sipariş maliyetini aşp aşmadığına bakarak sipariş politikasına karar vermektedir (Shenoy ve Rosas, 2018: 92).

Her yaklaşım mümkün olduğu kadar optimal çözüme yakın değerler elde etmeyi amaçlıyor olsa da, talep ve maliyet bileşenlerindeki değişimin gücü, sezgisel yöntemlerin birbirlerine karşı üstünlüklerinin net bir şekilde ortaya çıkarılmasına izin vermemektedir. Dolayısıyla, verinin yapısı yöntemlerin performansını etkilemekte ve bu durumda genellikle en iyi sonucu veren yöntem araştırılmaktadır.

Sezgisel yaklaşımın benimsenmesindeki en belirleyici faktör, talep yapısının zamanla hangi ölçüde değiştiğidir. Bu durum değişkenlik katsayısı (CV) ile ölçülmektedir ve talep önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğinde sezgisel yaklaşımların tercih edilmesi önerilmektedir (Silver vd., 1998: 217). Diğer taraftan, Silver-Meal modeli çoğunluklu sezgisel modeller içerisinde en iyi sonucu vermesine rağmen, talep miktarının bir periyottan diğerine hızla düştüğü veya uzun periyotlar boyunca hiçbir talebin meydana gelmediği durumlarda önemli maliyet cezalarına yol açmaktadır (Silver vd., 1998: 218). Buna rağmen, dinamik bir yaklaşım olan ve optimal çözümü veren W-W algoritmasından yalnızca %1'den daha az maliyet artışına sebep olduğu yoğun testlerde görülmüştür (Winston, 2004: 1006).

2.2.2. Stokastik Stok Modelleri

Tedarik zincirleri içerisinde yer alan farklı sanayilerin pozisyonlarını koruyabilmeleri ve rekabet edebilmeleri için talebin biliniyor olması oldukça önemlidir. Ancak, gerçek hayatta talebin kesin olarak bilinmesi çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bu tür durumlarda ya talebin öngörü teknikleriyle gelecek dönemlerde alacağı değerler tahmin edilmeli ya da talep belirli bir olasılık dağılımı ile temsil edilmelidir.

Talep ve stoklar üzerindeki belirsizlikler, maliyet analizlerinde ve tedarikçi-müşteri ilişkilerinin üst düzeyde sürdürülmesinde problem oluşturmaktadır. Talepteki bu belirsizliği dikkate almak için stokastik stok modelleri geliştirilmiştir. Stokastik modellerde talep bir olasılık dağılımı ile açıklanmakta ve talebin geçmiş dönemlerde aldığı değerlere bakılarak hangi dağılıma uygun olduğu belirlenmektedir (Sulak, 2008: 27).

Talep deterministik olduğunda; “*Stoklar hangi sıklıkla gözden geçirilmeli?*”, “*Sipariş ne zaman verilmeli?*” ve “*Ne kadar büyüklükte bir sipariş verilmeli?*” sorularına karşı çözüm üretmek daha kolayken, olasılıklı talep altında daha karmaşık bir durumun yönetilmesi ve farklı araçların çözüme dahil edilmesi gerekmektedir. Stokastik bir modelde stok pozisyonu¹ ne kadar az sıklıkla kontrol edilirse, talepteki öngörülemeyen değişimlerde o kadar fazla işçilik ve zaman kayıpları ortaya çıkar. Sipariş zamanı ve miktarını ise stok maliyetleriyle müşteri hizmet düzeyi arasındaki ödünleşme politikaları belirler (Silver vd., 1998: 235).

¹ Talebin deterministik veya olasılıklı yapıda olmasından bağımsız olarak bazı stok kavramlarının üzerinde dikkatle durulmalıdır. Bu kavramlar; (i) fiziksel olarak elde hazır bulunan stok, (ii) mevcut stok ve bekletilen stok arasındaki farka karşılık gelen net stok, (iii) siparişi verilen ancak henüz teslim edilmeyen stok ve (iv) yalnızca belirli amaçlar için kullanılmak üzere ayrılan stok şeklinde nitelendirilmektedir. Tüm bu kavramlara göre stok pozisyonu belirlenmektedir ve stok pozisyonu gerçeğe ne kadar yakın olarak belirlenirse, sipariş ve stok politikaları da o kadar birbirleriyle tutarlı olacaktır. Stok pozisyonunun nasıl hesaplandığı ile ilgili bilgi için bkz. Silver vd. (1998: 233).

Stokastik modellemede yukarıdaki üç temel soruya cevap bulmak ve sistematik bir stok politikası geliştirmek için yöneticilerin; stok kalemlerini önem derecelerine göre nasıl sınıflandıracaklarına, stok durumunun sürekli mi yoksa periyodik olarak mı gözden geçirileceğine, görüntüleme durumuna göre hangi stok politikasını benimseyeceklerine ve belirli maliyetlere katlanmak pahasına müşteri hizmet düzeyini hangi eşik değerin üzerine taşıyacaklarına karar vermeleri gerekmektedir (Silver vd., 1998: 235).

2.2.2.1. Stokların Farklı Kriterlere Göre Sınıflandırılması

Çok fazla SKU²'ya² sahip işletmeler belirli kriterlerle ürünlerini sınıflandırdıklarında, öncelikli stok politikaları geliştirebilir, finansal, fiziksel ve beşerî sermayelerinde tasarruf sağlayarak işletme verimliliğini artırabilirler. Orijininde, XIX.yy. İtalya'sındaki gelir dağılımı eşitsizliğine dayanan ve sonraları *Pareto ilkesi* olarak kayda geçen kavram, az olanın çok olandan daha fazla öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu durumun düşünce ve ekonomi alanında olduğu gibi sermaye ve yatırım araçlarında da geçerli olduğu akademik çalışmalarla da kanıtlanmıştır (Jacobs ve Chase, 2018: 538; Xiao vd., 2011: 9382).

Xiao vd. (2011)'e göre farklı kriterleri baz alarak stok kalemlerini ağırlıklandırılan ve sınıflandıran çok sayıda yöntem bulunmaktadır. ABC yöntemi bu yöntemlerden biridir ve stok yönetimleri tarafından belirleyici bir faktör niteliğindeki yıllık satış hacimlerini kullanarak ürünleri A, B ve C olmak üzere üç sınıfa ayırır. A sınıfındaki ürünler çeşit sayısına göre toplam çeşit sayısının %15-20'sini, B'dekiler %30-40'ını ve C'dekiler %40-50'sini oluşturur. Yıllık satış hacmi değerlerine göre incelendiğinde ise her bir sınıfın yıllık satış hacmi, toplam stok değerlerinin sırasıyla %75-80, %10-15 ve %5-10'unu oluşturur. Pareto yasasının izlerini taşıyan ABC analizinde, A sınıfı ürünlerin miktarca daha az olmakla birlikte değerce daha fazla hacme sahip olduğu görülmektedir (Çetin ve Böker, 2020: 183).

İşletmeler, daha fazla öneme sahip ürün gruplarını daha sık kontrol etme, daha az öneme sahip ürün gruplarını ise stoksuzluk ceza maliyetine yüksek tolerans gösterebilmeleri nedeniyle daha seyrek görüntüleme eğilimine sahiptir (Jacobs ve Chase, 2018: 538). Stok planlamasında tercih edilen başka bir sınıflandırma yöntemi de XYZ yöntemidir. Satış veya talep miktarlarının standart sapması ve ortalaması, tüketim oranlarındaki değişimi ölçmek için kullanılmaktadır. Bu istatistikler yardımıyla ürünlerdeki değişim katsayıları elde edilmektedir.

² SKU (Stock Keeping Unit), "stok tutma birimi" veya "stok kalemi" olarak adlandırılmaktadır ve ürünlerin tasarım aşamasından son kullanıcıya teslim edilmeye kadar olan tüm süreçlerde karışıklığı önlemek ve standardizasyonu sağlamak için her bir farklı ürüne bir tür kimlik numarası verilerek kullanılmaktadır (Krajewski vd., 2013: 486). Hammadde, yarı mamul ve mamul ürünlerin her biri, bir SKU koduna sahiptir. Bu tez çalışmasının uygulama bölümünde ifade edilen SKU terimi, mamul ürünlerin yerini tutmaktadır.

Buna göre X sınıfı ürünler değişkenliğin az, Z sınıfı ürünler ise fazla olduğu ürünler olarak adlandırılmaktadır (Dhoka ve Choudary, 2013: 24; Scholz-Reiter vd., 2012: 446).

Yöntemler tek tek kullanılabildiği gibi, hibrit yaklaşımlarla da (örneğin, ABC-XYZ yöntemi) ürün bazında farklı stratejik planlamalar geliştirmek için de kullanılabilir. Sonuç olarak, stok sınıflandırma yöntemlerinin genel olarak amacı stokları kesin çizgilerle ayırmak olmasa da bazı temel istatistikleri kullanarak gözle görülemeyen stratejik ve operasyonel ayrıntıları ortaya çıkarmaktır.

2.2.2.2. Yaygın Stok Görüntüleme ve Yenileme Sistemleri

Ürünleri belirli karar kriterlerine göre sınıflandıran yöneticiler için bir sonraki adım hangi kontrol sisteminin uygulanması gerektiğine karar vermektir. Stok seviyeleri sürekli veya periyodik olarak kontrol edilmektedir. Sürekli kontrol sisteminde ardışık iki görüntüleme zamanı arasındaki stok düzeyi genellikle bilgisayar destekli sistemler yardımıyla sürekli güncel tutulmakta ve anlık olarak takip edilebilmektedir. Periyodik kontrol sisteminde ise, ne şekilde kontrol edilirse edilsin, ardışık görüntüleme zamanları arasındaki stok bilgilerinde belirsizlik hakimdir ve müşteri hizmet düzeyinin korunması daha fazla stok bulundurmakla mümkün olmaktadır (Silver vd., 1998: 236). Literatürde ve uygulamada, görüntüleme sistemine göre kullanılan en yaygın stok yenileme sistemleri Tablo 2.1'deki gibi gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Yaygın Stok Görüntüleme ve Yenileme Sistemleri

Periyodik Görüntüleme Sistemleri	Sürekli Görüntüleme Sistemleri
• (r,s,Q): r birim zaman aralıklarla stok pozisyonu kontrol edilir, stok pozisyonu s değerine ulaştığında veya bu değerin altına düştüğünde Q birim kadar sipariş verilir.	• (s,Q): Stok pozisyonu s değerine ulaştığında veya bu değerin altına düştüğünde Q birim kadar sipariş verilir.
• (r,S): Her r birim zamanda, mevcut stok seviyesi ne olursa olsun, stok pozisyonunu S düzeyine çıkaracak miktarda sipariş verilir.	• (s,S): Stok pozisyonu s değerine ulaştığında veya bu değerin altına düştüğünde stok pozisyonunu S değerine çıkaracak miktarda sipariş verilir.
• (r,s,S): (s,S) ve (r,S) sistemlerinin birleşimidir. Stok pozisyonu r zaman aralıklarıyla kontrol edilir, s düzeyine ulaştığında veya bu seviyenin altına düştüğünde stok pozisyonu S düzeyine çıkarılır.	
r: Gözden geçirme aralığı (sürekli gözden geçirme sisteminde r değeri 0'a eşittir) s: Yeniden sipariş noktası Q: Sabit sipariş miktarı S: Ulaşılmak istenen stok pozisyonu değeri	

Kaynak: Bastien, 2018: 4

İşletmenin fiziksel kısıtlarının yanında ürünlere ait stok çevrim süresi, raf ömrü ve önem derecesi gibi bazı özellikler stokların görüntülenme şeklinde etkili olduğundan tam anlamıyla bir yöntemin diğerine göre üstün olduğunu ifade etmek doğru değildir. İşletmeye ve

envanterindeki ürünlerin niteliğine göre tercih yapılmalıdır. Hem sürekli hem de periyodik gözden geçirme sistemleri için farklı stok yenileme yaklaşımları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar, deterministik modellerde olduğu gibi uygun sipariş zamanı ve miktarı ile ilgili çözüm sunmaktadır. Tüm bu kararlar deterministik modellerde olduğu gibi farklı koşullar altında ve işletmelerin ihtiyaçları doğrultusunda genişletilebilir. Ancak, stokastik modeller çalışma kapsamında yer almadığı için paylaşılan bilgiler yeterli görülmektedir.

2.3. Talep Tahmini

Talep ve satış miktarı; çoğu durumda gelecekteki değerleri kesin olarak bilinmeyen, ancak belirli tahmin araçlarıyla öngörülebilir değişkenlerdir. Bir tedarik zincirindeki üretici, distribütör, toptancı ve perakendeci gibi mal ve hizmet sunan ticari firmaların gelecek dönem planlamalarında ve kârlılıklarını sürdürmelerinde tahmin fonksiyonunun son derece kritik bir önemi bulunmaktadır.

Örneğin bir üretici, talebin yüksek miktarda öngörülmesi durumunda fazladan üretim yapacak ve bunun sonucunda ekstra stok maliyetleri oluşacaktır. Talebin eksik öngörülmesi halinde ise siparişler zamanında karşılanamayacak ve olası satış kayıpları meydana gelecektir. Tahmin değerleriyle gerçekleşen değerler arasındaki büyük farklar, müşteri hizmet düzeyine ve tedarik zinciri verimliliğine zarar vermektedir. Ancak, kaçınılması imkânsız olan bu hata oranları ne kadar düşük tutulursa, arz ve talep arasındaki dengenin korunması da o kadar kolay olacaktır (Kochak ve Sharma, 2015: 96).

Kişisel veya organizasyonel düzeyde yapılan tahminler, tamamen nesnel çıkarımlara dayanan kalitatif yöntemlerle (uzman görüşleri, Delphi tekniği, pazar analizi, tarihi analog, vb.) veya belirli bir teorik alt yapıya sahip olan ve objektif sonuçlar veren kantitatif yöntemler aracılığıyla yapılmaktadır.

Kantitatif yöntemler matematiksel ve istatistiksel hesaplamalara dayanan bir dizi yöntemden oluşmaktadır. Bu yöntemler genel olarak; nedensel yöntemler (regresyon analizi), ekstrapolasyon yöntemleri (zaman serileri analizi, Box-Jenkins yaklaşımı, hareketli ortalamalar, üstel düzleştirme, vb.), modern yaklaşım teknikleri (makine öğrenmesi, veri madenciliği ve yapay zekâ uygulamalarına dayanan yöntemler, sezgisel algoritmalar, vb.) ve bu yöntemlerin kombinasyonlarından oluşan hibrit yöntemler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Hammad vd., 2020: 53; Makridakis vd., 1982: 111).

Tahmin yapmak için geliştirilen bu yöntemler tek bir ürün için yapılabileceği gibi belirli bir ürün grubu için de gerçekleştirilebilir. Ayrıca, giderek artan ürün yelpazesi, ürün yaşam döngüsü ve farklı gerekçelerle uygulanan promosyon veya kampanya dönemleri gibi

talebi etkileyen faktörler de dikkate alındığında herhangi bir yöntemin kesin olarak en iyi yaklaşım olduğunu iddia etmek doğru değildir (Krajewski vd., 2013: 486). Aksine, hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın, yapılan bir tahminin sonucunda belirli bir hata oranı ile karşılaşılması kaçınılmazdır. Önemli olan, yaklaşımlar arasındaki ayrıntıların fark edilerek veri yapısına en uygun ve minimum hata oranını yakalayan yöntemlerin tespit edilmesidir (Ali vd., 2009: 12340; Makridakis vd., 1982: 112; Silver vd., 1998: 74).

Bir ürünün geçmişteki talep yapısı, o ürüne ait gerçek ve tahmin edilen talep değerleri arasındaki hata oranına önemli derecede etki etmektedir. Diğer bir ifadeyle, seçilen bir tahmin yönteminin doğruluğu, talebin geçmişte sergilediği özelliklere bağlıdır. Bu nedenle, Syntetos vd. (2005) tarafından alternatif talep yapılarına göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Belirlenen iki parametreye göre talep; düzgün, değişken, aralıklı ve düzensiz olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılmıştır³. Talebin ait olduğu sınıfa göre tahmin yöntemlerine ve stok kontrol modellerine karar verilmesi önerilmektedir (Kostenko ve Hyndman, 2006: 1256).

Bu çalışma kapsamında uygun olan tahmin yöntemleri ve tahmin performanslarının ölçümünde kullanılan istatistikler aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

2.3.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bağımlı bir değişkendeki değişimin onu etkileyen bir veya daha fazla bağımsız değişken tarafından ne kadar açıklandığını incelemek için geliştirilen ve bu değişkenler arasındaki nedensel ilişkiyi ölçmeye yarayan bir analiz yöntemidir. Regresyon analizinin temel çalışma prensibi, kurulan bir regresyon modelinde anakütlenin merak edilen ve bilinmeyen parametrelerini, o anakütleyi temsil kabiliyeti yüksek olan ve tesadüfi (rassal) örnekleme yöntemiyle seçilen bir örneklem yardımıyla tahmin ederek değişkenler arasındaki değişim miktarını yakalamaktır (Gujarati ve Porter, 2009: 34; Güriş ve Çağlayan, 2013: 77).

Ekonomi ve davranış bilimleri gibi pek çok alanda, bağımlı değişkenin tamamını modele eklenen bağımsız değişkenler yardımıyla açıklamak çok güçtür. Dolayısıyla, geriye kalan ve tam olarak açıklanamayan kısmın modelde ne şekilde yer alacağı ve değişkenler arasında nasıl bir fonksiyonel ilişkinin olacağı yönündeki sorular regresyon modelinin oluşturulmasına öncülük etmektedir (Wooldridge, 2013: 22).

³ p , ardışık iki talep arasındaki zaman periyotlarının ortalaması ve CV^2 , talep değişkenlik katsayısının karesi olmak üzere;

- (i) $p \leq 1,32$ ve $CV^2 \leq 0,49$ ise düzgün (smooth) talep,
- (ii) $p \leq 1,32$ ve $CV^2 > 0,49$ ise değişken (erratic) talep,
- (iii) $p > 1,32$ ve $CV^2 \leq 0,49$ ise aralıklı (intermittent) talep,
- (iv) $p > 1,32$ ve $CV^2 > 0,49$ ise düzensiz (lumpy) talep olarak sınıflandırılmaktadır.

Regresyon modelleri, modeldeki bağımsız değişken sayısına ve bağımsız değişkenin (veya parametrenin) doğrusal olup olmamasına göre farklı türlere ayrılmaktadır. Bu bölümde hem değişken hem de parametrelerin doğrusal olduğu modeller gösterilmektedir. Bir bağımlı değişkene karşılık açıklayıcı değişken sayısı da bir olduğunda model basit doğrusal regresyon modeli, birden fazla olduğunda ise çoklu regresyon modeli olarak adlandırılmaktadır. Buna göre basit doğrusal regresyon denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır (Gujarati ve Porter, 2009: 40):

$$\begin{aligned} Y_i &= E(Y|X_i) + u_i \\ &= \beta_0 + \beta_1 X_i + u_i \end{aligned} \quad (20)$$

Denklem (20), bir anakütle regresyon denklemini ifade etmektedir. Bunun yanında deterministik ve stokastik bileşenlerden oluşmaktadır. $\beta_0 + \beta_1 X_i$ deterministik bileşen olup anakütle regresyon doğrusunu temsil ederken, u_i hata terimi ise modelin stokastik bileşenini oluşturarak modele dahil edilmeyen veya gözlemlenemeyen diğer bütün faktörlerin yerini tutmaktadır. Çalışmalarda genellikle β_0 sabit (kesişim) katsayısının yerine β_1 eğim katsayısı yorumlanmaktadır. u hata terimi içinde bir araya getirilen diğer bütün faktörler sabit tutulduğunda, başka bir ifadeyle, u 'daki değişim sıfıra eşit olduğunda ($\Delta u = 0$), o zaman X , Y üzerinde doğrusal bir etkiye sahip olmaktadır ve aralarındaki bu doğrusal ilişki aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Wooldridge, 2013: 23):

$$\Delta Y = \beta_1 \Delta X, \quad \Delta u = 0$$

Anakütle regresyon doğrusundaki parametreler bilinmediği için örneklem yardımıyla tahmin edilmesi gerekmektedir, ancak her bir örneklemde elde edilen tahmin değerleri farklı sonuçlar vermektedir. Denklem (21) ve (22)'de anakütleyi temsil eden bir örnekleme ait birbirine denk iki regresyon fonksiyonu yer almaktadır (Gujarati ve Porter, 2009: 44).

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \quad (21)$$

$$Y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i + \hat{u}_i \quad (22)$$

Denklem (20)'de belirtilen anakütle regresyon modeline ait bilinmeyen parametreler, örneklem regresyon fonksiyonu üzerinden tahmin edilmektedir. $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ istatistikleri, bilinmeyen bu parametrelerin tahmincileridir, bu nedenle diğer tahmincilerde olduğu gibi şapka ile gösterilirler ve aldıkları değerler de tahmin olarak adlandırılır.

$n < k$ olmak üzere n elemanlı bir anakütleden k elemanlı çok sayıda rassal örneklem çekilebilir ve bunun sonucunda anakütlenin parametre değeriyle tahmincinin değeri arasında bir hata meydana gelebilir (Güriş ve Çağlayan, 2013: 24). Temelde, hata kareleri toplamının minimizasyonuna dayanan ve yapılan çalışmalarla en iyi doğrusal sapmasız tahmincileri

(BLUE) ürettiği kanıtlanan en küçük kareler yöntemi (OLS), anakütle parametrelerini mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin etmek için geliştirilen bir yöntemdir⁴ (Gujarati ve Porter, 2009: 72). Bu yöntem sayesinde örneklem regresyon doğrusu bütün gözlem değerlerine en yakın olacak şekilde belirlenerek hatalar minimize edilmiş olur.

Farklı örneklember beraberinde farklı tahmin değerleri taşımaktadır ve bu durum tahmincilerin olasılık dağılımına sahip birer rassal değişken olduklarına işaret etmektedir. Bu nedenle, tahmincilerin güvenilirlik (hassasiyet) ölçümü için standart hatalar hesaplanır (Gujarati ve Porter, 2009: 69). Ayrıca, tahmin edilen regresyon doğrusunun verilerle ne kadar uyumlu olduğu (modelin ne kadarının açıklanabildiği) bilgisi, uyum iyiliği testinden elde edilen belirlilik katsayısı ile ölçülmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 73).

Son olarak, istatistiksel çıkarım teorisine göre bir tahmin yapıldıktan sonra hipotez testinin de uygulanması gerekmektedir ve birçok parametrik testin yapılabilmesi normallik varsayımının sağlanmasına bağlıdır. Merkezi limit teoremine göre, anakütlenin dağılımı ne olursa olsun örneklem genişliği n yeterince büyükse ($n \geq 30$) tahmincilerin de normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir (Mert, 2016: 4). Devamında ise, nadir olay kuralı gereğince testlerdeki varsayımların doğru olup olmadığı belirlenmektedir.

2.3.2. Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri analizinde, regresyon analizinden farklı olarak bağımsız değişkenler yerine bağımlı değişkenin zamana göre endekslenen ardışık geçmiş bilgileri kullanılmaktadır. Bu durum, bağımlı değişkenin geçmişteki davranışlarının gelecekte de devam edeceği düşüncesinden ileri gelmektedir ve gerçekleşen verilerle bu verilerin türetildiği stokastik sürece ait çıkarımlar yapılmaktadır (Krajewski vd., 2013: 492). Öyle ki, gelecekte hangi çıktılar vereceği önceden bilinmeyen bir rassal değişkene ait stokastik süreç ile bu sürecin gözlemlenen bir zaman serisi arasındaki ilişkinin, regresyon mantığına göre anakütleyle

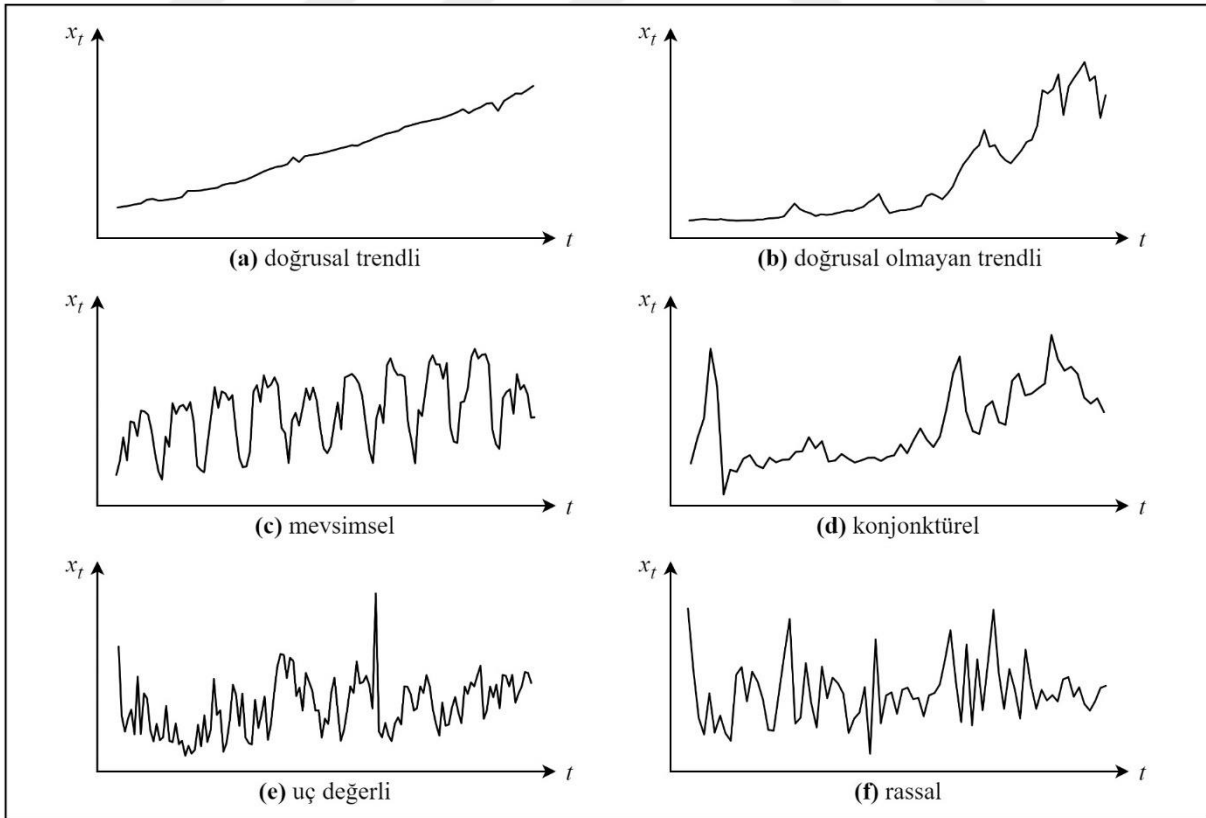
⁴ OLS yöntemi, hata kareleri toplamı minimize edildiği için bu ismi almaktadır. Denklem (22) kullanılarak, hata terimi yalnız bırakılır ve eşitliğin her iki tarafının kareler toplamı alınır. Hata kareler toplamını minimum yapan tahminciler, sırasıyla bu tahmincilere göre alınan kısmi türevlerin 0'a eşitlenmesiyle elde edilir. OLS, regresyon analizinde en güçlü ve popüler parametre tahmin yöntemlerinden biridir. OLS tahmincileri belirli varsayımlar altında BLUE özelliğine (doğrusal sapmasız tahminciler arasında minimum varyansa) sahiptirler. Bu varsayımlar Gauss-Markov varsayımları olarak adlandırılmaktadır. Gujarati ve Porter (2009: 61)'e göre 7 varsayım bulunmaktadır. Ancak, regresyon modelindeki tahmin edilen katsayılar önemli derecede hata teriminin özelliklerine bağlı olduğundan dolayı dört tanesi aşağıdaki gibi kısaca açıklanmıştır:

- (i) Her bir gözlem için hata teriminin beklenen değeri 0'dır, $E(u_i) = 0$.
- (ii) Hata teriminin varyansı bütün gözlemler için sabittir, $\text{var}(u_i) = E(u_i^2) = \sigma_u^2$.
- (iii) Herhangi iki hata terimi arasında sistematik bir ilişki olmamalıdır, ($i \neq j$) olmak üzere $\text{cov}(u_i, u_j) = 0$.
- (iv) Hata terimleri bağımsız değişkenlerden bağımsız olarak dağılmıştır, $\text{cov}(X_i, u_i) = 0$.

örneklem arasındaki ilişkiye benzer olduğu ifade edilmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 740; Wooldridge, 2013: 345).

İstatistiksel ve ekonometrik çalışmalarda kullanılan veriler genellikle günlük, haftalık, aylık, çeyreklik veya yıllık periyotlarla toplanarak birer zaman serisi oluşturulur. Bu seriye ait değişkenler sosyal, ekonomik, siyasal veya doğal etkenler nedeniyle zaman boyunca trende, mevsimsel etkilere, konjonktürel yapıya sahip olabilir veya sabit bir ortalama etrafında (ortalamaya göre durağan olacak şekilde) rassal olarak hareket edebilirler (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010: 12).

Örneğin, bir firmanın herhangi bir ürününe ait talebin tekrar eden gözlem değerlerini yansıtan bir zaman serisinde bu tür etkilerle karşılaşılabilir: Doğrusal veya doğrusal olmayan trend etkisiyle uzun dönemli artış veya azalış eğilimi görülebilir, belirli zamanlarda uygulanan indirimli satış politikaları mevsimselliğe yol açabilir, ya da mevsimsel hareketlerin aksine, refah veya durgunluk nedeniyle periyodik olmayan ve daha uzun aralıklarla ortaya çıkan konjonktürel dalgalanmalar oluşabilir. Dahası, ortalamanın önemli derecede üstünde veya altında farklı nedenlerden dolayı uç değerler de söz konusu olabilir. Şekil 2.10'da yukarıdaki tanımlara denk düşen zaman serisi dağılımları gösterilmektedir. Zaman yolu grafiklerinde t zaman indisini ve x_t rassal değişkenin peş peşe gelen gözlem değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 2.10 Zaman Serisi Dağılımları ve Örnek Zaman Yolu Grafikleri

Kaynak: Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010

Zaman serisi verileri, ampirik analizlerde kullanılan önemli veri türlerinden biridir ve gözleme dayalı bu tür çalışmalarda serinin durağan olduğu (değişkenlerin ortalama ve varyanslarının zamanla değişmediği) varsayılmaktadır⁵. Durağanlık, zaman serileri analizinde dikkatli bir şekilde araştırılması gereken, ayrıca etkin ve tutarlı tahminler için gerekli olan önemli bir varsayımdır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010: 47). Durağan dışı serilerde sahte regresyon veya otokorelasyon gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle serinin, durağan dışılığına sebep olan trend, mevsimsel ya da konjonktürel etkilerden arındırılması gerekmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 737).

Zaman serileriyle analiz yapılan bir araştırmada ilk olarak aşağıdaki iki soruya cevap aranmalıdır: (1) Verilen bir serinin durağan olup olmadığı nasıl araştırılır? (2) Eğer verilen seri durağan değilse nasıl durağan hale getirilir? Stokastik süreç tarafından üretilen bir zaman serisinin durağan olup olmadığı farklı yollarla ölçülebilmektedir. Zaman serisinin muhtemel davranışı hakkında ipucu vermesi bakımından öncelikle zaman yolu grafiğinin oluşturulması önerilmektedir. Bu şekildeki basit bir grafik analiziyle formel testler yapılmadan serinin durağan olup olmadığı hakkında sezgisel yorum yapılabilir. Bir diğer yol, seriye ait korelogramın incelenmesidir. Olası tüm gecikme değerleri için otokorelasyon (AC) ve kısmi otokorelasyon (PAC) katsayılarından oluşan fonksiyonların grafiği korelogram olarak adlandırılmaktadır (Mert ve Çağlar, 2023: 10). Bu grafikte, gecikme değerleri için AC ve PAC katsayıları ve bu katsayıların herhangi bir gecikmeye kadar olan test istatistikleri (Q-Stat) yer almaktadır⁶. [-1,1] arasında değerler alan otokorelasyon katsayılarının sıfır etrafında gezinmesi veya gecikme sayısı arttıkça 1'den (veya -1'den) sıfıra doğru hızlı bir şekilde azalması, serinin durağan olduğunun önemli göstergelerindedir (Gujarati ve Porter, 2009: 748).

⁵ Y_t , durağan stokastik süreci açıklamak için tanımlanan bir rassal değişken olmak üzere; bir stokastik sürecin ortalama, varyans ve kovaryans gibi özellikleri zaman içerisinde sabitse (zamana bağlı değilse), bu tür stokastik süreç zayıf durağan olarak adlandırılmaktadır (Mert ve Çağlar, 2023: 104). Buna göre:

- (i) Ortalama: $E(Y_t) = \mu_Y = \mu$.
- (ii) Varyans: $var(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma_Y^2 = \sigma^2 = \gamma_0$.
- (iii) Kovaryans: $cov(Y_t, Y_{t+k}) = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$, ($k \neq 0$).

Kısaca, yukarıdaki özelliklerin zamanla değişmediği bir zaman serisi durağandır. Diğer bir ifadeyle, hem ortalamasına geri dönme eğilimindedir hem de ortalama etrafında sabit bir genişliğe sahiptir.

⁶ Korelogramda belirtilen Q test istatistiğine göre, belirtilen gecikme değerine kadar olan tüm otokorelasyon katsayıları ya sıfıra eşittir ya da bu katsayılardan en az biri sıfırdan farklıdır. Gecikme sayısı ise ampirik bir mesele olup genellikle serideki gözlem değerinin üçte biri kadar alınmaktadır. Uygulamada, *bilgi kriterlerine* göre bu sayı azaltılabilmektedir.

Son olarak, bir serinin durağan olup olmadığını kesin olarak belirlemek amacıyla birim kök testi uygulanmaktadır⁷. Serinin birim kök içermesi, aynı zamanda durağan dışı olduğu anlamına da gelmektedir. Eğer bir serinin durağan olmadığı tespit edilirse, fark alma veya trendden arındırma işlemi uygulanarak seri durağan hale getirilmeye çalışılır. Örneğin, durağan olmayan Y_t serisinin arka arkaya d kez farkı alınarak durağan hale getirilmesi durumunda, seri d . dereceden entegre seri olarak adlandırılmakta ve $I(d)$ ile gösterilmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010: 70).

Zaman serileri analizi başlığı altında şu ana kadar, zaman serisi verileriyle çalışan araştırmacıların, öngörü (forecasting) amacıyla tahmin yöntemlerini kullanmadan önce, verileri nasıl inceledikleri ve nasıl düzenledikleri ile ilgili başvurduğu yollar açıklanmıştır. Ayrıca, yöntemler için gerekli olduğu düşünülen bazı önemli kavramlara kısaca değinilmiştir. Bu aşamadan sonra kullanılacak olan yöntemler; serideki değişkenlerin özellikleri, seriye ait birtakım bileşenlerin var olup olmaması, geçmişe ait veri sayısı ve analizi yapacak kişinin bilgi düzeyine göre farklılık gösterecektir. Bu nedenle, çalışmanın kapsamına uygun olduğu düşünülen ve sıklıkla tercih edilen zaman serileri analiz yöntemleri bu başlık altında toplanmıştır.

2.3.2.1. Naïve ve Basit Ortalama Yöntemi

Naïve tahmin yöntemi, serinin yapısına göre farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Örneğin; durağan bir seride en son gerçekleşen gözlem değerinin bir sonraki periyotta da meydana geleceği öngörülerek $\hat{y}_{t+1} = y_t$ modeli tercih edilebilir. Trend etkisi altındaki bir seride, son iki gözlem değerine bakılarak trenddeki artış veya azalış miktarına göre model $\hat{y}_{t+1} = y_t + (y_t - y_{t-1})$ formuna dönüştürülebilir. Sadece mevsimselliğin görüldüğü bir seride, mevsimsel etki altında açığa çıkan bir önceki değer, sonraki etki periyodunda da oluşacağı öngörülebilir. Basit ortalama yönteminde ise, gelecek periyottaki gözlemin alacağı değer, serinin mevcut konumundaki bütün geçmiş değerlerin ortalamasına bağlı olmaktadır. Eğer zaman serisi verilerinde trend, mevsimsel ya da döngüsel etkiler varken kullanılırsa yüksek hata değerleriyle karşılaşılabilir (Krajewski vd., 2013: 493).

⁷ Birim kök testi ile durağanlığı ölçmeden önce *beyaz gürültü süreci* ve *rassal yürüyüş modelleri* üzerinde durulmalıdır, çünkü birim kök testi için oluşturulan hipotezler bu kavramlarla ilişkilidir. Durağan bir stokastik süreçte hataların beyaz gürültü sürecine uyduğu (temiz dizi olduğu) varsayılmaktadır. Diğer bir deyişle; hata terimi, sıfır ortalama ve sabit varyansa sahip normal bir dağılım olarak bağımsız ve özdeş dağılmaktadır ve bu durum $u_t \sim IID, N(0, \sigma^2)$ ile ifade edilmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 741).

2.3.2.2. Basit Hareketli Ortalamalar Yöntemi

Basit hareketli ortalamalar yöntemi, t periyodunda bulunurken en son gerçekleşen n adet gözlem değerinin ortalamasını alarak bir sonraki periyodu tahmin etmek için geliştirilen bir yöntemdir. İlk tahminden sonraki her periyotta, en eski gözlem değeri çıkarılmakta ve en güncel değer veri setine eklenmektedir. Her ortalama alma işleminde yeterli gözlem değeri olduğu sürece, n adet veri kullanılarak işlemler tekrarlanmaktadır (Ali vd., 2015: 1757).

Yöntem üzerinde durulan en önemli varsayım, zaman serisinin durağan olmasıdır (Taha, 2000: 499). Bu sayede sabit bir ortalama etrafında dalgalanan bir zaman serisinde hata oranı düşük tutularak daha tutarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, her ne kadar en yaygın kullanılan tahmin yöntemlerinden biri olsa da mevsimsellik ve/veya trend etkisi altındaki bir seride etkili bir tahmin aracı olmadığı ifade edilmektedir (Winston, 2004: 1280).

$y_1, y_2, \dots, y_t$ bir zaman serisindeki gözlem değerlerini ve e_t gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki hata payını göstermek üzere, $t + 1$ periyodundaki tahmin değeri Denklem (23) yardımıyla hesaplanmaktadır⁸ (Taha, 2000: 500):

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{y_{t-(n-1)} + y_{t-(n-2)} + \dots + y_t}{n}, \quad e_t = y_t - \hat{y}_t \quad (23)$$

Taha (2000: 500)'e göre n gözlem değerini belirlemenin kesin bir kuralı olmadığı, serideki gözlemlerde zamanla meydana gelen sapmanın ölçüsüne göre n 'nin 2-10 arasında bir değer alabileceği belirtilmektedir. Benzer şekilde, Krajewski (2013: 494) durağan seriler için n 'ye daha yüksek değerler verilmesini, ortalamadaki değişimlere son derece duyarlı serilerde ise (trendin belirlenebilmesi için) daha küçük değerler kullanılmasını önermektedir. Ancak, Karaatlı (2017: 30) ve Winston (2004: 1276)'ya göre en iyi n değerini belirlemek için tahmin doğruluğunun ölçümü esas alınmaktadır. Buna göre, farklı n değerleri için hata fonksiyonları yukarıdaki hata denkleminde yola çıkılarak hesaplanmakta ve en küçük değeri veren n sayısı tercih edilmektedir.

2.3.2.3. Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar Yöntemi

Ağırlıklı hareketli ortalamalar yönteminin bir önceki ortalamalar yönteminden farkı, ortalamaya dahil edilen gözlem değerlerinin ağırlıklandırılmasıdır. Ağırlık atama sürecinde, genellikle daha hassas sonuçlar vermesi nedeniyle, güncel gözlemlere doğru daha yüksek ağırlık değerleri tercih edilmektedir. Benzer şekilde, mevsimsel etkinin gözlemlendiği bir

⁸ Basit hareketli ortalamalar yönteminde n adet verinin ortalamasının alınması her bir gözlem değerinin $1/n$ ile çarpılarak toplanması anlamına gelmektedir. Bu durum aynı zamanda ortalamaya dahil edilen gözlemlerin eşit ağırlıkta öneme sahip olduğunu da göstermektedir.

seride bu etkinin ortaya çıktığı düşünülen periyottaki gözlemlere kullanıcıya bağlı olarak daha yüksek ağırlık değerleri verilebilmektedir. Ağırlıkların toplamı $\sum w_i = 1$ eşit olmak üzere, tahmin değerleri Denklem (24)'deki gibi hesaplanmaktadır (Krajewski vd., 2013: 494):

$$\hat{y}_{t+1} = \sum_{i=t-(n-1)}^t w_i y_i = w_{t-(n-1)} y_{t-(n-1)} + w_{t-(n-2)} y_{t-(n-2)} + \dots + w_t y_t \quad (24)$$

2.3.2.4. Üstel Düzleştirme Yöntemleri

Üstel düzleştirme yöntemleri, basit üstel düzleştirme ve ETS (Hata, Trend, Mevsimsel) üstel düzleştirme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu bölümde, basit üstel düzleştirme teknikleri arasında yer alan tek üstel düzleştirme ve ETS üstel düzleştirme yöntemlerinden kısaca bahsedilecektir.

Tek üstel düzleştirmede ortalama yöntemlerinde olduğu gibi serilerin durağan olduğu varsayılmaktadır. Gözlem değerlerine aynı ağırlığın verilmesindeki eksikliği gidermeyi ve öngörülerdeki hassasiyeti artırmayı amaçladığı için, ağırlıklı hareketli ortalamalar yöntemine benzer bir yaklaşıma sahiptir (Taha, 2000: 503). Öngöründe bulunmak için n sayıda gözlem ve ağırlık değeri gerektiren ortalama yöntemlerinin aksine, düzeltme parametresi, mevcut periyodun tahmin değeri ve o anki periyotta gerçekleşen değer olmak üzere yalnızca üç adet veriyle işlemler yapılmaktadır. α , üstel düzleştirme parametresi olmak üzere ($0 < \alpha < 1$), $t + 1$ periyodu için öngörü işlemleri aşağıdaki gibi yapılmaktadır (Krajewski vd., 2013: 494):

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_t \quad (25)$$

Denklem (25)'te açıkça görüldüğü üzere, düzeltme parametresinin alacağı değer, iteratif bir şekilde en son yapılan tahmin değerini ve o periyottaki gözlem değerini etkilemektedir. Uygulamada, çeşitli α parametreleri test verileri üzerinde denenerek tahmin için en uygun değer belirlenmektedir⁹.

ETS üstel düzleştirme yöntemi, zaman serisi temel bileşenlerinin sadece toplamsal veya çarpımsal olmayabileceği, aksine, bir zaman serisinin aynı anda hem toplamsal hem de çarpımsal bileşenlerden oluşabileceği düşüncesine dayanmaktadır. Bu yöneme göre bir

⁹ $\alpha < 1$ olduğundan, en son gözlem değerine bütün bir ağırlığın verilmesi önlenmekte ve serideki değişimler düzeltilmektedir. $\alpha = \frac{2}{n+1}$ olacak şekilde belirlendiğinde, n -periyotlu hareketli ortalamalar yöntemiyle benzer sonuçlar vermektedir. Eğer hata oranlarını minimize eden α değeri 0,5 değerini aşarsa o zaman seride trend, mevsimsel veya döngüsel etkilerin varlığından şüphe edilmektedir. Bu durumda, sadece trendin olduğu veya hem trendin hem de mevsimselliğin olduğu Holt-Winters üstel düzleştirme yöntemleri daha iyi tahminler için önerilmektedir (Winston, 2004: 1282). Eğer serideki hata terimi, trend ve mevsimsel bileşenlere karşı baskın olursa Holt-Winters yöntemi de güvenilir değildir (Ferber Tratar vd., 2016: 162). Holt-Winters yöntemleri için bkz. (Mert ve Çağlar, 2023: 80).

zaman serisindeki hata bileşeni toplamsal (additive: A) veya çarpımsal (multiplicative: M) olabilmektedir. Trend ve mevsimsel bileşenler ise toplamsal veya çarpımsal olabileceği gibi, durağan bir zaman serisi söz konusu olduğunda seride hiç (none: N) yer almayacaklardır. Hata, trend ve mevsimsel bileşenlerin farklı şekillerde bir araya geldiği bu modeller, en çok olabilirlik (Log-likelihood) veya AMSE (Average Mean Squared Error) yöntemlerinden biriyle yapılabilmektedir (Mert ve Çağlar, 2023: 88). Modeller arasında en uygun olanına karar vermek için, bir sonraki yöntemde de ifade edileceği üzere, bazı uyum istatistiklerine bakılarak model belirleme işlemi yapılmaktadır.

2.3.2.5. ARIMA Modelleri (Box-Jenkins Yaklaşımı)

ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) modelleri, kesikli tek değişkenli bir zaman serisine ait geçmiş verilerle tahmin modelleri kurmak ve kurulan bu modeller yardımıyla da geleceğe yönelik öngörüler yapmak amacıyla geliştirilmiştir. G. P. E. Box ve G. M. Jenkins tarafından literatüre kazandırılan ARIMA modelleri aynı zamanda Box-Jenkins yaklaşımı olarak adlandırılmakta ve oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. ARIMA modellerinde serideki bağımlı değişken, kendi geçmiş değerleri ve stokastik hata terimleriyle açıklanmaktadır (Gujarati ve Porter, 2009: 774). Buna göre modelin genel yapısı aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010: 138):

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots)$$

Yukarıdaki fonksiyonun bağımlı değişkene ait gecikmeli değerlerden ve/veya hata bileşenlerinden oluşması, ARIMA modellerinin herhangi bir ekonomik kurama dayanmadığı düşüncesini beraberinde getirmektedir. Öyle ki, bazen teoriye dayanmayan (atheoretical) modeller şeklinde ifade edilmesine de neden olmaktadır (Gujarati ve Porter, 2009: 775). Ancak, modellerin nasıl tahmin edileceğine ve hangi modellerin tercih edilmesi gerektiğine belirli ilkeler çerçevesinde karar verilmektedir. Box-Jenkins türündeki zaman serileri, eğer durağansa (hatalar beyaz gürültü sürecine uyuyorsa); AR(p) (p . derece otoregresif süreç), MA(q) (q . derece hareketli ortalama süreci) veya hem AR hem de MA özelliklerini içeren ARMA(p, q) süreciyle modellenebilmektedir. Durağan olmayan serilerde ise öncelikle fark alma işlemi uygulanarak seriler durağan hale getirilmekte, daha sonra ARIMA(p, d, q) süreci ile modellenmektedir (Aggarwal vd., 2009: 15; Tarmanini vd., 2023: 553).

Modellerde yer alan p ve q ifadeleri sırasıyla AR ve MA süreçlerinin derecelerini (kaçıncı gecikmeye kadar serinin kendi geçmiş değerlerine ve/veya hata terimlerine izin verildiğini) gösterirken, d terimi ise daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, serinin kaç kez farkının alınarak durağan hale getirildiğini göstermektedir. Bir zaman serisi incelenirken,

serinin AR, MA, ARMA veya ARIMA süreçlerinden hangisini izlediğine ve bu süreçlerde yer alan p , q ve d değerlerine karar vermek önemli bir sorundur. Box-Jenkins yaklaşımı burada devreye girmekte ve cimrilik (tutumluluk) ilkesi gereğince daha az sayıda parametre içeren modelleri araştırmaktadır (Box vd., 2016: 47).

Tablo 2.2’de, tek değişkenli durağan zaman serilerinde sık karşılaşılan bazı süreçlere ait örnek fonksiyonlar, bu süreçlerin genel fonksiyon kalıpları ve bazı süreçlerin nasıl daha yalın ifade edilebileceği gösterilmektedir. Gerçekleşen verilere en uygun modeller belirlendikten sonra, bu modellerde yer alan parametreler tahmin edilmektedir. Tahmin edilen modelde uygun kriterler kullanılarak tanı testleri yapılmaktadır. Bu aşamada, modelden tahmin edilen hataların beyaz gürültü sürecine uyması son derece önemli bir kriterdir. Aksi durumda, tekrardan model belirleme aşamasına geri dönülmektedir. Tanı testlerini başarıyla geçen model, gelecek dönem tahminleri için kullanılmaktadır¹⁰.

Tablo 2.2 ARIMA Süreçleri ve Aralarındaki Dönüşümler

$u_t \sim IID, N(0, \sigma^2)$; δ ve μ sabit terimler; ϕ 'ler ve θ 'lar sürecin bilinmeyen parametreleri olmak üzere:		
AR(1): $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + u_t$	AR(2): $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + u_t$	AR(p): $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + u_t$
MA(1): $Y_t = \mu + u_t + \theta_1 u_{t-1}$	MA(2): $Y_t = \mu + u_t + \theta_1 u_{t-1} + \theta_2 u_{t-2}$	MA(q): $Y_t = \mu + u_t + \theta_1 u_{t-1} + \theta_2 u_{t-2} + \dots + \theta_q u_{t-q}$
ARMA(1, 1): $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + u_t + \theta_1 u_{t-1}$	ARMA(p, q): $Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + u_t + \theta_1 u_{t-1} + \dots + \theta_q u_{t-q}$	
ARIMA(p, d, q): Durağan olmayan sürecin d kez farkı alınarak oluşturulur.		
ARIMA(p, 0, q) = ARMA(p, q)		
ARIMA(p, 0, 0) = ARMA(p, 0) = AR(p) , ARIMA(0, 0, q) = ARMA(0, q) = MA(q)		
ARI(p, d, 0): (p, d). dereceden entegre otoregresif süreç		
IMA(0, d, q): (d, q). dereceden entegre hareketli ortalama süreci		

Kaynak: Sevüktekin ve Nargeleçkenler, 2010

Modelin belirlenmesi aşamasında korelogram analiziyle model türüne karar vermek için Tablo 2.3’teki ACF ve PACF katsayılarının teorik davranışlarından yararlanılabilir.

Tablo 2.3 ACF ve PACF Katsayılarının Teorik Davranışları

Model	ACF	PACF
AR(p)	Üstel veya sönümlü sinüs salınımı şeklinde azalır ve kaybolur	p gecikme boyunca ani düşüş gösterir ve sonrasında kesilir
MA(q)	q gecikme boyunca ani düşüş gösterir ve sonrasında kesilir	Üstel olarak azalır ve kaybolur
ARMA(p, q)	Üstel olarak azalır ve q gecikmeden sonra kesilir	Üstel olarak azalır ve p gecikmeden sonra kesilir

Kaynak: Gujarati ve Porter, 2009: 781

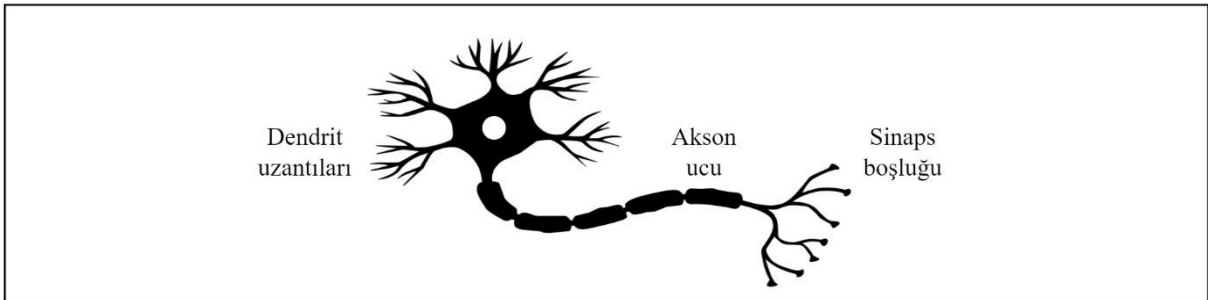
¹⁰ Öncelikle serinin durağan olup olmadığı kontrol edilmeli, değilse d ’nin derecesi tespit edilmelidir. Seri durağansa orijinal seri, değilse de farkı alınan seri üzerinden model belirleme aşamasına geçilmelidir.

Gujarati ve Porter (2009: 777)'ye göre tüm bu süreçler; (1) modelin belirlenmesi, (2) parametre tahmini, (3) tanı testleri ve (4) gelecek dönem tahmini adımları ile özetlenmektedir.

2.3.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sisteminin en temel fonksiyonel parçası olan sinir hücrelerinin (nöronların), uyarıları işleme kabiliyetinden esinlenerek ortaya çıkan ve nöronlardaki uyarı-tepki (input-output) mekanizmasını taklit etmek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. İlk benzetim çalışması XX. yy'ın başlarında yapılmış olsa da matematiksel analize dayalı modellemeyi esas alan ilk çalışma Hopfield (1982) tarafından uygulanmıştır. YSA'nın çalışma prensibi incelendiğinde, girdilerin farklı katmanlarda bulunan yapay sinir hücreleri arasındaki fonksiyonlar aracılığıyla çıktılara dönüştürüldüğü görülmektedir¹¹. YSA'nın; (1) öğrenme yeteneği kazanması, (2) hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerde veriler arasındaki ilişkiyi analiz etmesi ve (3) dağıtık bellek mimarisine sahip olması nedeniyle geleneksel yöntemlere göre hatayı daha fazla tolere edebilmesi, ön plana çıkan özellikleridir. Esnek yapısı nedeniyle günümüzde birçok farklı sektörde; örüntü tanıma, sınıflandırma, kümeleme, optimizasyon ve tahmin problemlerinde kullanılmaktadır (Hamzaçebi, 2011: 11).

YSA'daki öğrenme mekanizmasının şifreleri, temelde nöronlar arasındaki sinyallerin taşınması sürecinde saklıdır. Bir nöron, kendine gönderilen sinyali dendrit adlı uzantıları ile yakalamakta ve akson ucuna doğru iletmektedir. Sinyalin bir nörondan diğerine aktarıldığı boşluğa ise sinaps adı verilmektedir. Biyolojik sinir hücresi olarak adlandırılan nöron, Şekil 2.11'deki gibi bir yapıya sahiptir.



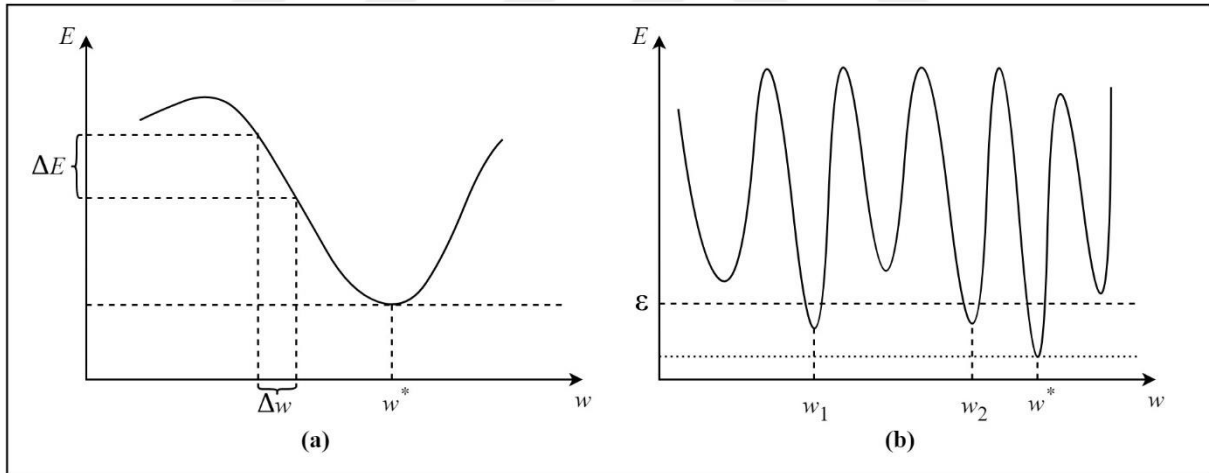
Şekil 2.11 Biyolojik Sinir Hücresi

Nasıl ki sinyaller bir nörondan diğerine sinaps boşluğundan taşınarak iletiliyorsa, yapay sinir hücrelerine ulaşan girdiler de bu hücelere ait ağırlık değerleriyle işlem

¹¹ Yapay sinir hücrelerine gelen girdilerin birleştirilerek net bir değer elde edilmesi, toplama (birleştirme) fonksiyonlarıyla yapılmaktadır. Bu fonksiyonlardan en uygun olanına genellikle deneme yanılma yoluyla karar verilmektedir. Aktivasyon fonksiyonu ise hücre içerisindeki bilginin ne şekilde çıktıya dönüştürülmesi ve aktarılması gerektiğine karar veren bir tür transfer fonksiyonudur. Genellikle, çıktıları (0,1) aralığında sınırlandıran $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır (Zhang vd., 1998: 47). Diğer fonksiyonlar için bkz. (Hamzaçebi, 2011: 45; Öztemel, 2012: 49).

geçirilerek hücre içerisine alınmaktadır. YSA'ya verilen örnek girdilerle ağı eğitilmesi (iteratif bir şekilde mümkün olan en düşük hata değerine ulaşana kadar ağırlıkların güncellenmesi) ve bunun sonucunda da genelleme yapabilme yeteneğini kazanması, ağı öğrenmesi olarak ifade edilmektedir¹². Bunun için eğitim ve test veri setleri ayrı ayrı kullanılmaktadır (Öztemel, 2012: 55). YSA'nın öğrenerek genelleme yapabilme yeteneğine kavuşması ile Box-Jenkins yaklaşımındaki doğru modelin tahmin edilmesi olaylarının benzerliği dikkat çekmektedir.

Ağırlıklar, YSA'nın eğitilmesi sırasında iteratif bir şekilde belirlenmektedir. Ancak, bilginin ağı üzerinde dağıtık olması nedeniyle ağırlıkların nasıl hesaplandığı bilinmemektedir. Burada önemli olan, ağı istenilen performansa erişinceye kadar ağırlıkların güncellenebiliyor olmasıdır. Şekil 2.12'de öğrenmenin nasıl gerçekleştiği gösterilmektedir. Makul düzeyde hata ürettiği tespit edilen ağırların öğrenme sürecini tamamladığı ifade edilebilir. Şekil 2.12(a)'da en düşük hata takibiyle öğrenme süreci ilerlemektedir. (b)'de ise eşik değerin altında birden fazla uygun ağırlık değerinin olduğu görülmektedir. Bu durum, YSA'nın her zaman optimal çözüm değerini veremeyebileceği, ancak yine de makul düzeyde çözüm üretebileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 2.12 YSA'da Öğrenmenin Hata(E)-Ağırlık(w) Ekseninde Gösterimi

Kaynak: Öztemel, 2012: 82

¹² Ağı tanımlanan veriler arasındaki ilişki, ağıdaki ağırlıkların sürekli güncellenmesiyle (ağı eğitilmesiyle) ortaya çıkarılmaktadır. w herhangi bir ağırlık değerini göstermek üzere, ağırlıklar $w_{yeni} = w_{eski} + \Delta w$ süreciyle değiştirilmektedir. Δw ; öğretmenli (supervised), öğretmensiz (unsupervised) ve destekleyici (reinforcement) öğrenme algoritmalarına göre belirlenmektedir (Hamzaçebi, 2011: 21). Öğretmenli öğrenmede, girdi ve çıktı vektörleri aynı anda verilmekte ve kapalı döngü geri besleme sistemiyle hataların belirli bir tolerans (ϵ) değerin altına düşmesi beklenmektedir (Haykin, 1999: 85). Öğretmensiz öğrenmede yalnızca girdi vektörü ağıya verilerek kendi kurallarını oluşturması ve geçmiş veri setindeki gizli istatistikleri çıkarması beklenmektedir. Destekleyici öğrenme, öğretmenli öğrenmeye benzerdir. Tek farkı, ağırlıkların belirlenmesi sürecinde girdi vektörüne karşılık gelen çıktı vektörünü göstermek yerine sonucun iyi veya kötü olduğuna dair bilgiler verilmektedir.

YSA ile hem sebep-sonuç ilişkisine hem de zaman serileri analizine dayalı tahminler yapılabilmektedir. Örneğin; regresyon analizinde modeldeki bağımsız değişkenler YSA'daki girdilere, bağımlı değişken ise YSA'nın çıktısına karşılık gelmektedir. Zaman serilerine dayalı analizlerde ise serinin geçmiş değerleri ağın girdileri, tahmin değeri de ağın çıktısı olarak ağa verilmektedir. Ağ, zaman serisi üzerindeki en eski noktadan başlayarak öğrenme işlemini gerçekleştirmekte ve ileri beslemeli bir yapıyla geri yayılım algoritmasını kullanarak her defasında bir sonraki veriyi tahmin etmeye çalışmaktadır (Berry ve Linoff, 2004: 245). Eğitim verisi ile öğrenme işlemini tamamladıktan sonra, ağın daha önce görmediği test verisini tahmin etmesi beklenmektedir. Elde edilen tahmin sonuçlarının tutarlı olup olmadığını test etmek için uygulamalarda genellikle birden fazla yönteme başvurulmaktadır. Çıkan sonuçların hata istatistiklerine bakılarak en uygun yönteme karar verilmektedir.

2.3.4. Tahmin Performansının Ölçümünde Kullanılan İstatistikler

Tahmin edilen bağımlı bir değişkenin gerçekte aldığı değerle tahmin değeri arasındaki farka, tahmin hatası adı verilmektedir. Örneğin, bir ürüne olan talebi etkileyen çok fazla sayıdaki faktör nedeniyle, elde edilen bütün tahminlerde belirli düzeyde hataların olması kaçınılmazdır. Ancak, meydana gelen bu hataların rastlantısal mı, yoksa sistematik mi (yanlı mı) oldukları iyi analiz edilmelidir (Jacobs ve Chase, 2018: 463).

Tablo 2.4 Tahmin Performansının Ölçümünde Kullanılan Hata İstatistikleri

Tahmin hataları $\hat{u}_t = Y_t - \hat{Y}_t$ ve örneklem standart sapması $s = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2}$ olmak üzere;	
RMSE (Root Mean Squared Error)	$= \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2}$
MAE (Mean Absolute Error)	$= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \approx 0,8s \text{ veya } s \approx 1,25\text{MAE}$
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	$= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{ \hat{u}_t }{Y_t} \times 100$
SMAPE (Symmetric MAPE)	$= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{ \hat{u}_t }{ Y_t - \hat{Y}_t /2} \times 100$
MASE (Mean Absolute Scaled Error)	$= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{ \hat{u}_t }{A}, \quad A = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T Y_t - Y_{t-1} $
Theil U1 (Theil inequality coefficient, U1)	$= \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2}{T}} / \left(\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T Y_t^2}{T}} + \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T \hat{Y}_t^2}{T}} \right)$

Kaynak: Mert ve Çağlar, 2023: 39; Jacobs ve Chase, 2018: 464; Saatçioğlu, 2016

Tahmin yöntemlerinin birbirinden farklı sonuçlar vermesi beklenen bir durumdur ve bu nedenle, performanslarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Tahmin performansı yüksek olan modelin, verilere de iyi uyum sağladığı ve öngörü başarısının diğer modellere göre yüksek olacağı söylenebilir. Uygulamalarda performans ölçümünde en sık kullanılan hata istatistikleri Tablo 2.4'te gösterilmektedir.

RMSE, teorik özelliklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır, ancak sapmaların büyük olması durumunda RMSE ve s istatistikleri büyük sonuçlar vermektedir. Bunun yerine MAE istatistiğine bakılabilir. Ancak, elde edilen farklı tahminler sonucunda aynı MAE istatistiğine sahip olmak, yönetsel açıdan sorun oluşturabilir. Örneğin; beş periyotluk bir dönem için gerçek talep değerlerinin (10, 10, 11, 10, 11) olduğu ve iki farklı tahmin sonucunun sırasıyla (8, 8, 9, 8, 9) ve (8, 12, 9, 12, 9) şeklinde elde edildiği bir ortamda, önceki tahmin sonuçlarına göre sürekli stok tükenmesi problemi ortaya çıkabilir. Ayrıca, MAE miktara bağlı olduğu için farklı ortalamalara sahip ürünler arasında karşılaştırma yapmak zordur.

MAPE, hatayı yüzdelik olarak ifade ettiği için çok farklı ortalamalara sahip SKU'lar arasında bile karşılaştırma yapmaya izin vermektedir. Ancak, talep değerleri çok düşük gerçekleştiğinde istatistiğin yorumlanmasında sorunlar yaşanabilmektedir (Silver vd., 1998: 110). Örneğin, talebin gerçekte 1 olduğu ve 2 olarak tahmin edildiği duruma ait hata oranı ile talebin gerçekte 99 olduğu ve 100 olarak tahmin edildiği durum arasında büyük fark olacaktır. Benzer şekilde, bir veya daha fazla sayıda sıfır gözlemlili değerle karşılaşıldığında MAPE istatistiği tanımsız olacaktır (Willemain vd., 2004: 381). Bu durumlardan kaçınmak amacıyla simetrik MAPE (SMAPE) ve MASE istatistikleri kullanılmaktadır.

Tahmin edilen modelin seriye ne kadar uyum gösterdiğinin ölçütlerinden bir diğeri Theil U1 istatistiğidir. Bu değer 0,55'ten küçük olması modelin veriye başarılı bir biçimde uyum gösterdiği anlamını taşımaktadır (Mert ve Çağlar, 2023: 39). Sonuç olarak, performans istatistiklerinin kendine göre avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar mevcuttur. Bu nedenle, tahmin yöntemleri arasında karşılaştırma yapılırken tek bir istatistiğe bakmak yerine, birden fazla istatistiğe bakarak en düşük istatistikleri sunan yönteme karar verilmelidir.

2.4. Talep Tahmini Altında Kayıp Satış Durumunu ve Kampanya Etkisini Dikkate Alan Stok Modelleri

Stok modelleri arasındaki farkları göstermek ve bu sayede modellerin daha anlaşılır hale gelmesini sağlamak amacıyla Prasad (1994) tarafından içerisinde birçok kategorinin yer aldığı bir sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Adı geçen çalışmadaki kategorilerden biri de taleptir. Stok modelleriyle ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak,

talebin etkilediği veya etkilendiği durumlara göre modellerin geliştirildiği görülmektedir. Buradan hareketle, talep yapısının ve buna bağlı olarak kestirim gücü yüksek talep tahmininin büyük öneme sahip olduğu açıkça ifade edilmelidir.

Literatürde talep yönetimiyle ilgili üretim ve stok yönetiminden bağımsız olarak yürütülen birçok çalışma mevcuttur. Ancak, bu tez çalışmasının odak noktasında kayıp satış ve kampanya nedeniyle uygulanan indirimli satış durumları yer almaktadır. Dolayısıyla incelenen çalışmalarda bu konulara ağırlık verilmiştir. Öncelikli olarak kayıp satış durumunu ele alan çalışmalara değinilmiş, sonrasında ise kampanyalı satış veya farklı nedenlerden dolayı fiyat indirimlerini dikkate alan çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde hem talep tahmin analizlerinin yapıldığı hem de stok modellerindeki bu durumların ele alındığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kayıp satış ve indirim durumlarının birlikte değerlendirildiği çalışmaların ise henüz çok yeni ve oldukça az sayıda olması dikkat çekmektedir.

Literatürde, talep yoğunluğuna göre yaşanan stok tükenmesinin neden olduğu durumlar, genel olarak üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; karşılanamayan talebin tamamının sonraki siparişlerde karşılanmak üzere bekletildiği, tamamının kayıp satışa dönüştüğü, veya siparişin bir kısmının bekletildiği ve geriye kalan bölümün satış kaybına dönüştüğü durumlardır (Aygüneş ve Yıldız, 2019: 17). Stok modelleriyle ilgili yapılan çalışmaların çoğunda karşılanamayan talebin bekletildiği varsayılmaktadır. Ancak, alışveriş ortamındaki müşteri davranışlarının gözlemlendiği çalışmalarda, anında karşılanmayan taleplerin çoğunlukla satış kaybıyla sonuçlandığı veya bu tür durumlarda müşterilerin ikame ürünlere veya alternatif tedarikçilere yöneldikleri ifade edilmektedir (Bijvank ve Vis, 2011). Dünya çapında %8-10 oranında stok tükenmesiyle karşı karşıya kalındığı ve müşterilerin %85'inin karşılanamayan talepleri için beklemeyi göze almadıkları tespit edilmiştir (Gruen vd., 2002). Verhoef ve Sloot (2006) tarafından yürütülen çalışma da bu oranları desteklemektedir.

Üretim ve stok yönetiminde, parti büyüklüğü belirleme ve stok modelleme problemleri sık sık birbirinin yerine kullanılmaktadır ve bu bağlamda dinamik parti büyüklüğü belirleme probleminin ilk adımları Wagner ve Whitin (1958) ve Manne (1958) tarafından atılmıştır. Ancak, problem için getirilen varsayımlar arasında sınırsız üretim kapasitesi ve sıfır tedarik süresi gibi kısıtların olması, gerçek hayattaki problemlere çözüm arayan araştırmacıları zor durumda bırakmaktadır. Bu nedenle, W-W tabanlı geliştirilen modeller yeniden düzenlenerek daha dirençli (robust) hale getirilmektedir. Örneğin, Hanafizadeh vd. (2019), planlama ufku içerisinde değişken parametrelerle hesaplamalar yapıldığında W-W algoritmasının artık uygulanabilir olmadığını göstermiş ve kesin maliyetler hakkında bilgi sahibi olmayan karar

vericiler için daha güçlü bir yaklaşım önermişlerdir. Ancak, bu çalışmada kayıp satış maliyeti dikkate alınmamıştır.

Literatürde ilk olarak Karlin ve Scarf (1958) kayıp satış durumunu ele alarak stok modeline dahil etmiş ve formülleştirmeye çalışmıştır. Sonrasında, Morton (1969) tarafından bazı temel yapısal sonuçlar çıkarılmıştır. Nahmias (1979), Cohen vd. (1988), Johansen ve Thorstenson (1993) ve Melchioris vd. (2000), devam eden yıllarda kayıp satış durumunu dikkate almış ve farklı stok kontrol sistemlerindeki parametrelerin maliyetlere olan etkisini araştırmışlardır. Cohen vd. (1988) ve Melchioris vd. (2000), diğerlerinden farklı olarak, çok basamaklı sistemlerde yetersiz stok bulunması halinde taleplerin sınıflandırılabilirliği ve buna göre bazı taleplere öncelik verilebileceği üzerinde durmuşlardır.

Stok modelleri için geliştirilen politikalarda çoğunlukla toplam maliyetin minimize edilmesi yönünde doğal bir refleks gelişmiş olsa da, toplam kârın maksimize edildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Doğrudan satış kaybı kavramının ilk olarak kullanılmaya başlandığı yıllarda Aksen vd. (2003), başlangıçta maliyet minimizasyonuna dayanan, ancak daha sonra kâr maksimizasyonuna dönüştürülen bir model önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada, karşılanamayan talebin bekletilmesine izin verilmeden doğrudan satış kaybına dönüştüğü durum ele alınmış ve sınırlandırılmamış tek ürünlü parti büyüklüğü problemi için W-W tabanlı ileri yinelemeli bir dinamik programlama algoritması geliştirilmiştir.

Aksen vd. (2003), yalnızca stoksuzluk durumunda satış kaybının yaşanmayabileceğini, bunun yanında yeterli stok bulunmasına rağmen talebin karşılanmak zorunda olmadığını ve satış kaybının göze alınabileceğini tartışmışlardır. Geliştirdikleri modelin, hangi periyotlarda ne kadarlık satış kaybı olacağına ve gelen talebin özelliğine göre ve stokları korumak adına talebin hangi periyotlarda bilerek karşılanmaması gerektiğine cevap verebildiği, ancak müşterinin kaybolan sadakatinden doğan maliyeti hesaplayamadığı ifade edilmiştir. Aksen vd. (2003)'ün kullandığı veri setinden yararlanan Berk vd. (2008), hem sıfır hem de pozitif hazırlık (tedarik) süreleri için oluşturulan optimal üretim planlarının toplam maliyetler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hazırlık süresi arttığında toplam maliyetlerin azaldığını ve bunun nedeninin ise kayıp satış ve elde bulundurma maliyetlerindeki düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Sezen (2006), periyodik görüntüleme sistemlerindeki periyot uzunluğunun kayıp satış durumunda stok performansı üzerindeki etkilerini simülasyon tekniğiyle araştırmış ve stok düzeyinin bu süreyle oldukça ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Ek olarak, yüksek değişkenliğe sahip talep yapısı söz konusu olduğunda periyot uzunluğunun diğerlerine nazaran daha kısa tutulması gerektiğini ifade etmiştir. Kayıp satış durumu 1960'lı yıllarda çalışılmaya başlanmış

olmasına rağmen, optimal politikaların belirlenmesinde zorluklar yaşanmaya devam etmiş ve farklı senaryolar için belirlenen parametrelere göre en iyi çözüm arayışları devam etmiştir (Zipkin, 2008: 1256). Kayıp satış durumunu dikkate alan ve optimal stok yenileme politikasını araştıran periyodik görüntüleme sistemleri için ilk kez hizmet düzeyi faktörünün kullanıldığı çalışma Bijvank ve Vis (2012) tarafından yapılmıştır. Benzer bir çalışmada Bijvank vd. (2015), farklı bir stok kontrol sistemi için bu kez sabit sipariş maliyeti üzerinden optimal stok yenileme politikasını araştırmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan kampanya etkisi terimi, literatürde aynı zamanda promosyon etkisi, fiyat indirimi ve hatta miktar indirimi şeklinde de kullanılmaktadır ve bu durumu ele alan bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu terimlerle esas olarak vurgulanmak istenen düşünce, ürün fiyatlarının dışarıdan bir etkiyle düşürülmesi ve bu durumdan talebin etkilenmesidir. Literatürde aynı anda hem kayıp satış hem de fiyat indirimi durumlarını bütünleşik ele alan ve buna göre optimal stok politikasını belirleyen başlıca çalışmalar Chen vd. (2006), Huh ve Janakiraman (2008) Song vd. (2009) ve Wang vd. (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu çalışmaların odak noktasında, tez çalışmasından farklı olarak, stoktaki ürünlerin maruz kaldığı etkiler (ürünlerin modasının geçmesi, zarar görmesi, raf ömrünün azalması, vb.) nedeniyle değer kaybına uğraması, hurdaya (fireye) ayrılması veya uygulanması planlanan fiyat indirimlerin belirli sipariş miktarlarına endekslenmiş olması bulunmaktadır. Bektur (2020) ise, sürdürülebilir tedarikçi seçiminde bulunmak için bulanık çok amaçlı karar verme yöntemleriyle, yukarıdaki çalışmalarda uygulanan bu politikaları genişletmiştir.

Talep tahmini altında gerçekleştirilen ve aynı zamanda kayıp satış ve/veya kampanya etkisini dikkate alan tek çalışma olarak Ali vd. (2009) tarafında yapılan araştırmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada zaman serisi tahmin yöntemlerinden üstel düzleştirme yanında adımsal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, makine öğrenmesi yöntemlerinden destek vektör regresyonu ve regresyon ağaçları tekniklerinden de yararlanılmış ve sonuçların doğruluğu MAE hata istatistiğiyle ölçülmüştür. Ancak, bu çalışma sadece talep tahmin analizleriyle sınırlı kalmış, parti büyüklüğü belirleme veya stok modelleme problemi olarak ele alınmamıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ZAMANINDA KARŞILANAMAYAN TALEPLERİN DOĞRUDAN KAYIP SATIŞA DÖNÜŞMESİ DURUMU: TALEP TAHMİNİ ALTINDA KAMPANYA ETKİSİNİ DİKKATE ALAN DİNAMİK STOK MODELİ

3.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın temel amacı, üretici pozisyonundaki bir işletmenin geçmişteki talep ve satış davranışlarını göz önünde bulundurarak üretim ve stok maliyetlerini kontrol altında tutabileceği bir stok modeli önermektir. Buna ek olarak, üreticinin hangi stok kalemlerine daha fazla öncelik vermesi gerektiğinin araştırılması ve belirlenen stok kalemlerinin gelecek periyotlardaki talep tahminlerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Talep tahmini altında uygulanan stok modelinde, işletmenin ihtiyaçlarına yönelik gerçekçi bir yaklaşımda bulunmak amacıyla özel olarak zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına neden olduğu durum dikkate alınmıştır.

Gelecekteki talebin doğru teknikler yardımıyla öngörülmesi, taleple ilişkili stratejik ve operasyonel faaliyetler bakımından oldukça önemlidir. Buradan elde edilen sonuçlar üretim planlaması, stok yönetimi, tesis yeri seçimi, satın alma, kaynak yönetimi, süreç tasarımı ve kapasite planlaması için son derece anlamlı girdiler oluşturmaktadır (Ivanov vd., 2019: 321). Talep tahmininin tedarik zinciri ve operasyon yönetimiyle birlikte ele alındığı bir ekosistemin hayata geçirilmesi stok maliyetlerini azaltacak, verimliliği ve müşteri memnuniyetini ise üst seviyelere taşıyacaktır. Bu nedenle çalışmada, önemli operasyon birimlerinden olan stok yönetiminin tahmin süreçlerinden bağımsız değerlendirilemeyeceği kabul edilmekte ve hem akademi hem de uygulama çevreleri için talebin farklı tahmin modelleri yardımıyla doğru yönetilmesi gerektiğinin önemi vurgulanmaktadır. Belirsizliği azaltmak amacıyla oluşturulan tahmin senaryolarının ve önerilen stok modelinin literatüre farklılık kazandıracak olmasının yanında, tedarik zincirinde benzer süreçlere sahip diğer organizasyonlar için örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Çalışmada, bebek ve çocuk ürünleri sektöründe faaliyet göstermekte olan bir üretici ele alınmaktadır. Resmi kuruluşların paylaştığı istatistiklere göre sektörün dünya çapında yükselen bir ivmeye sahip olduğu görülmektedir. Dünyada bebek ürünleri sektöründeki pazar hacminin 2021 yılında 215 milyar dolara ulaştığı belirtilmekte ve 2022 yılından 2030 yılına kadar ortalama %5,7'lik bir büyüme oranı yakalayacağı tahmin edilmektedir (Grand View Research, 2023). Türkiye'de sektörün yaklaşık 2 milyar dolar büyüklüğünde bir hacme sahip olduğu ve ailelerin bebekleri için yıllık ortalama 480-700 dolar harcama yaptıkları

belirlenmektedir. Türkiye, bebek ve çocuk ürünleri sektöründe gösterdiği büyüme potansiyeliyle, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere, farklı kıtalardan ülkelerin dikkatini üzerinde toplamaktadır (CBME Türkiye Basın Bültenleri, 2023).

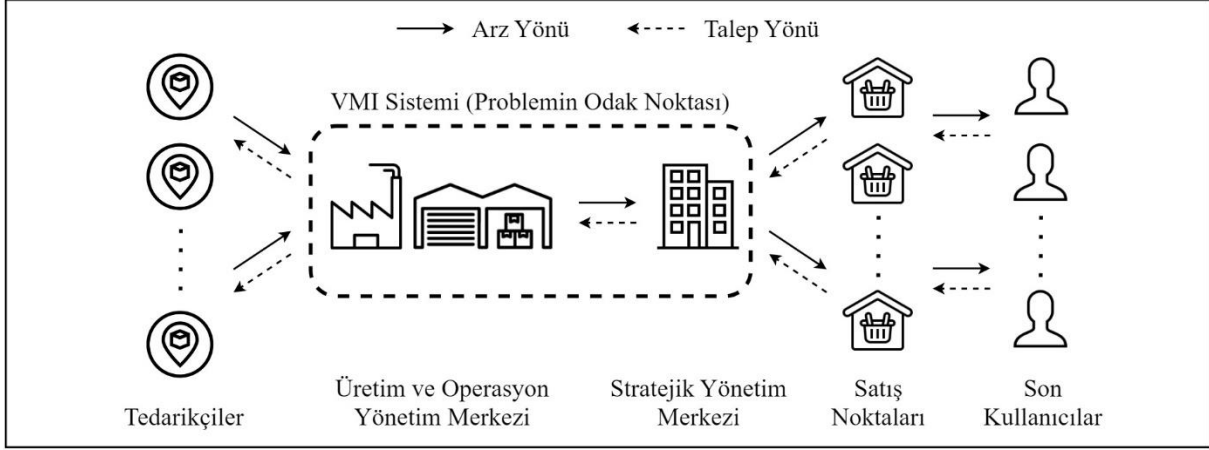
Tüketicilerin, algılarını; yüksek kaliteli, fonksiyonel, içeriğinde sağlığa zararlı kimyasallar barındırmayan ve kendilerini ayrıcalıklı hissetmelerine neden olan ürünlere çevirmeleri, pazarı yönlendiren en temel faktörlerdir. Bunun yanı sıra, çalışan kadın nüfusundaki artış ve salgınla giderek artan hijyen kaygıları nedeniyle ebeveynler giderek daha fazla bilinçlenmektedir. Bu durum, çevre dostu özelliklere ve yenilikçi tasarımlara sahip bebek ürünlerine olan ilgiyi artırmaktadır. Gıda, beslenme ve emzirme araçları, oyuncak, tekstil ve kozmetik gruplarındaki ürünlerin büyük çoğunluğu bağışıklık sistemleri henüz tam olarak gelişmemiş bebek ve çocuklara yönelik olduğu için ebeveynlerin algıları daha çabuk değişebilmektedir. Bunun farkında olan sektördeki işletmeler, uyguladıkları stratejilerle talebi sürekli canlı tutmaya çalışmaktadırlar. Ödeme alışkanlıklarındaki kolaylıkların da talep üzerindeki etkisi dikkate alındığında, sektördeki her sürecin dikkatle yönetilmesi gerektiği açıkça görülmektedir.

3.2. Araştırma Problemi

Çalışmada esas olarak bir üreticinin üretim ve stok yönetimindeki sorunları ele alınmaktadır. Söz konusu firma, Bursa'daki bir organize sanayi bölgesinde gerçekleştirmekte olduğu üretimle farklı kategorilerdeki ürünleri hem iç pazardaki birçok satış noktasıyla buluşturmakta hem de yurtdışına ihraç etmektedir. 2018 yılında tamamen yerli sermayeyle kurulan firmanın rakiplerinden en önemli farkı, böylesine kritik öneme sahip bir sektörde karbon salınımı gerçekleşmeyen bir ortamda silikondan mamul üreten Türkiye'deki tek tesis olmasıdır.

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, üretici farklı tedarikçiler üzerinden hammaddeyi temin etmekte ve hazırladığı reçetelerle mamul ve yarı mamul ürünler üretmektedir. Üretilen bu ürünler, en büyük müşterisi ile yapılan tedarikçi yönetimli envanter (VMI) anlaşmasına göre üreticinin kendi üretim merkezinde depolanmakta ve birçok operasyonel faaliyet üretici firma tarafından müşterisi adına burada yönetilmektedir. Son kullanıcılar ve satış noktalarından gelen talepler tek merkezde toplanarak üreticiye iletilmekte ve iletilen taleplere bu kanaldan cevap verilmektedir. Çalışma boyunca üretici firma üretim ve operasyon yönetim merkezi (ÜOYM), müşterisi ise stratejik yönetim merkezi (SYM) olarak ifade edilmektedir. ÜOYM ve SYM arasında tedarikçi-müşteri ilişkisi bulunmaktadır ve aralarında her ne kadar rekabete dayalı bir ilişki bulunsun da birbirlerinin en büyük tedarikçisi ve müşterisi konumunda olmaları

onların ortak bir paydada hareket etmeleri ihtiyacını doğurmuştur. ÜOYM, SYM adına bütün üretim ve stoklama faaliyetlerinin sorumluluğunu üstlenerek tesis içerisindeki süreçleri kontrol etmekte ve tedarikçilerinden gerekli satın alma işlemlerini sağlayarak zincirdeki arz-talep dengesini korumaya çalışmaktadır.



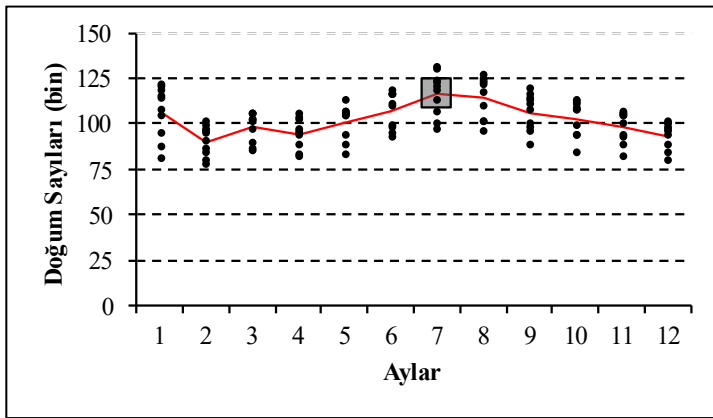
Şekil 3.1 Araştırma Probleminin Odak Noktası

Üreticiler; sektörün yapısı, üretim, depolama ve işgücü kapasitesi, teknolojik süreçlere yapılan yatırımlar ve müşterilerle yapılan anlaşmalar ölçüsünde genellikle sipariş üzerine üretim veya stok için üretim modellerinden birini tercih etse de uygulamada her iki model de kullanılabilir. Sipariş üzerine üretim modelinde talep olduğu anda üretim kararı alınmakta ve gerekmesi halinde özelleştirilmekteyken, stok için üretim modelinde özellikleri önceden tanımlanmış olan ürünler tarihsel verilerle yapılan talep tahmini analizine göre üretilmekte ve stoklar yenilenmektedir. Bu politikalar, firmaların kurumsal olarak kat ettikleri mesafeler ölçüsünde başarılı olmakta ve istikrarlı bir şekilde sürdürülmektedir. Ancak, yeterli düzeyde tahmin analizleri yapılmadığı için ÜOYM’de hangi üretim modelinin kararlılıkla takip edileceği değişkenlik gösterebilmektedir. Belirsizlikleri azaltmak yerine belirsizliğin yaratıldığı bu tür ortamlarda nihai ürün elde edilinceye kadar gecikmelerin ve israfların oluşması kaçınılmazdır.

Tedarik zincirinde kamçı etkisinden kurtulmanın en önemli yollarından biri tedarikçi-müşteri arasındaki veri iletişiminin kuvvetli olmasıdır. VMI sistemi, tam olarak bu etkinin azaltılması amacıyla geliştirilen bir yönetim felsefesi ve şeklidir. Ancak, çalışmaya konu olan ÜOYM’nin, rekabeti sürdürmek amacıyla uygulanan faaliyetler ve bunun sonucunda açığa çıkan talep dalgalanması hakkında SYM tarafından yeterince bilgilendirilmiyor olması, bu yönetim şekliyle çelişmektedir. Ayrıca, ÜOYM’nin mevcut koşullarda sistem içerisinde var olan doğru miktardaki mamul ve yarı mamul stok verisine tam zamanında erişemiyor olması, kampanya dönemlerinde veya düzensiz yapıda talebin iletildiği periyotlarda, üretimde darboğazların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu sorunların talep tahminine dayalı stok

modellemesiyle aşılabilmesi mümkünken, talep tahminlerinde istatistiksel veya modern yaklaşım teknikleri yerine yönetici görüşlerinin ağırlık kazandığı açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, bilgi teknolojilerinin yetersizliği, VMI şartlarının tam olarak yerine getirilmemesi ve hem tahmin süreçlerinde hem de stok modellemesinde nicel ve modern analiz tekniklerinden faydalanılmaması, önemli fırsat maliyetlerine, yok satmaya ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır.

Organizasyonun stratejik olarak benimsediği bazı yaklaşımlarında teorik gerçeklerle uyum gösteren destekleyici unsurlar olsa da bu kararların uygulanmasında bazı problemler yaşanmaktadır. Örneğin, TÜİK tarafından her yıl paylaşılan yenidoğan istatistiklerine göre son 10 yılda ortalama olarak en fazla doğum temmuz ayında gerçekleşmiştir. 116.074 olarak hesaplanan bu istatistik Grafik 3.1’de kare kutucuk ile işaretlenmiştir. Bu grafikte, 2013-2022 yılları arasındaki aylık ortalama doğum istatistikleri verilmektedir. Aylık değerler noktalarla, ortalamalar ise düz bir çizgi ile gösterilmektedir. Bu istatistiklerin artış gösterdiği periyotlarda son kullanıcılar tarafından satın alma refleksleri gelişmektedir ve sektördeki işletmeler, yoğunlukla bu istatistiğe göre kampanya dönemlerini belirlemektedir. Tedarik zincirinde yukarıya doğru ilerledikçe her bir tedarikçi kendini güvenceye almak ve rekabeti sürdürmek adına pazarlama, satın alma ve stok faaliyetlerini müşterilerin eğilimlerini dikkate alarak planlamaktadır.



Grafik 3.1 2013-2022 Yılları Arasındaki Aylık Ortalama Doğum İstatistikleri

Kaynak: TÜİK, 2023

SYM tarafından bu geleneğin korunduğu elde edilen verilerle doğrulanmaktadır. Buna göre, yıl içindeki yurtiçi satışlardan elde edilen cironun en önemli parçası kampanya dönemindeki satışlardan oluşmaktadır. Ancak, önceden ciddi talep yoğunluğunun yaşanacağı bilinmesine ve üstelik arka arkaya gelen yıllarda benzer talep yapılarıyla karşılaşılmasına rağmen, kayıp satış veya aşırı stok gibi sorunlarla etkin bir şekilde mücadele edilememektedir. Bunun yanında, talep yönetiminin gelişmesi bakımından SYM görüşlerine yer verilmesinin önemli bir avantaj sağladığı bilinmektedir. Çoğu araştırmada, yönetici

görüşlerinin nicel analizleri destekleyici nitelikte olmasına vurgu yapılmakta ve bu amaçla kullanıldığında daha gerçekçi değerlerin ortaya çıkabileceği ifade edilmektedir. Oysaki, SYM’de alınan ve ÜOYM’de uygulanan kararlarda yöneticinin etkisi orantısız bir şekilde üstün gelmektedir.

Yukarıdaki değerlendirmeler sonucunda, ÜOYM’nin karşı karşıya kaldığı sorunlara karşı çözüm olarak tek başına bilgi teknolojileri yatırımının veya daha işbirlikçi bir anlayışın yeterli olamayacağı görülmektedir. Operasyonel faaliyetlerin mümkün olan en az hata oranı ve maliyetle gerçekleştirilebilmesi için talep tahmini altında üretim ve stok modeline karar verilmesi büyük önem arz etmektedir. Modelleme yapılırken zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına dönüştüğünün dikkate alınması, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı bir biçimde probleme yaklaşılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.3. Araştırmanın Tasarımı

Araştırmanın uygulama bölümünde gerçekleştirilen işlemler bir özet halinde Tablo 3.1’deki gibi sunulmaktadır.

Tablo 3.1 Araştırmanın Uygulama Adımları

Adım	Süreçte Uygulanan İşlemler
1. Veri Toplama:	- Verilerin alınması - Verilerin kontrol edilmesi ve düzenlenmesi
2. Ürün Sınıflandırma:	- Sınıflandırma analizi için verilerin hazırlanması - Ürün gruplarına göre yıllık satış hacimlerinin belirlenmesi - SKU seçiminin daraltılması: Sınıflandırma analizi - Seçilen SKU’lara ait talep karşılanma oranlarının ve diğer tanımlayıcı istatistiklerinin gösterilmesi
3. Ön İşleme ve Ön Test:	- SKU talep değerlerinden oluşan serilerin uç değer analizi - Talep tahmini öncesi serilerin durağanlığının araştırılması
4. Talep Tahmini:	- Tahmin yöntemleri kullanılarak seriler için en uygun modellerin tahmin edilmesi: Parametre tahminleri - Her bir seri için en uygun tahmin yöntemine karar verilmesi - Normal dönemler için tahmin yöntemlerinin uygulanması - Kampanya dönemi için bir öneri sunulması
5. Üretim ve Stok Planlama:	- Talep tahminlerinin zaman periyotlarına yerleştirilmesi - Stok modeli için parametrelerin belirlenmesi ve hesaplanması - Önerilen stok modelinin oluşturulması - Önerilen modele göre üretim ve stok planlamasının yapılması - Mevcut politika ile önerilen modelin toplam maliyetlere göre karşılaştırılması

Tabloda ifade edildiği üzere, verilerin toplanmasından üretim ve stok modelinin oluşturulmasına kadar olan süreçte yapılan tüm işlemler, çalışmada genel olarak beş adımda özetlenmiştir. Öncelikle, firmadan alınan talep ve satış verilerinin tutarlılıkları, üretim ve stok noktalarından gelen verilerle karşılaştırılmış ve sonrasında bu veriler gerekli analizlerin yapılabilmesi için uygun zaman periyotlarına dönüştürülmüştür. Günlük olarak gerçekleşen

taleplerdeki sıfır gözlemlili değ erlerin sayısının haftalık periyotlara göre daha fazla olması (diğ er bir ifadeyle, talepteki değişkenliğin daha yüksek olması) ve haftalık talep karşılama oranlarının daha sağlıklı yorumlar yapmaya izin vermesi nedeniyle, günlük olarak elde edilen bütün talep ve satış verileri haftalık periyotlar halinde yeniden düzenlenmiştir.

İkinci adımda, firmanın çok sayıda SKU'ya sahip olması nedeniyle stratejik açıdan daha fazla öneme sahip SKU'ların analizi yapılmıştır. Bu amaçla, hem ürün gruplarının hem de stok kalemlerinin yıllık satış hacimlerine bakılarak önem sırasına göre sınıflandırılmaları sağlanmıştır. Yüksek öneme sahip SKU'lar belirlenirken bazı varsayımlara ihtiyaç duyulmuş ve bunlar bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

   nc  adımda, talep tahmin analizlerinin sağlıklı bir biçimde yürütülebilmesi için ifade edilen ön işleme ve ön test süreçlerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla ön işleme sürecinde, seçilen SKU'ların talep verilerinden oluşan zaman serilerinin uç değerleri araştırılmış ve kampanya dönemlerine denk gelen periyotlarda aşırı uç değerlerin yer aldığı g r lm ştir. Uç değerler, veri kaybına yol açmayacak şekilde düzleştirilmiştir. Bunun yanında, serilere ön test olarak ekonometri literatüründe önemli bir yere sahip olan durağanlık testleri yapılmıştır.

Dördüncü adımda, yeterli sayıda kampanyalı talep verisi bulunmadığından normal ve kampanyalı dönemler için farklı tahmin senaryoları uygulanmıştır. Normal dönemlerde meydana gelen talepler yığılmalı bir sistemle iki parçaya ayrılmış ve tahmin yöntemleri bu şekilde uygulanmıştır. Her bir seriye en çok uyum gösteren modeller belirlenmiştir. Tahmin edilen modellerle serilerin gelecek periyotlardaki talep değerleri  ng r lm ştir.  ng r len değerlerin gerçekleşen değerlere olan uzaklıkları belirli uyum istatistikleriyle ölçülmüş ve elde edilen hata oranlarına bakılarak en iyi performans gösteren tahmin yöntemlerine karar verilmiştir. Az sayıda da olsa, geçmişteki kampanya verilerinin gelecek dönemler için nasıl kullanılabileceği üzerine bir öneride bulunulmuştur.

Son adımda ise, belirlenen zaman periyotları için elde edilen talep  ng r leri, çalışmada önerilen stok modelinin girdileri olarak kabul edilmiştir. Stok modeli için ihtiyaç duyulan parametrelerle birlikte toplam stok maliyetleri hesaplanmıştır. Model tarafından hesaplanan toplam stok maliyetleri, üreticinin kendi politikaları sonucunda katlandığı stok maliyetleriyle karşılaştırılmıştır.

3.4. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan değişkenleri ve yapılan analizleri açıklamadan önce, çalışmaya veri kaynağı sağlayan ürünlerin nihai kullanıcıya ulaşmaya kadar geçirdikleri süreçler hakkında bir bilgilendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Sırasıyla; pazar yoklaması, tasarım aşaması, prototip incelemesi ve üretim için gerekli olan makine ve hammadde envanterinin tamamlanması aşamalarından geçen ürünlerin üretimine başlanmaktadır. Ürünler, tam bir seri otomasyon sürecinden geçirilerek üretilmemektedir. Bunun aksine, her bir süreçte yoğun işgücü kullanılmakta ve bu durum makine hataları dışında da kusurlu ürünlerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

ÜOYM'deki üretim hattı; hamur, pres, kalite kontrol (çapak alma), fırın ve paketleme olmak üzere beş ana bölümden oluşmaktadır. Üretim hattı boyunca ürünler sırasıyla bir dizi süreçten geçmektedir. İlk olarak, hammaddeler belirli reçetelere göre bir araya getirilmekte ve hamur makinesindeki silindirlerden geçirilerek tam olarak karışmaları sağlanmaktadır. Hamur haline getirilen karışımlar, uygun kalınlıklarda yapraklar haline getirilerek stoklanmakta ve ihtiyaç duyuldukça pres bölümüne sevk edilmektedir. İkinci olarak, pres bölümüne iletilen yapraklar, her bir ürün için özel olarak tasarlanan kalıplara göre kesilmekte ve parçalara ayrılmaktadır. Pres makinesine konan parçalar belirli bir ısı ve basınç altında pişirilmekte ve şekillendirilmektedir. Üçüncü olarak, her bir pres makinesinden çıkan ürünler kalite kontrol birimine alınarak üzerlerindeki fazla parçaların (çapakların) alınması sağlanmaktadır. Son olarak, kürlleme (fırınlama) işlemiyle sertlik kazandırılan ürünler sayımdan ve son kontrollerden geçirilerek paketlenmektedir. Depolama ve diğer lojistik operasyonlar ise bu aşamadan sonra devreye girmektedir. Ayrıca, ürünler son derece hassas tüketici grubuna hitap ettiği için bunların taşınması gereken bazı özellikler bulunmaktadır. Bu nedenle ürünlerin tamamı denetleyici firmalar tarafından uluslararası standartlara uygun olarak fiziksel ve kimyasal testlere de tabi tutulmaktadır.

SYM, farklı kategorilerde bulunan çok sayıda SKU'suyla geniş bir ürün portföyüne sahiptir ve her geçen gün bu çeşitlilik artmaktadır. Çalışmanın hazırlanması sürecinde de farklı SKU'lar ürün portföylerine eklenmiştir. Ancak tüm analizler, verilerin firmalardan çekildiği ve analizlerin yapılmaya başlandığı süre zarfındaki ürün portföyü baz alınarak yapılmıştır. Ana ürünler; emzik, diş kaşıyıcı ve beslenme araçları olmak üzere üç farklı kategoriye ayrılmıştır. Her bir ana ürün kategorisinin altında alt ürün grupları ve bu ürün gruplarındaki her bir ürünün de farklı renk seçenekleri mevcuttur. Örneğin, beslenme araçları ana ürün kategorisinde mama önlüğü, mama tabağı ve kapaklı kâse gibi alt ürün grupları yer almaktadır ve her bir ürün en az altı farklı renk (veya model) seçeneğine sahiptir. Herhangi bir

ürüne ait renk seçeneklerinin her biri tek başına bir ürünü (SKU) temsil etmektedir. Örneğin, yeşil renkli bir mama önlüğü ile pembe renkli bir mama önlüğü esasında iki farklı ürüne karşılık gelmektedir. Buradan hareketle, tamamı analizlere dahil edilemeyecek kadar fazla sayıda SKU söz konusudur ve bu nedenle öncelikle sınıflandırma analizinin yapılması gerekmektedir. Sınıflandırma sonucuna göre tercih edilen ürünlerin talep tahmini altındaki stok modelleme ve parti büyüklüğü belirleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadaki veriler, SYM ve ÜOYM'nin ticari yazılım alanında kullanmakta olduğu Mikro Yazılım isimli kurumsal kaynak planlaması (ERP) programından alınmıştır. Firmalar, bu alanda önemli referans kaynaklarından biri olan Mikro ERP programı sayesinde önemli muhasebe ve finans işlemlerini yürütmektedirler. Talep miktarı, satış miktarı ve ürün satış fiyatlarıyla ilgili verilere Mikro programından ulaşılmıştır. 2019-2021 yılları arasındaki üç yıllık talep ve satış verileri yapılan sorgulamalar sonucunda günlük periyotlar halinde elde edilmiş, daha sonra haftalık, aylık ve yıllık periyotlar halinde yeniden düzenlenmiştir. Firmaların politikaları gereği ürün satış fiyatlarının çalışmada açık bir biçimde paylaşılmasına izin verilmemektedir. Diğer parametrelere ait bilgiler ise ürünlerin açık isimleri verilmeden çalışmanın içerisinde yer almaktadır.

ÜOYM, üretim ve stok yönetiminde son derece önemli olan verilerin toplanması ve bu verilerin gerekli durumlarda analiz edilebilmesi için MS Excel dışında özel bir yazılım kullanmamaktadır. Dahası, stok miktarını anlık olarak kayıt altına alıp takip edebilecek bir sistem de bulunmamaktadır. Bu nedenle, stok miktarlarını ve fire oranlarını elde etmekte bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Ürünlere ait net stok miktarları ancak her ay yapılan envanter sayımından sonra çıkarılabilmekte, daha sonra Excel programındaki üretim ve Mikro programındaki satış verileriyle basit bir işleme tabi tutularak mevcut durumdaki stok miktarları hesaplanabilmektedir. Stok verilerinin temininde yaşanan zorluklardan dolayı ancak haftalık olarak 24 periyotluk stok verisine ulaşılabilmektedir. Firmalardan alınan verilerle yapılan analizler ÜOYM özelinde gerçekleştirilse de temel amaç, VMI sistemindeki problemlerin kapsamlı bir şekilde ele alınarak giderilmeye çalışılmasıdır.

Çalışmada üretimi tamamlanmış ve satışa hazır durumdaki mamul ürünlerin analizi yapılmaktadır. SYM'nin mamul ürün olarak kabul ettiği 79 adet SKU bulunmaktadır. Bu stok kalemlerinin tamamı için optimal stok miktarına ulaşmak mümkündür, ancak burada üzerinde durulması gereken asıl konu firma için gerçekte hangi ürünlerin değerce daha yüksek olduğuna ve hangi sıklıkta izlenmesi gerektiğine karar vermektir. Aksi durumda, firma için kritik öneme sahip olmayan ve sık izlenmesi gerekmeyen ürünlere ait yapılan analizler çalışmadaki odak noktasının kaçırılmasına neden olacaktır.

Bu nedenle, talep tahmini analizlerine geçmeden önce ilk olarak stok kalemlerinin sınıflandırılmaları gerekmektedir. Sınıflandırma analizi sayesinde firma, yatırım önceliklerini belirleyebilecek ve diğerlerine göre daha düşük öneme sahip ürünlerin elleçleme sürelerini kısaltabilecektir. Sınıflandırma analizi için ABC yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada yıllık satış hacimleri üzerinden sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre her bir SKU'nun birim satış fiyatı ve yıllık satış miktarı alınmış ve bu verilerin çarpılmasıyla yıllık satış hacimleri hesaplanmıştır. İlave olarak, sınıflandırma analizinden önce SKU'ların bağlı olduğu ürün gruplarının da yıllık satış hacimleri analiz edilmiştir.

SKU sınıflandırma analizinde ilk olarak 2019 yılına ait satış hacimleri elde edilmiş ve büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Daha sonra, sıralanan her bir ürünün kümülatif yüzde değerleri hesaplanmıştır. Son olarak, kümülatif yüzde değerleri ve toplam SKU sayıları dikkate alınarak A, B ve C sınıfı ürünler belirlenmiştir. Aynı işlemler 2020 yılı için de gerçekleştirilmiş ve bu iki yıla ait sınıflandırma sonuçları, çoğunluk yasasına göre değerlendirilmiştir.

2021 yılının ilk 24 periyodu için öngörülerin hesaplanmış ve üretim modellerinin çıkarılmış olması nedeniyle, sınıflandırma analizinin 2019 ve 2020 yılları için yapılması uygun görülmüştür. Sonuç olarak, sınıflandırma analiziyle öncelik sıraları belirlenen SKU'ların nihai seçimi, belirli varsayımlar altında gerçekleştirilmiş ve çalışmanın ilerleyen bölümlerinde belirlenen bu stok kalemlerinin talep tahmini ve stok modellemesi yapılmıştır.

3.4.1. Varsayımlar ve Kısıtlar

Nihai ürünler içerisinde sahip olunan tüm SKU'ların dikkate alınmasıyla yapılan sınıflandırma analizlerinin sonuçlarına göre esas olarak hangi ürünlerin analizlerde kullanılmak üzere tercih edilmesi gerektiğine karar vermek için bazı varsayımlara (seçim kriterlerine) ihtiyaç duyulmuştur. Bu varsayımlar aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- i. *Sınıflandırma sonucuna göre A sınıfında değerlendirilen SKU'lar içerisinde seçim yapılmalıdır.* Bu varsayım, firmanın daha yüksek öneme sahip ürünler üzerindeki kontrolü artırmasına ve hangi ürünleri daha sık görüntülemesi gerektiğini anlamasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, A sınıfı ürünlerin toplam satış hacminin yaklaşık olarak %70-80'ini oluşturduğu ve satış miktarlarının da talebin gerçekleşen yüzü olduğu unutulmamalıdır (analizler ve varsayımlar sonucunda seçilen stok kalemlerinin talep ve satış miktarlarının karşılaştırması ileride açıklanmıştır).

- ii. *Her ürün grubundan yalnızca bir adet SKU seçilmelidir.* Bu varsayım, sınıflandırma sonucunda belirlenen ürünlerin homojen bir dağılım oluşturmasını ve her bir ürün grubunun en yüksek satış hacmine sahip SKU ile temsil edilmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda, bir stok kaleminin farklı renklerinden (veya modellerinden) meydana gelen satışların birbirini pozitif veya negatif yönde etkilemeleri kısıtlanmış olacaktır.
- iii. *Birden fazla SKU'nun bir araya gelmesiyle oluşan ve "set" olarak mamul ürün kimliği kazanan stok kalemleri seçilmemelidir.* Böylece, stok kontrol sistemlerinde değinilen bağımlı talep yapısına sahip ürünlerin aynı anda seçilmesi engellenmiş olacaktır.
- iv. *Tedarik süreleri ve üretim süreçleri bakımından benzer özelliklere sahip SKU'lar seçilmelidir.* Farklı tedarik sürelerine sahip ürünler için stok modelinin oluşturulması, bu tez araştırmasının konusu değildir. Bu nedenle, seçilen ürünlerin benzer tedarik sürelerine sahip olması gerekmektedir. Tedarik süresini etkileyen en önemli faktörlerden biri, ürünlerin benzer üretim hattı süreçlerinden geçip geçmediğidir. Farklı süreçlerden geçen ürünler, süreç içerisindeki bağımlılıkları artırmaktadır. Seçilen ürünlerin, benzer üretim hattı süreçlerinden geçen ürünler arasından seçilmesi, onların farklı tedarik süresine sahip olmaları olasılığını da en aza indirecektir.

Uygulanan sınıflandırma analizleriyle amaçlanan, ürünlerin yıllık satış hacimlerine (firmaya sağladıkları yıllık kazançlara) göre önem derecelerini belirlemektir. Bu nedenle, her ne kadar gerçekte MRP sistemleri bağlamında nihai ürünlerin bağlı olduğu yarı mamuller bağımlı talep yapısı oluşturuyor olsa da, satış miktarlarına göre bir ayrıma gidilmemiştir. Diğer bir ifadeyle, bu çalışmanın odağında bağımsız talep yapısı gösteren ürünlere ait üretim ve stok planlarının talep tahmini altında nasıl şekillendirilmesi gerektiği bulunduğundan, bağımlı talep yapılarına ait analizlerin ayrı bir MRP çalışması kapsamında ele alınması önerilmektedir. Böyle olmakla birlikte, yıllık satış hacimlerinin hesaplanmasında satış miktarlarından yararlanıldığı da unutulmamalıdır.

3.4.2. Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması ve Karşılaştırılması

Sınıflandırma analizinden sonra, belirlenen SKU'lar için talep tahmini aşamasına geçilmiştir. Buradan elde edilen çıktılar daha sonra stok modellemesinde kullanılacaktır. Belirlenen zaman periyotları için öngörü değerleri elde edilmeden önce serilerin zaman yolu grafikleri incelenmeli, gerekiyorsa seriler ön işleminden geçirilmeli ve sonrasında ön testlere

tabi tutulmalıdır. Serilerin zaman yolu grafikleri incelendiğinde kampanya dönemlerine denk gelen periyotlarda aşırı uç değerlerin var olduğu tespit edilmiştir. Literatürde uç değerlerle karşılaşıldığında; bu değerlerin seriden çıkartılması, bir önceki değerle değiştirilmesi veya interpolasyonla düzleştirilmesi gibi farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Serilerdeki veri kaybını önlemek ve aynı zamanda dengeli bir dönüşüm sağlamak amacıyla lineer interpolasyon metodu kullanılmış ve uç değerler düzleştirilmiştir.

Talep tahmini analizlerinin hangi yöntemlerle ve nasıl yapıldığını açıklamadan önce, neden bu yıllara ait verilerin tercih edildiği ve haftalık zaman periyotları hakkında bilgi vermek yararlı olacaktır. Talep tahmini için yapılan analizlerde 2019 ve 2020 yıllarına ait verilerin kullanılmasının temel nedeni, bir yılın tamamını kapsayacak şekilde en sağlıklı verilerin ancak bu yıllarda temin edilebilmiş olmasıdır. Dolayısıyla, 2021 yılında temin edilen talep verileri, elde edilen öngörü değerlerini karşılaştırmak üzere kullanılmıştır. Haftalık periyotlar haline dönüştürülen tüm talep miktarlarına EK-1'deki tablodan ulaşılabilir.

Tahmin analizleri ve devamındaki modellemeler sonucunda yapılan karşılaştırmalar 2021 yılının ilk 24 periyodu için yapılabildiğinden ve ayrıca haftalık stok miktarlarının alınabilmesi için işgücüne dayalı sayım gerektiğinden, stok miktarları 24 periyotla sınırlı tutulmuştur. Dolayısıyla, 2019 ve 2020 yıllarına ait stok verilerine ihtiyaç duyulmamıştır. İhtiyaç duyulan 24 periyotluk stok miktarları ise EK-2'deki tabloda verilmiştir.

2019 ve 2020 yıllarında haftalık olarak toplam 105 adet gözlem değeri bulunmaktadır ve bu periyotlar içerisinde kampanya etkisiyle oluşan talep değerleri düzleştirilmiştir. Buna göre, öncelikle 105 adet gözlem değeri kullanılarak gelecek 9 periyot (2021 yılının ilk 9 haftası) için öngörüler yapılmıştır. Daha sonra, bu periyotlarda gerçekleşen talep değerleri 105 gözlemlili veri setine ilave edilerek yeni bir veri seti oluşturulmuş ve bu kez 114 adet veriyle kampanya dönemine kadar olan 10 periyotluk öngörüler yapılmıştır. Kısaca ifade etmek gerekirse, sırasıyla 105 ve 114 adet gözlem değeri kullanılarak toplamda 19 periyot için yığılmalı bir şekilde iki farklı tahmin analizi yapılmıştır. Kampanya dönemi için bakıldığında ise, öngörü yapılması planlanan periyot sayısı 4'tür. Ancak, hem kampanya dönemlerine ait gözlem sayısının çok az olması hem de kampanyaların yıl içerisinde farklı periyotlarda ve değişken sürelerde uygulanması, zaman serileriyle analiz yapılmasının önüne geçmektedir. Bu nedenle, kampanya dönemleri için farklı bir yaklaşımda bulunulmuştur.

Zaman yolu grafikleri incelenen ve bununla ilgili uç değer analizleri yapılan serilerin bir ön test olarak durağanlığının araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, ilk olarak her SKU'ya ait serinin korelogram grafiği incelenmiş ve devamında orijinal serilerdeki durağanlığın tespiti için birim kök testleri yapılmıştır. Bunun amacı, kampanya nedeniyle

meydana gelen şokların etkilerinin kalıcı olup olmadığını öğrenmektir. Ancak, model tahmini ve öngörüler için yapılan analizlerde interpolasyonu alınan zaman serileri kullanıldığı için, bu seriler üzerinde de birim kök testlerinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, sırasıyla 105 ve 114 gözlem sayısına sahip seriler üzerinde de durağanlık analizleri yapılmıştır.

Normal satış dönemlerindeki talebi öngörmek için basit üstel düzleştirme, ETS üstel düzleştirme ve Box-Jenkins tarafından önerilen ARIMA yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla öncelikle her bir seri için model tahminleri oluşturulmuş, birden fazla modelin ortaya çıktığı durumlarda ise modellerin uyum kriterlerine bakılarak seriye en fazla uyum gösteren tahmin modeline karar verilmiştir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerin yanında yapay zekâ tekniklerinden YSA'yla da öngörü işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için veri setleri, eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Zaman serileri analizinde, genellikle gözlem sayısının yüzde 10'u kadar ileriye yönelik tahminler yapılmaktadır (Irmak, 2009: 102) ve bu nedenle test veri setinin oranı, toplam gözlem sayısının yüzde 10'una karşılık gelecek şekilde belirlenmiştir. Bu oran, sadece teorik kapsamda değil, aynı zamanda uygulamadaki tahmin senaryolarıyla ve firmanın üretim kapasitesiyle de örtüşmektedir. Son olarak, hata değerlerine ait istatistiklere göre her seri için tahmin edilen modellerin performansı karşılaştırılmış ve en az hata oranına sahip yöntemin ortaya çıkardığı öngörüler devam eden analizlerde kullanılmıştır.

Zaman serileri analizi için gerekli olan test ve tahmin işlemlerinde EViews 9 istatistik programı ve Python (versiyon 3.11.3) programlama dili kullanılmıştır. Python programlama dilinin yazılabilmesi için Microsoft tarafından geliştirilen Visual Studio kod editörü tercih edilmiştir. Geleneksel zaman serisi yöntemleri Eviews paket programıyla uygulanırken, YSA ile zaman serileri analizi Python programlama dilinde yazılarak uygulanmıştır. Bu ve diğer tüm analizler, 3,20 GHz işlemci gücüne, 16,0 GB RAM desteğine ve 64-bit işletim sistemine sahip bir bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.4.3. Önerilen Üretim ve Stok Modeli

Talep tahmin analizleriyle normal dönemler için elde edilen 19 periyotluk öngörü değerleri, stok modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Kullanılan stok modeline karar vermek amacıyla öncelikle öngörülen talep değerlerinin yapısı incelenmiştir. Syntetos vd. (2005) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, bu değerlerin yeterince değişken olmadığı ve düzgün talep yapısına sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, deterministik dinamik stok modelinin oluşturulmasına karar verilmiştir.

Normal dönemler içerisindeki periyotlarda ne kadar üretim yapılması gerektiğini bulmak için dinamik programlama yaklaşımlarından W-W algoritması kullanılmıştır. Bunun

için bazı parametrelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu parametreler; üretime hazırlık ve elde stok bulundurma maliyetleridir. Üretime hazırlık sürecinde; kalıpların değiştirilmesi, esas üretime geçinceye kadar harcanan işgücü ve bu süreçte yaşanan malzeme kaybı gibi durumlar söz konusu olmaktadır. Bu nedenle, üretim raporlarındaki istatistiklere ve resmi kaynaklarda belirtilen ilgili zaman periyodundaki saatlik çalışma ücretlerine göre bu parametre değeri hesaplanmıştır. Elde bulundurma maliyetinin hesaplanmasında ise, Waters (2003: 53) tarafından önerilen tablodan yararlanılmıştır. Buna göre, elde bulundurma maliyetine etki eden temel faktörler arasında; faiz oranları, depolama alanı giderleri, çalıntı ve hasar sonucu meydana gelen kayıplar ve her türlü operasyonel faaliyetler gösterilmekte ve tüm bu faktörler birim üretim maliyeti cinsinden ifade edilebilmektedir. Bunun sonucunda, birim üretim maliyetinin yaklaşık olarak %20'sinin elde bulundurma maliyeti olarak kabul edilebileceği aktarılmıştır.

W-W yaklaşımının temel varsayımları arasında, talebin zamanında karşılanması ve üretimin yalnızca stok miktarının sıfıra düştüğü periyotlarda yapılması bulunmaktadır. Ancak, gerçek hayatta talebin zamanında karşılanmaması durumuyla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Üreticinin talep ve satış verileri de bu durumu desteklemektedir. Ayrıca, çalışmada öngörülen talep değerlerine göre üretim planı çıkaran W-W algoritması, bu haliyle bırakıldığında gerçekleşen talepleri zamanında karşılayabilecek güce sahip değildir. Dahası, bu çalışmada normal dönemler haricinde kampanya dönemleri için de modelleme yapıldığından, bu algoritmanın kampanya dönemlerini önceden kestirerek modelleme yapabilme olasılığı beklenenden oldukça uzaktır. Bu nedenle, talebin mümkün olduğunca zamanında karşılanabilmesi ve üretimin yalnızca stok miktarının sıfır olduğu durumlarda değil, aynı zamanda kampanya döneminin de dikkate alınarak yapılabilmesi için bir öneride bulunulmuş ve W-W algoritmasından elde edilen sonuçlar buna göre yeniden düzenlenmiştir.

Kampanya dönemindeki olası talepleri dikkate alan bir öneri sunmak için öncelikle üreticinin geçmiş kampanya dönemlerindeki talep verileri incelenmiştir. Önerinin yapılacağı kampanya döneminin bahar dönemine denk gelmesi nedeniyle, 2019 ve 2020 yıllarındaki yalnızca bahar kampanya verileri dikkate alınmıştır. Ancak, 2020 yılında ortaya çıkan COVID-19 pandemisi, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tedarik zincirlerinin büyük oranlarda aksamasına neden olmuş, dolayısıyla firmanın aynı yıl içerisinde mayıs ayında uygulamaya çalıştığı kampanyada istenilen hedeflere ulaşılamamış ve bunun sonucunda bahar kampanyası Eylül ayında tekrarlanmıştır. Bu nedenle, Eylül ayı içerisindeki bu periyotlarda uygulanan “telafi” kampanyası, aynı zamanda “bahar” kampanyası olarak değerlendirilmiş ve

bu periyotlarda oluşan talepler öneride bulunmak üzere kullanılan kampanya verilerine dahil edilmiştir.

Belirlenen SKU'lara yönelik oluşan toplam talebin her bahar kampanyasında artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bir sonraki kampanya döneminde oluşacak minimum talep miktarının, önceki bahar kampanyalarında ayrı ayrı gerçekleşen toplam talep miktarlarının maksimumu kadar olabileceği öngörülmüştür. 2021 yılı bahar kampanyası için beklenen toplam talebi karşılayacak parti büyüklüklerini belirlemeden önce, üretim raporları incelenmiş ve her SKU'nun haftalık maksimum üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Daha sonra, kampanya için beklenen toplam talepler, hesaplanan üretim kapasiteleri dikkate alınarak dört periyottan oluşan kampanya dönemine yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla dağıtılmıştır. Bu aşamada iki durumla karşılaşılabilir: Birincisi, beklenen toplam talebin dört periyotta üretilebileceği, diğeri ise kampanya stoku için daha fazla periyoda ihtiyaç duyulduğudur.

Birinci durumda, W-W algoritmasının normal dönemler (birinci ve ikinci öngörü dönemleri) için elde ettiği sonuçlar üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmayacak, yalnızca kampanya için beklenen toplam talebin ilgili periyotlara paylaştırılması yeterli olacaktır. Ancak ikinci durumun geçerli olması halinde, kampanya dönemi dışında da stok için üretim yapılması gerekecektir. Bu aşamada, eksik kalan üretim miktarları, ikinci öngörü döneminin en sonundan en başına doğru sönümlenecek şekilde ilave edilmiştir. Bu işlemlerde ürünlerin haftalık maksimum üretim kapasiteleri gözetilmiştir. İkinci öngörü döneminde üretilmesi planlandığı halde tam kapasiteye ulaşılması nedeniyle dışarıda kalan parti büyüklükleri, bu kez ikinci öngörü döneminin başından itibaren sırasıyla ilave edilmiştir. Bu sayede hem kayıp satış riskinin azaltılması hem de elde stok bulundurma sebep olacağı maliyetlerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Son olarak, talep tahmini ve kampanya etkisi altında hesaplanan yeni üretim miktarlarının gerçekleşen taleplere göre ne tür maliyetlere yol açtığı, kümülatif olarak hazırlanan grafikler yardımıyla açıklanmıştır. Grafiklerde 24 periyotluk zaman dilimi gösterilmiştir. Bunların 19'u normal dönemlerden ve 4'ü kampanya dönemlerinden oluşmaktadır. Ancak, kampanya bitimindeki son durumun da gözlemlenmesi amacıyla ilave bir periyot daha eklenmiş ve zaman dilimi 24 periyoda çıkarılmıştır. Grafiklerin ve diğer oransal değerlerin elde edilebilmesi için hazırlık ve elde bulundurma maliyetlerinin yanında birim üretim ve kayıp satış maliyetleri de kullanılmıştır. Belirlenen üç SKU'nun maliyet parametreleri birbirine çok yakın olduğundan dolayı, tek parametre kümesi oluşturulmuş ve maliyetler buna göre hesaplanmıştır. Dinamik programlamanın çalıştırılmasında ve kampanya dönemini dikkate alan önerinin sunulmasında Excel programından yararlanılmıştır.

3.5. Bulgular

2019 ve 2020 yıllarında üreticinin sahip olduğu 12 farklı ürün grubuna (PG) ait yıllık toplam satış hacimleri hesaplanmış ve bunlara göre “toplam yüzde” ve “kümülatif yüzde” değerleri elde edilmiştir. Ürün grupları, kümülatif yüzdelere göre sıralanmış ve sırasıyla Tablo 3.2 ve 3.3’teki gibi gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Ürün Gruplarına Göre 2019 Yılı Toplam Satış Hacimleri

Sıra No	Ürün Grubu (PG-#)	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
1	PG-5	2.239.326,05	21,86	21,86
2	PG-6	2.104.839,50	20,55	42,41
3	PG-12	2.094.361,80	20,44	62,85
4	PG-7	1.249.069,88	12,19	75,04
5	PG-1	1.213.848,25	11,85	86,89
6	PG-8	284.728,80	2,78	89,67
7	PG-10	278.430,38	2,72	92,39
8	PG-2	213.078,95	2,08	94,47
9	PG-9	204.591,78	2,00	96,47
10	PG-3	176.221,24	1,72	98,19
11	PG-11	107.094,29	1,05	99,23
12	PG-4	78.498,83	0,77	100,00

Tablo 3.3 Ürün Gruplarına Göre 2020 Yılı Toplam Satış Hacimleri

Sıra No	Ürün Grubu (PG-#)	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
1	PG-12	3.864.892,64	27,90	27,90
2	PG-6	3.445.205,45	24,87	52,77
3	PG-7	1.877.180,44	13,55	66,32
4	PG-5	1.095.040,49	7,90	74,22
5	PG-1	1.003.714,52	7,25	81,47
6	PG-8	722.719,28	5,22	86,68
7	PG-2	488.971,96	3,53	90,21
8	PG-10	390.802,28	2,82	93,03
9	PG-11	298.205,57	2,15	95,19
10	PG-9	255.664,75	1,85	97,03
11	PG-3	242.709,07	1,75	98,78
12	PG-4	168.468,83	1,22	100,00

Buna göre 2019 yılında en fazla satış hacmine sahip olan ürün grubu PG-5 olarak bulunmuştur. 2019 yılındaki yıllık satış hacimleri incelendiğinde ilk dört sırada yer alan ürün grubunun toplam satış hacminin yüzde 75’ini oluşturduğu görülmektedir. Bu gruba, beşinci sıradaki PG-1 dahil edildiğinde ise kümülatif yüzde değeri %80’nin üzerine çıkmaktadır.

Ürün gruplarının 2020 yılındaki yıllık satış hacimleri incelendiğinde 2019 yılına yakın değerlere ulaşılmıştır. 2020 yılında en fazla satış hacmine sahip ürün grubu PG-12 olarak elde edilmiş ve aynı ürün gruplarının (PG-12, PG-6, PG-7, PG-5 ve PG-1) toplam satış hacminin yüzde 81,47’sine karşılık geldiği görülmüştür. Bu durum, talep tahmini ve sonrasındaki

analizlerde kullanılacak olan SKU'ların büyük olasılıkla bu gruplar içerisinde seçileceği anlamına gelmektedir.

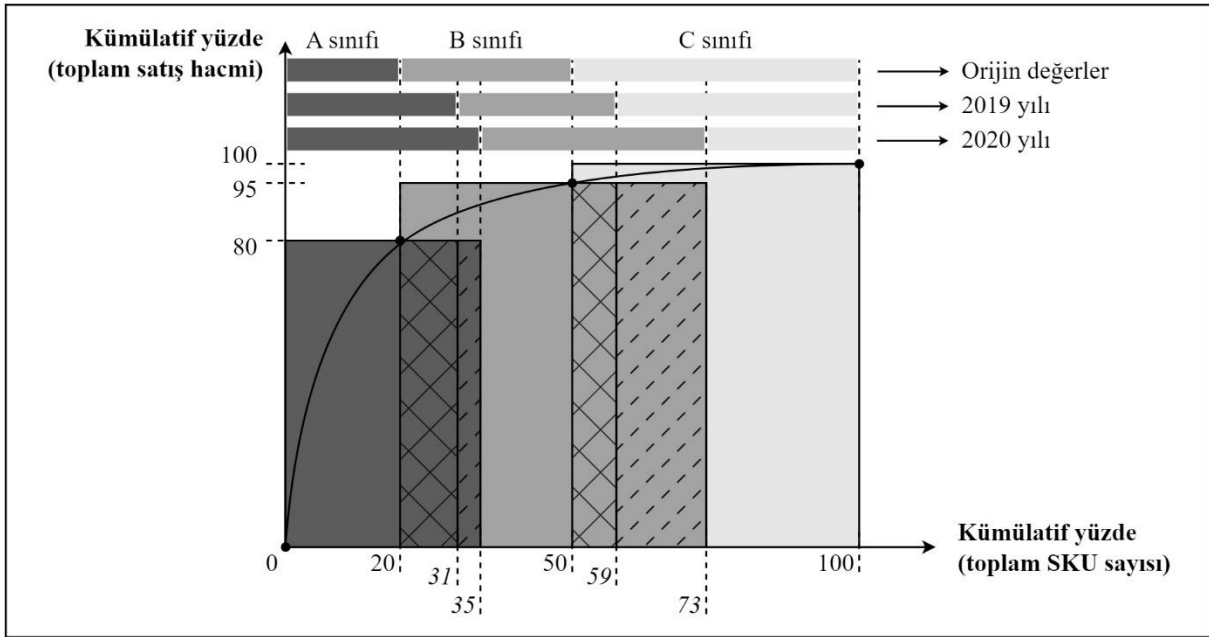
SKU bazındaki toplam satış hacimleri hesaplanırken benzer adımlar takip edilmiş ve SKU'lar sınıflandırılmıştır. Ancak, sonraki analizlerde kullanılacak olan SKU'ların seçim kriterinde tablolarındaki verilerin dışında bölüm 3.4.1'deki varsayımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu varsayımlar altında gerçekleştirilen sınıflandırma analizlerine ait tüm sonuçlar EK-3 ve EK-4'teki tablolarda verilmiştir. EK-3'te 2019 yılı ve EK-4'te ise 2020 yılı için SKU'lar sınıflandırılmıştır. Tablolarda her bir SKU'nun kodu, ait olduğu ürün grubu, yıllık toplam satış hacmi, yıllık toplam yüzdesi ve kümülatif yüzde değeri gösterilmektedir. Tabloların uzun olması nedeniyle akışı bozmamak adına bu bölümde tablolara yer verilmemiştir.

ABC analiz sonuçları ve varsayımlar birlikte değerlendirildiğinde, PG-12 ürün grubu (iii) varsayımına uymamaktadır. PG-12 ürün grubu "set" olarak kabul edilmekte ve içerisinde PG-5, PG-6 ve PG-8 gruplarından birer ürün bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle, PG-5, PG-6 ve PG-8 ürün gruplarındaki her bir ürün tek başına birer mamul ürün olarak kabul edilirken, PG-12 grubu içerisinde yarı mamul ürün kimliğine dönüşmektedir. Ancak, PG-12 ürün grubunun dışarıda bırakılmasının esas nedeni, PG-5 ve PG-6 gruplarının yüksek satış hacmine sahip olmaları nedeniyle bu gruptaki ürünlerin seçim sırasında daha fazla önceliği sahip olması ve aynı anda PG-12'deki herhangi bir ürünle tercih sırasında yan yana gelemeyecek olmasıdır. Dolayısıyla, PG-12 grubundaki ürünlerin seçilen SKU'lar arasında yer almaması gerekmektedir.

PG-1 grubu, diğer tüm gruplardan farklı olarak tekstil içerikli bileşenler içerdiği için farklı üretim süreçlerine ve dolayısıyla da farklı tedarik süreçlerine sahiptir. Bu nedenle, PG-1 ürün grubu (iv) varsayımını ihlal etmektedir. Sonuç olarak, diğer varsayımlar ve tablolarındaki çoğunluk yasası birlikte değerlendirildiğinde, PG-5, PG-6 ve PG-7 gruplarından en fazla satış hacmine sahip birer ürünün seçilmesi en doğru yaklaşım olmaktadır. Buna göre, PG-5, PG-6 ve PG-7 gruplarının sırasıyla en yüksek satış hacmine sahip SKU-27, SKU-33 ve SKU-39 ürünlerinin diğer analizlerde kullanılmak üzere tercih edilmesi uygun görülmüştür.

Grafik 3.2'de, 2019 ve 2020 yıllarındaki yıllık satış hacimleri ve SKU sayılarının ABC analizine göre nasıl dağıldıkları ve orijin değerlerle olan karşılaştırması gösterilmiştir. Dikey ekseninde yıllık olarak toplam satış hacimleri, yatay ekseninde ise toplam SKU sayıları kümülatif yüzdelerle verilmiştir. ABC analizi, Pareto ilkesi gereğince oluşan 80-20 oranını yalnızca bir öneri olarak sunmakta ve kesin sınırlar çizmemektedir. Buradaki amaç, SKU'ların değeri (TL cinsinden satış hacimleri) ve dağılımı hakkında kullanıcılara fikir sunmaktır. Bu kapsamda

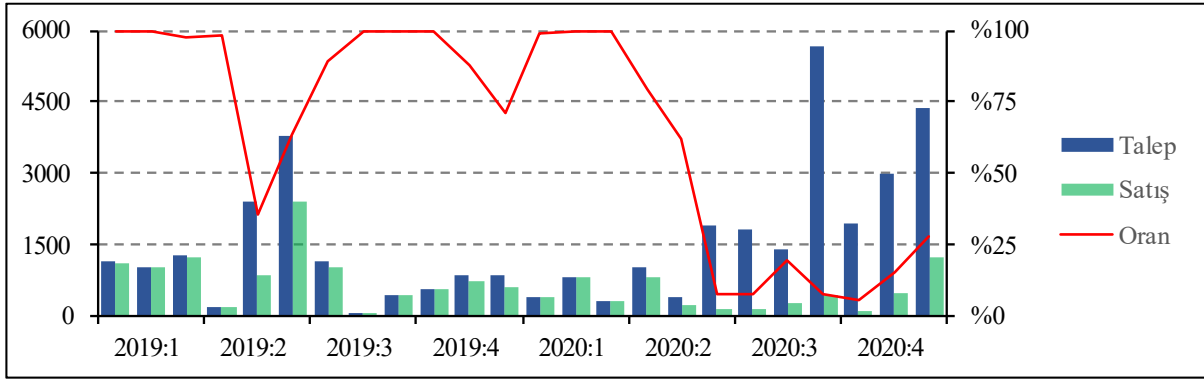
değerlendirildiğinde, 2019 ve 2020 yıllarında sırasıyla %80, %15 ve %5’lik dilimlere düşen SKU sayılarında ideal dağılım eğrisinden sapmalar görülmektedir.



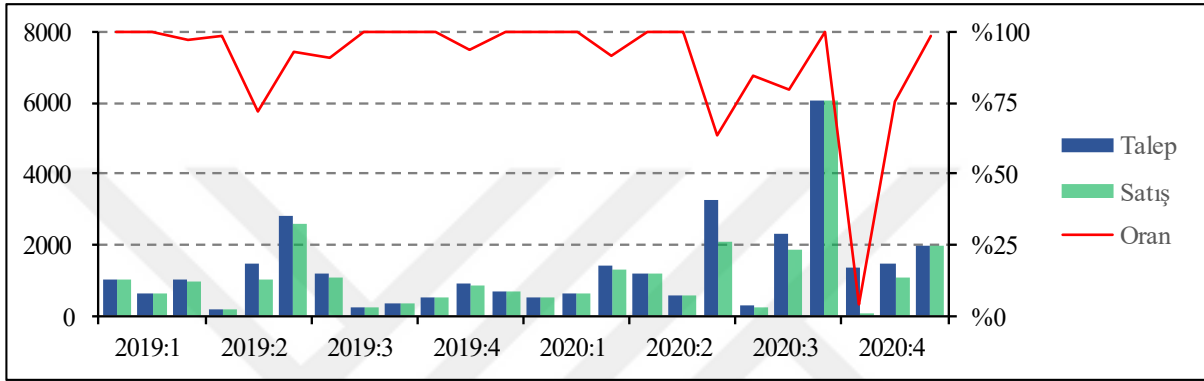
Grafik 3.2 A, B ve C Gruplarının Eğrisel Uyumu

Genellikle, bu yüzdelik dilimlerde SKU sayıları bazında kümülatif olarak sırasıyla %20, %50 ve %100’lük dağılımların oluşması beklenirken (A sınıfı için %20, B sınıfı için %30 ve C sınıfı için %50), analizler sonucunda bu değerler 2019 yılı için %31, %59 ve %100 şeklinde ve 2020 yılı için %35, %73 ve %100 şeklinde gerçekleşmiştir. B sınıfındaki ürünlerin yüzdelik değerlerinde belirgin bir değişme olmamıştır. A ve C sınıfındaki ürünlerde ise orijinden sapmalar meydana gelmiştir. A sınıfındaki SKU’ların sayısında zamanla bir artış yaşanırken, C sınıfındakilerde ise bunun aksine kademeli bir düşüş gerçekleşmiştir. Değerce yüksek olan SKU’ların sayısının fazla olması, firmanın (fazla stok bulundurduğu için) daha fazla fırsat maliyetiyle karşılaşma veya (eksik stok bulundurduğu için) satış kaybı sonrası önemli kazançlardan mahrum kalma riskini artırmaktadır.

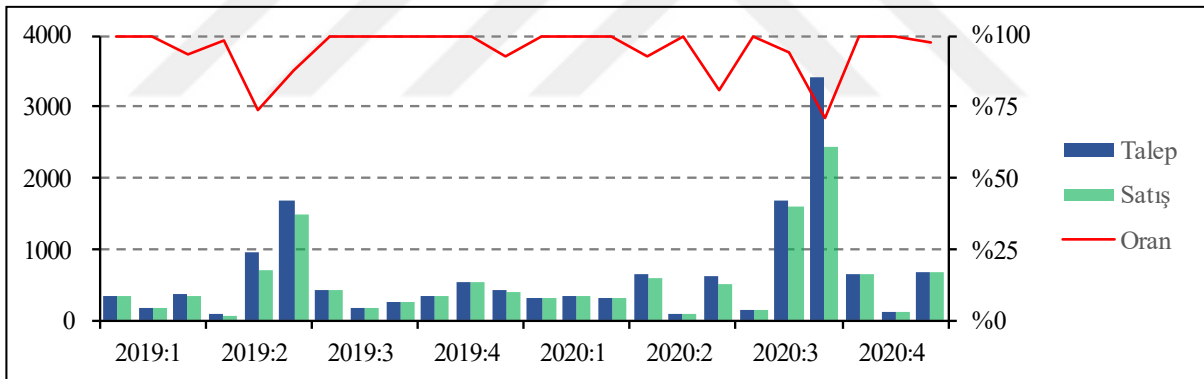
Grafik 3.3, 3.4 ve 3.5’te sırasıyla SKU-27, SKU-33 ve SKU-39 için aylık periyotlarda taleplerin karşılanma oranları verilmiştir. Grafiklerin solunda yer alan dikey eksenlerde miktarlar (ürünlerin talep ve satış miktarları), sağdaki dikey eksenlerde ise karşılanma oranları 36 aylık periyotlar halinde gösterilmektedir. Grafiklerin görsel açıdan daha anlaşılır olmasını sağlamak amacıyla haftalık periyotlar yerine aylık periyotlar tercih edilmiştir. Grafiklerin elde edilebilmesi için EK-5’teki aylık talep ve satış miktarları tablosundan yararlanılmıştır.



Grafik 3.3 SKU-27 için Aylık Karşılama Oranları



Grafik 3.4 SKU-33 için Aylık Karşılama Oranları



Grafik 3.5 SKU-39 için Aylık Karşılama Oranları

Talebin, görece daha düşük olduğu periyotlarda yüzde 100'e yakın oranlarda karşılanabildiği, ancak özellikle kampanya dönemlerine denk gelen periyotlarda yüzde 75'e yakın veya daha düşük oranlar yakalandığı görülmektedir. Ortalama olarak SKU-27 için %71 ve SKU-33 için %91 karşılama oranları yakalanmıştır. Bu durumun, hizmet düzeyinin genellikle yüzde 95 veya üzerine çekildiği ortamlarda önemli sıkıntılara neden olacağı açıktır. Yalnızca SKU-39 için %95'in üzerinde bir karşılama oranına ulaşılabildiği görülmektedir.

Bu grafikler, uç değerlerden arındırılmamış orijinal serilere aittir, ancak çalışmanın normal dönemleri için yapılan talep tahmini analizlerinde interpolasyon uygulanan seriler kullanılmıştır. Önceki bölümde de açıklandığı üzere, her bir SKU için normal dönemde ilk olarak 105 ve devamında 114 gözlemlili serilerle tahmin analizleri yapılmıştır. Tablo 3.4'te,

ifade edilen bu serilere ait bazı tanımlayıcı istatistiklere yer verilmiştir. SKU27, SKU33 ve SKU39 olarak belirtilen seriler, henüz interpolasyon uygulanmamış serilerdir. İnterpolasyon uygulandığını belirtmek için serilerin sonuna “INT” getirilmiştir. Serilerin, kampanya etkisi altındaki gözlem değerlerinden oluştuğunu göstermek için sonlarına “K” eklenmiştir.

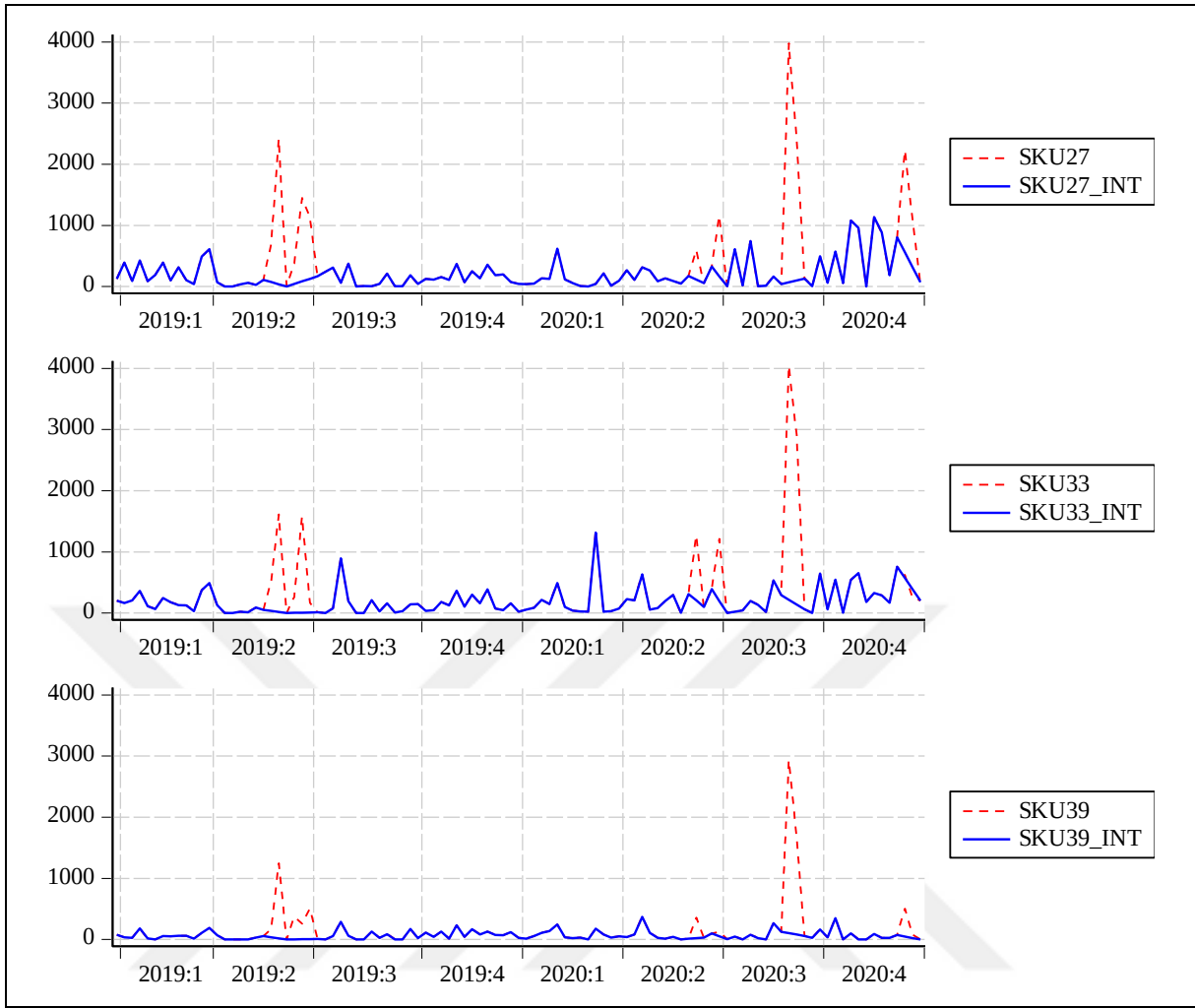
Tablo 3.4 Serilerin Tanımlayıcı İstatistikleri

SKU Serileri	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	Std. Sapma	Gözlem Sayısı
SKU27	347,71	127	0	3977	590,06	105
SKU27_INT	196,68	110	0	1136	239,94	105
SKU27_INT	202,78	115,25	0	1136	235,61	114
SKU27_K	1595,46	1157	380	3977	1065,57	11
SKU33	306,88	149	0	4041	553,45	105
SKU33_INT	186,24	129	0	1315	218,28	105
SKU33_INT	187,13	129,50	0	1315	216,12	114
SKU33_K	1314	1215	170	4041	1215,75	11
SKU39	139,90	56	0	2933	351,08	105
SKU39_INT	65,38	42	0	369	74,93	105
SKU39_INT	65,31	40,50	0	369	74,28	114
SKU39_K	747,73	365	80	2933	878,43	11

Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, kampanya dönemlerindeki ortalamaların ve değişkenliklerin normal döneme göre daha fazla olduğu görülmekte ve bu durum serilerdeki minimum-maksimum değerler tarafından da desteklenmektedir. Diğer bir ifadeyle, kampanya etkisi altındaki talep değerlerinin lineer interpolasyonla düzleştirilmesiyle hem ortalamalarda hem de standart sapmalarda önemli düşüşler meydana gelmiştir. Bu durum, dışarıdan yapılan müdahalenin serilerin değişkenliği üzerinde kuvvetli etkisi olduğunu göstermektedir, ancak bu etkinin kalıcı olup olmadığı durağanlık analiziyle araştırılmıştır. Tablo 3.4’te göze çarpan bir diğer husus, normal dönemlerdeki haftalık periyotlardan en az birinde üç stok kalemiyle ilgili olarak firmaya hiçbir talebin ulaşmamış olmasıdır.

SKU’lara ait serilerin interpolasyona uğramadan önceki ve uğradıktan sonraki zaman yolu grafikleri, Grafik 3.6’daki gibi haftalık periyotlarla gösterilmektedir¹³. 2019 ve 2020 yılında 11 adet kampanyalı gözlem değeri mevcuttur ve bu periyotlardaki gözlemler kesikli çizgilerle belirtilmiştir. Uç değerlerin düzleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan serilerin zaman yolu grafikleri ise düz çizgilerle gösterilmiştir.

¹³ Aylık karşılanma oranlarının yer aldığı grafiklerdeki talep değerleriyle SKU’ların uç değerlerinin gösterildiği grafikteki talep değerleri birbiriyle karıştırılmamalıdır. Grafik 3.3, 3.4 ve 3.5’teki talepler aylık periyotlar, Grafik 3.6’daki talepler ise haftalık periyotlar halinde verilmiştir.



Grafik 3.6 SKU'ların Uç Değerlerden Arındırılması

Zaman yolu grafiklerine göre, kampanyalarla yaratılan şokların etkisinin kalıcı olmadığına ve serinin kendi ortalaması etrafında hareket etmeye devam ettiğine yönelik bir kanaat oluşmaktadır. Bu amaçla, ilk olarak serilerin interpolasyon öncesi durağanlıkları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.5'teki gibi paylaşılmıştır.

Tablo 3.5'e göre, tüm serilerin interpolasyonu alınmadan önce de durağan oldukları %5 yanılma düzeyinde tespit edilmiştir. Bu durumun, "sabitli model" ve "sabitli ve trendli" modellerin her ikisi için de geçerli olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Buradan, serilerdeki şokların etkisinin uzun soluklu olmadığı ve kampanyalar uygulansa bile serilerin kendi ortalamaları etrafında hareket etmeye devam ettikleri sonucu çıkarılmaktadır. Ancak, her ne kadar bu seriler durağan olsalar da, kampanyalar serilerdeki değişkenliği artırmaktadır. Dolayısıyla, normal döneme ilişkin yapılan tahmin analizlerinde interpolasyonu alınan seriler tercih edilmiştir. Kampanyalar söz konusu olmadığında serilerin normal şekilde hareket edeceği gerçeği, bu kararda etkili olmuştur.

Tablo 3.5 Serilerin İnterpolasyon Öncesi Birim Kök Analizleri

Seri	Test	Sabitli Model		Sabitli ve Trendli Model	
		Test İstatistiği	Kritik Değer*	Test İstatistiği	Kritik Değer*
SKU27	ADF	-7,47	-2,89	-7,73	-3,45
	DF-GLS	-7,16	-1,94	-7,76	-3,03
	PP	-7,40	-2,89	-7,78	-3,45
	KPSS	0,45	0,46	0,19**	0,15
SKU33	ADF	-7,47	-2,89	-7,67	-3,45
	DF-GLS	-7,41	-1,94	-7,71	-3,03
	PP	-7,40	-2,89	-7,50	-3,45
	KPSS	0,39	0,46	0,08	0,15
SKU39	ADF	-7,10	-2,89	-7,14	-3,45
	DF-GLS	-7,05	-1,94	-7,20	-3,03
	PP	-7,04	-2,89	-7,03	-3,45
	KPSS	0,16	0,46	0,06	0,15

* %5 yanılma düzeyi için verilmiştir.

** Durağanlık hipotezi reddedilmektedir.

Tablo 3.6’da birinci öngörü dönemi öncesine ait birim kök analizleri yapılmıştır. Daha sonra, öngörü dönemi boyunca meydana gelen gözlemlerin seriye ilave edilmesiyle ikinci bir öngörüde bulunulduğu için ilave edilen gözlemlerin durağanlığı değiştirip değiştirmediği bilinmemektedir. Bu amaçla, ikinci öngörü dönemi için de birim kök testleri uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3.7’de paylaşılmıştır. Bütün birim kök analizlerinde uygulanan ADF, DF-GLS, PP ve KPSS testleri, hem sabitli hem de sabitli ve trendli modeller için kullanılmıştır. En uygun gecikme uzunluğu (maksimum değer 12 olarak girilmiştir) Schwarz bilgi kriterine (SIC) göre belirlenmiştir. Elde edilen test istatistikleri kritik değerlerle karşılaştırılmış ve buna göre serilerin birim kök içerip içermediği test edilmiştir.

Tablo 3.6 Birinci Öngörü Dönemi için Birim Kök Analizleri

Seri	Test	Sabitli Model		Sabitli ve Trendli Model	
		Test İstatistiği	Kritik Değer*	Test İstatistiği	Kritik Değer*
SKU27_INT	ADF	-2,94	-2,89	-3,33***	-3,45
	DF-GLS	-2,80	-1,94	-3,25	-3,03
	PP	-9,44	-2,89	-9,72	-3,45
	KPSS	0,43	0,46	0,17**	0,15
SKU33_INT	ADF	-9,63	-2,89	-10,38	-3,45
	DF-GLS	-9,65	-1,94	-10,06	-3,03
	PP	-9,64	-2,89	-10,40	-3,45
	KPSS	0,79**	0,46	0,11	0,15
SKU39_INT	ADF	-9,82	-2,89	-9,83	-3,45
	DF-GLS	-9,81	-1,94	-9,71	-3,03
	PP	-9,81	-2,89	-9,83	-3,45
	KPSS	0,17	0,46	0,09	0,15

* %5 yanılma düzeyi için verilmiştir.

** Durağanlık hipotezi reddedilmektedir.

*** Birim kök hipotezi reddedilememektedir.

Tablo 3.7 İkinci Öngörü Dönemi için Birim Kök Analizleri

Seri	Test	Sabitli Model		Sabitli ve Trendli Model	
		Test İstatistiği	Kritik Değer*	Test İstatistiği	Kritik Değer*
SKU27_INT	ADF	-3,03	-2,89	-3,50	-3,45
	DF-GLS	-2,89	-1,94	-3,48	-3,02
	PP	-9,87	-2,89	-10,15	-3,45
	KPSS	0,49**	0,46	0,13	0,15
SKU33_INT	ADF	-10,26	-2,89	-10,87	-3,45
	DF-GLS	-10,29	-1,94	-10,55	-3,02
	PP	-10,26	-2,89	-10,94	-3,45
	KPSS	0,79**	0,46	0,07	0,15
SKU39_INT	ADF	-10,43	-2,89	-10,43	-3,45
	DF-GLS	-10,38	-1,94	-10,37	-3,02
	PP	-10,43	-2,89	-10,43	-3,45
	KPSS	0,15	0,46	0,09	0,15

* %5 yanılma düzeyi için verilmiştir.

** Durağanlık hipotezi reddedilmektedir.

Tablo 3.6 ve 3.7 birlikte değerlendirildiğinde, SKU27_INT serisinin birinci analizinde sabitli ve trendli model için ADF ve KPSS testlerine göre durağan olmadığı, ancak serinin genişletilmesiyle yapılan ikinci analizde ise aynı modele göre tüm testlerde durağan olduğu görülmüştür. Bu durum, aslında SKU27_INT serisinin durağan olduğunu doğrulamaktadır. SKU33_INT serisi için yapılan analizlerde, yalnızca sabitli modelin kullanıldığı KPSS birim kök testine göre %5 yanılma düzeyinde serinin durağan dışı olduğu görülmüş, bunun haricindeki tüm model ve testlerde ise durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak, yapılan tüm testlerde SKU39_INT serisinin birim kök içermediği tespit edilmiştir. Durağanlık analizlerinde, Eviews programında yer alan ve literatürdeki uygulamalarda sıklıkla tercih edilen birim kök testleri kullanılmıştır. Testlerdeki hipotezlerin nasıl kurulduğuyla ilgili teorik açıklamalar için Mert ve Çağlar (2023) tarafından hazırlanan eser incelenebilir.

Bu aşamadan sonra, her iki öngörü dönemi için tek üstel düzleştirme (T-ÜD), ETS üstel düzleştirme (ETS-ÜD), ARIMA ve YSA yöntemleri kullanılarak parametre tahminleri yapılmıştır. Buna göre ortaya çıkan modellerin hata istatistikleri incelenerek her seri için en iyi öngörü değerlerini sunan yöntemle karar verilmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen öngörüler, üretim ve stok politikası için oluşturulan modellerde kullanılmıştır.

Tablo 3.8’de, birinci öngörü dönemine ait parametre tahminleri yer almaktadır. T-ÜD yönteminde her bir seri için α düzleştirme parametreleri tahmin edilmiştir. ETS-ÜD yönteminde ise, sırasıyla hata, trend ve mevsimsel bileşenlere ait olan α , β ve γ parametreleri, en uygun model tahminlerini veren yöntemlerle birlikte verilmiştir. Buna göre, AMSE değerinin minimizasyonu yoluyla tahmin edilen modeller, model seçim kriterlerine göre en uygun sonuçları vermiştir.

Tablo 3.8 Birinci Öngörü Dönemi için Parametre Tahminleri

Yöntem		SKU27_INT	SKU33_INT	SKU39_INT
T-ÜD	Parametre	$\alpha = 0,146$	$\alpha = 0,058$	$\alpha = 0,001$
ETS-ÜD	Model	M, N, N (AMSE)	A, A, N (AMSE)	A, N, N (AMSE)
	Parametre	$\alpha = 0,140$	$\alpha = 0,000$ $\beta = 0,000$	$\alpha = 0,000$
ARIMA	Model	ARMA(1, 2) F = 8,390*	ARMA(1, 1) F = 3,429**	ARMA(2, 2) F = 2,830**
	Katsayı	C = 195,984* AR(1) = 0,762* MA(1) = -0,801* MA(2) = 0,369*	C = 483456,5 AR(1) = 1,000* MA(1) = 0,986*	C = 65,057* AR(1) = -0,123*** AR(2) = -0,770* MA(1) = 0,196* MA(2) = 0,966*
	DW	1,91	2,06	2,06
	Kalıntılar	Temiz dizi	Temiz dizi	Temiz dizi
	Topoloji	1:12:6:1	1:12:1	1:12:1

* %1 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

** %5 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

*** %10 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

Bölüm 2.3.2.4'te açıklandığı üzere, α parametresi hata bileşenine karşılık gelmekte ve bu bileşen toplamsal (A) ya da çarpımsal (M) olabilmektedir. β ve γ parametreleri ise, sırasıyla trend ve mevsimsel bileşeni ifade etmektedir. Bu bileşenler seride toplamsal (A) veya çarpımsal (M) olabileceği gibi ilgili bileşenlerin hiç olmaması (N) durumu da söz konusu olabilmektedir. Hiç yer almadıkları takdirde, Eviews programı ilgili bileşene ait parametre tahmin çıktısını sonuç ekranında göstermemektedir.

Buna göre, SKU27_INT ve SKU39_INT serileri için tahmin edilen modellerde yalnızca α parametresinin yer alması, serilerde trend ve mevsimsel bileşenlerin bulunmadığı anlamına gelmektedir. SKU33_INT serisinin ETS-ÜD ile yapılan model tahminine göre modelde toplamsal trend bileşeninin yer aldığı ifade edilse de, β parametresi 0 olarak hesaplanmıştır ve bu durum seride trend bileşeninin olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır.

ARIMA modelleriyle yapılan analizlere göre, seriler için tahmin edilen modellerin anlamlı oldukları görülmektedir. İyi bir modelde; tahmin edilen tüm AR ve MA katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olması, Durbin-Watson (DW) istatistiğine göre kalıntılarda otokorelasyon olmaması ($1,7 < DW < 2,3$) ve model tahmininden elde edilen kalıntıların temiz dizi özelliği göstermesi (kalıntıların korelogram grafiklerindeki tüm gecikmeler için AC ve PAC katsayılarının istatistiksel olarak anlamsız olması) gerekmektedir. Birinci ve ikinci öngörü dönemleri için ARIMA model tahminlerine ait kalıntılardan elde korelogram grafiklerindeki tüm istatistikler sırasıyla EK-6 ve EK-7'de verilmiştir. Seriler için elde edilen model tahmin sonuçları, bu koşulların tamamının yerine getirildiğini doğrulamaktadır.

YSA ile gerçekleştirilen model tahmininde Irmak (2009: 113) tarafından en iyi sonuçları ürettiği tespit edilen farklı topolojiler sırasıyla denenmiş ve hem eğitim hem de test veri setleri için en yüksek R-kare değerine sahip topolojiler belirlenmiştir. Buna göre, SKU27_INT serisi için iki adet gizli katman bulunurken diğer seriler için tek gizli katman elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan topolojiler, EK-8’de YSA için geliştirilen kodlar arasında gösterilmiştir.

Birinci tahmin analizinde kullanılan yöntemlerin öngörü performansları, Tablo 3.9’da gösterilmiştir. Karşılaştırmalarda RMSE, MAE ve Theil’in U1 istatistiklerinin yanında, sıfır gözlemlili değerlerin meydana getirdiği sorunlarla karşılaşmamak için MAPE yerine SMAPE ve MASE istatistikleri kullanılmıştır. U1 hata istatistiklerine göre tahmin edilen modellerin verilere iyi uyum sağladığı görülmektedir. Tüm istatistikler birlikte değerlendirildiğinde, SKU27_INT serisi için ARIMA modelinin, SKU33_INT ve SKU39_INT serileri için de YSA yönteminin öngörüler için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 3.9 Birinci Öngörü Dönemi için Tahmin Yöntemlerin Karşılaştırılması

Seri	Yöntem	RMSE	MAE	SMAPE	MASE	THEIL U1
SKU27_INT	T-ÜD	230,321	199,363	67,347	0,896	0,305
	ETS-ÜD	230,000	199,111	67,309	0,895	0,304
	ARIMA	174,345	129,184	58,440	0,580	0,328
	YSA	190,499	143,823	62,873	0,646	0,384
SKU33_INT	T-ÜD	210,741	203,692	93,425	0,818	0,374
	ETS-ÜD	213,732	207,989	94,334	0,835	0,373
	ARIMA	211,498	205,328	93,798	0,825	0,372
	YSA	197,119	163,892	82,276	0,658	0,409
SKU39_INT	T-ÜD	66,356	56,921	101,954	0,666	0,432
	ETS-ÜD	66,271	58,353	102,636	0,683	0,420
	ARIMA	74,154	62,923	102,323	0,736	0,469
	YSA	66,214	57,334	101,287	0,671	0,418

Tablo 3.10’da, ilk 9 haftalık periyoda karşılık gelen birinci öngörü dönemindeki değerlere ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Gerçek ve öngörü değerlerinin standart sapması (s) bu değerlerin ortalamasına ($\bar{X}$) bölünerek değişkenlik katsayıları (CV) elde edilmiştir. Tüm serilerin öngörülen değerlerine ait standart sapması, gerçekleşen değerlerin standart sapmasından daha düşük çıkmıştır. Bu durum, değişkenlik katsayılarına da yansımış ve düşüşler gözlemlenmiştir. Bölüm 2.3’te açıklanan ve buna göre elde edilen CV^2 ve p istatistikleri, gerçekleşen ve öngörülen değerlerin sıfır gözlemler içerse de aralıklı olarak ifade edilemeyeceğine ve öngörülen talep değerlerindeki değişkenliğin oldukça düşük olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 3.10 Birinci Öngörü Dönemine ait Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistikler	SKU-27		SKU-33		SKU-39	
	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri
$\bar{X}$	274,00	206,67	197,44	206,89	64,56	68,89
s	171,90	53,16	200,58	23,10	70,29	7,51
CV	0,63	0,26	1,02	0,11	1,09	0,11
CV^2	0,40	0,07	1,04	0,01	1,19	0,01
p	1,00	1,00	1,00	1,00	1,29	1,00

Tablo 3.11, 3.12 ve 3.13'te, birinci öngörü dönemi için uygulanan adımlar sırasıyla tekrar edilmiştir. İlk olarak, her seri için parametre tahminleri yapılmış ve en uygun modellere karar verilmiştir. Parametre tahminlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.11'de gösterilmiştir. Buna göre, üstel düzleştirme yöntemleriyle tahmin edilen parametrelerde ufak değişiklikler olmuştur. Tahmin edilen katsayılar dışında ARIMA modellerinde bir değişiklik yaşanmamış ve birinci model tahmin sonuçlarındaki gibi iyi bir model için gerekli olan koşullar sağlanmıştır. YSA ile tahmin edilen modellerin topolojilerinde bir önceki analize göre farklılıklar meydana gelmiştir.

Tablo 3.11 İkinci Öngörü Dönemi için Parametre Tahminleri

Yöntem		SKU27_INT	SKU33_INT	SKU39_INT
T-ÜD	Parametre	$\alpha = 0,142$	$\alpha = 0,042$	$\alpha = 0,001$
ETS-ÜD	Model	M, N, N (Log-likelihood)	M, A, N (AMSE)	A, N, N (AMSE)
	Parametre	$\alpha = 0,153$	$\alpha = 0,000$ $\beta = 0,000$	$\alpha = 0,000$
ARIMA	Model	ARMA(1, 2) F = 8,753*	ARMA(1, 1) F = 2,730***	ARMA(2, 2) F = 1,992***
	Katsayı	C = 206,827* AR(1) = 0,753* MA(1) = -0,795* MA(2) = 0,378*	C = 316,564 AR(1) = 0,989* MA(1) = -0,985*	C = 65,864* AR(1) = -0,185* AR(2) = -0,806* MA(1) = 0,230* MA(2) = 0,961*
	DW	1,93	2,05	2,06
	Kalıntılar	Temiz dizi	Temiz dizi	Temiz dizi
YSA	Topoloji	1:12:1	1:4:2:1	1:12:6:1

* %1 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

** %5 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

*** %10 yanılma düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 3.12'de, ikinci öngörü dönemindeki tahmin yöntemlerinin hata istatistikleri hesaplanmış ve her bir seri için kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır. Birincisinden farklı olarak, SKU27_INT serisi YSA ve SKU39_INT serisi T-ÜD ile en iyi öngörü sonuçlarını verirken, SKU33_INT serisi ise aynı şekilde YSA yöntemiyle en iyi sonuçları üretmiştir.

Tablo 3.12 İkinci Öngörü Dönemi için Tahmin Yöntemlerin Karşılaştırılması

Seri	Yöntem	RMSE	MAE	SMAPE	MASE	THEIL U1
SKU27_INT	T-ÜD	226,261	193,748	98,010	0,922	0,393
	ETS-ÜD	225,138	192,768	97,907	0,917	0,392
	ARIMA	172,299	143,279	93,431	0,682	0,342
	YSA	163,132	137,531	95,461	0,654	0,369
SKU33_INT	T-ÜD	153,237	133,871	78,827	0,946	0,347
	ETS-ÜD	183,088	167,586	87,476	1,184	0,380
	ARIMA	159,525	141,080	80,783	0,997	0,355
	YSA	131,157	113,458	74,420	0,802	0,329
SKU39_INT	T-ÜD	44,532	41,518	94,974	0,775	0,359
	ETS-ÜD	45,741	42,730	95,479	0,798	0,360
	ARIMA	53,084	48,177	103,758	0,900	0,399
	YSA	48,776	45,981	98,565	0,859	0,371

İkinci öngörü dönemi için hesaplanan öngörü sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 3.13'teki gibi gösterilmiştir. Birinci öngörü döneminde tanımlayıcı istatistiklerle ilgili yapılan yorumların benzer şekilde burada da geçerli olduğu görülmektedir. Dikkat çekici tek unsur, SKU-39 ürünü için oluşan öngörü serisinin standart sapması ve değişkenlik katsayısının sıfır olarak kayda geçmiş olmasıdır. En iyi öngörü sonuçlarına T-ÜD yöntemiyle ulaşıldığı için bu tür bir durumla karşılaşmıştır.

Tablo 3.13 İkinci Öngörü Dönemine ait Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistikler	SKU-27		SKU-33		SKU-39	
	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri	Gerçek Değerler	Öngörü Değerleri
$\bar{X}$	198,00	196,44	161,67	262,22	50,89	62,00
s	170,72	22,49	132,79	18,62	42,98	0,00
CV	0,86	0,11	0,82	0,07	0,85	0,00
CV^2	0,74	0,01	0,67	0,01	0,72	0,00
p	1,29	1,00	1,13	1,00	1,29	1,00

Sonuç olarak, SKU-27 ürünü için sırasıyla ARIMA ve YSA, SKU-33 ürünü için yalnızca YSA ve SKU-39 ürünü için yine sırasıyla YSA ve T-ÜD yöntemleri, serilerin öngörü değerlerini elde etmek üzere kullanılmıştır. Tahmin yöntemleriyle hesaplanan öngörüler, ilk olarak 9 ve daha sonra da 10 periyotluk üretim ve stok modellerinde kullanılmıştır. Öngörü serilerindeki değişkenliğin yeterince yüksek çıkmaması, stok modellerinde sezgisel modeller yerine dinamik modellerin tercih edilmesine yol açmıştır.

Üretim ve stok modelleri için öngörülen talep değerlerinin dışında ihtiyaç duyulan önemli parametreler bulunmaktadır. Bunlar; üretime hazırlık maliyeti (c_k), elde bulundurma maliyeti (c_h), üretim maliyeti (c_Q) ve bu çalışma özelinde gerek duyulan kayıp satış maliyetidir (c_{LS}). c_k ve c_h parametrelerinin nasıl hesaplandığı bölüm 3.4.2'de belirtilmiştir. c_Q , analizlerin yapılmakta olduğu zaman periyodunda firma raporlarında yer alan birim

üretim maliyetine, c_{LS} ise bir birim ürünün kayıp satışa dönüşmesi halinde yoksun kalacağı satış fiyatına karşılık gelmektedir. Buna göre; $c_k = 800$ TL/üretim, $c_h = 6$ TL/adet, $c_Q = 30$ TL/adet ve $c_{LS} = 50$ TL/adet olarak hesaplanmıştır.

W-W algoritması çalışma prensibiyle oluşturulan dinamik stok modeline göre, her bir ürün için normal dönemleri içeren haftalık periyotlar boyunca hangi periyotlarda (t) ve ne kadar (Q) üretim yapılması gerektiği Tablo 3.14'te gösterilmiştir.

Tablo 3.14 Dinamik Stok Modeline Göre Belirlenen Üretim Modeli

Birinci öngörü dönemine ait sonuçlar						İkinci öngörü dönemine ait sonuçlar					
SKU-27		SKU-33		SKU-39		SKU-27		SKU-33		SKU-39	
t	Q	t	Q	t	Q	t	Q	t	Q	t	Q
1	348	1	210	1	126	10	179	10	200	10	124
2	181	2	193	-	-	11	170	11	213	-	-
3	185	3	194	3	120	12	212	12	203	12	124
4	187	4	184	-	-	13	198	13	248	-	-
5	189	5	199	5	188	14	195	14	205	14	124
6	191	6	246	-	-	15	222	15	183	-	-
7	192	7	185	-	-	16	160	16	215	16	124
8	193	8	243	8	155	17	221	17	199	-	-
9	194	9	208	-	-	18	211	18	190	18	124
						19	222	19	173	-	-

Talep öngörülleri ve hesaplanan parametreler doğrultusunda, SKU-27 ve SKU-33 stok kalemlerinin her iki dönemdeki tüm periyotlarda, SKU-39'un ise genellikle ardışık periyotlar halinde üretiminin yapılması gerektiği görülmektedir (üretimin yapılmaması gerektiğini ifade etmek için “-” sembolü kullanılmıştır). Ancak, bir önceki bölümde de ifade edildiği üzere, üretici yılın belirli periyotlarında farklı nedenlerle kampanyalar uygulamakta ve kampanya etkisini göz önünde bulundurarak üretim ve stok planlamasını yönetmektedir. Tablo 3.15'te, kampanyaların uygulandığı periyotlarda SKU'lar için oluşan talep miktarları ve bu kampanyaların nedenleri verilmiştir.

Tablo 3.15 Kampanya Dönemine Denk Gelen Periyotlardaki Talep Miktarları

Periyot No	Tarih	SKU-27	SKU-33	SKU-39	Kampanya Nedeni
1	20.05.2019 - 25.05.2019	697	515	175	Bahar
2	27.05.2019 - 01.06.2019	2415	1613	1246	Bahar
3	10.06.2019 - 15.06.2019	380	265	365	Bahar
4	17.06.2019 - 22.06.2019	1451	1578	260	Bahar
5	24.06.2019 - 29.06.2019	1140	170	504	Bahar
6	08.06.2020 - 13.06.2020	599	1271	356	Bahar
7	29.06.2020 - 04.07.2020	1157	1215	120	Bahar
8	31.08.2020 - 05.09.2020	3977	4041	2933	Telafi
9	07.09.2020 - 12.09.2020	2410	2906	1680	Telafi
10	14.12.2020 - 19.12.2020	2228	618	506	Miktar indirimi
11	21.12.2020 - 26.12.2020	1096	262	80	Miktar indirimi

Çalışmada, bahar ve telafi nedeniyle uygulanan kampanya verileri dikkate alınmıştır. 2020 yılı haziran ayında uygulanan kampanyadan pandemi nedeniyle verim sağlanamamış ve kampanyanın tekrarlanmasına karar verilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada “telafi” olarak adlandırılan kampanya, aslında bahar kampanyasının yerini tutmaktadır.

Kampanya etkisinin sürece dahil edilmesi, W-W tabanlı dinamik modelin ürettiği Tablo 3.14’teki sonuçların yetersiz kalmasına ve üretim miktarlarının yeniden hesaplanmasına neden olmuştur. Tablo 3.16’da, üreticinin normal ve kampanya dönemlerinden oluşan toplam 23 periyotluk üretim miktarları (Q_E) ve hesaplanan yeni üretim miktarları (Q_Y) karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.16 Eski ve (Kampanya Etkisiyle Oluşan) Yeni Üretim Modeli Sonuçları

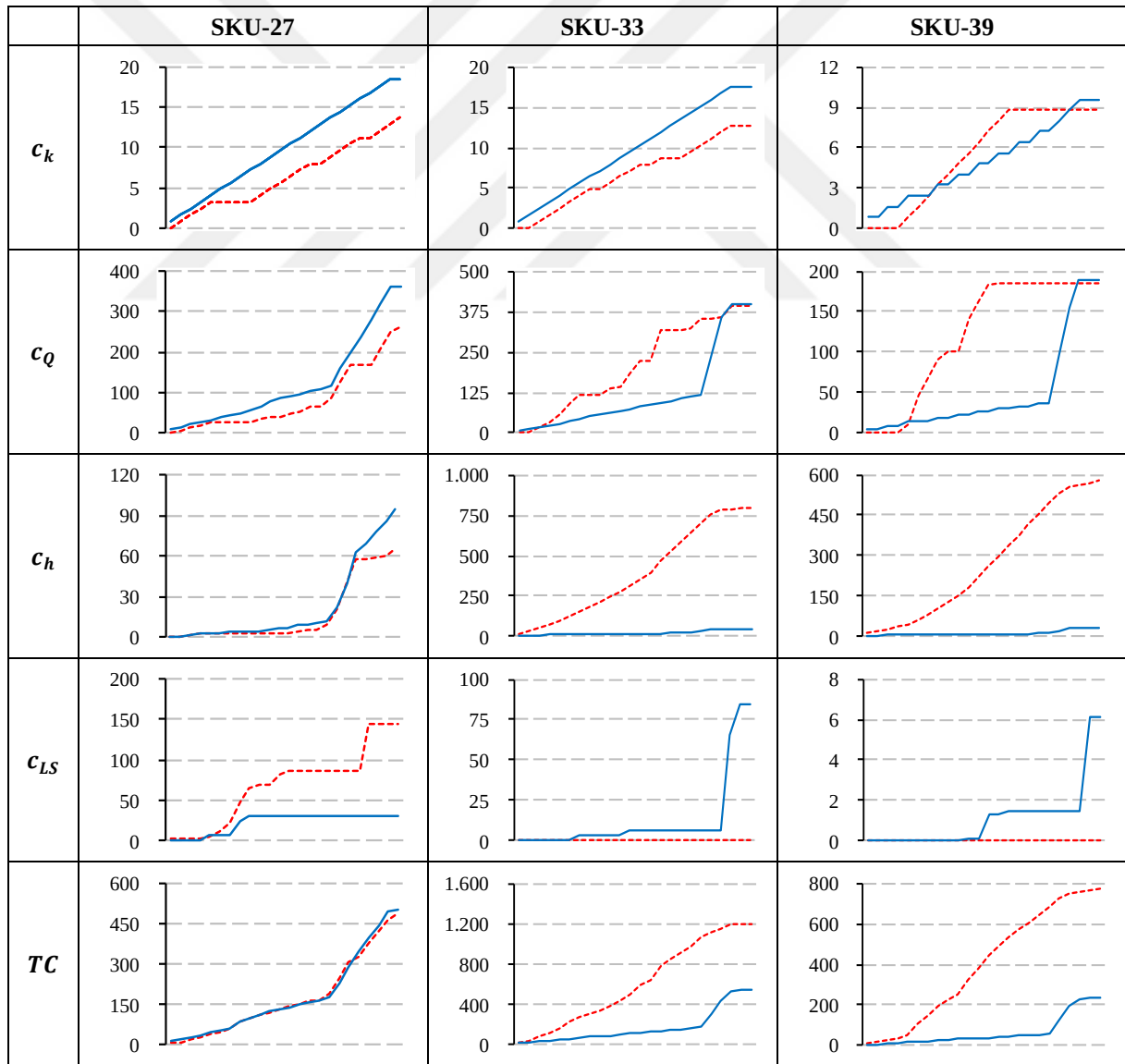
t	SKU-27		SKU-33		SKU-39	
	Q_E	Q_Y	Q_E	Q_Y	Q_E	Q_Y
1	0	348	0	210	0	126
2	144	181	0	193	0	0
3	285	185	593	194	0	120
4	149	187	527	184	0	0
5	324	189	785	199	298	188
6	0	191	1234	246	1253	0
7	0	192	722	185	624	0
8	0	193	90	243	829	155
9	0	194	0	208	347	0
10	268	390	624	200	21	124
11	168	392	253	213	1292	0
12	24	212	1203	203	698	124
13	178	198	1504	248	760	0
14	168	195	0	205	51	124
15	459	222	3156	183	12	0
16	0	160	0	215	0	124
17	724	300	0	199	0	0
18	1344	1344	89	190	0	124
19	1344	1344	981	173	0	0
20	14	1344	72	4016	0	1980
21	0	1344	72	4016	0	1980
22	1344	1344	1189	1401	0	1129
23	1344	1344	0	0	0	0

Üretim raporları incelendiğinde, bir periyotta üretilebilecek maksimum ürün miktarının; SKU-27 için 1344, SKU-33 için 4016 ve SKU-39 için 1980 olduğu tespit edilmiştir. Yeni üretim miktarlarının hesaplanmasında bu değerler ve bir önceki bölümde açıklanan öneri dikkate alınmıştır. Tablodaki kesikli çizgiler, hem normal dönemleri kendi içerisinde ayırmak hem de normal dönemleri kampanyalı dönemlerden ayırmak amacıyla kullanılmıştır.

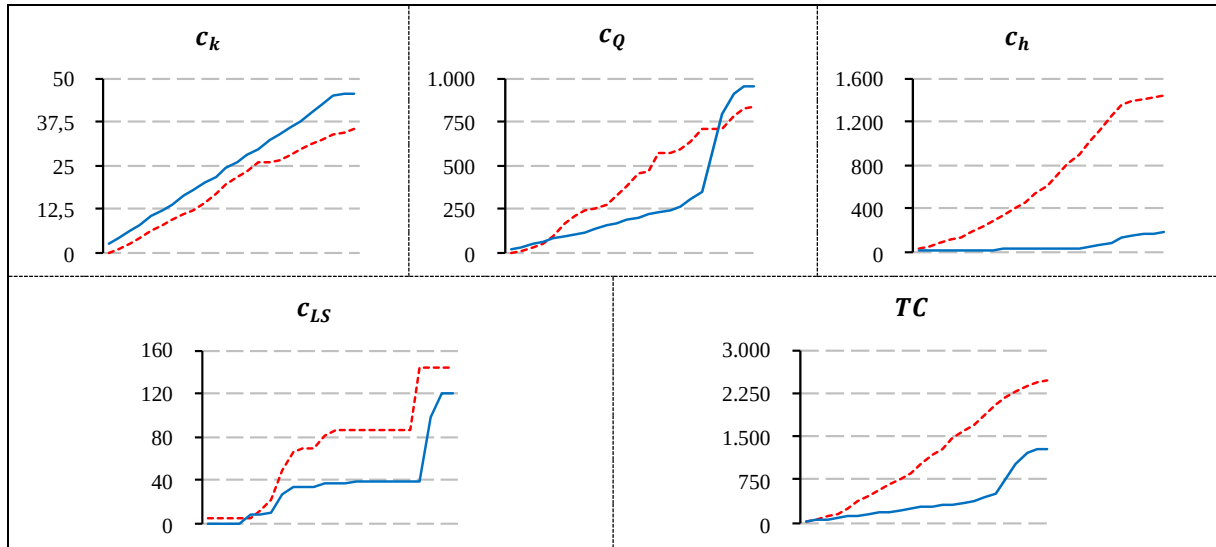
Dikkat edilecek olursa, Tablo 3.14’te W-W algoritması tarafından 1-9 arasındaki periyotlar için hesaplanan parti büyüklüklerinin kampanya etkisine rağmen Tablo 3.16’daki

yeni üretim miktarı sütunlarında değişiklik yapılmamıştır. Çünkü, ikinci öngörü dönemindeki talep miktarlarının elde edilebilmesi ve bunlara bağlı olarak hesaplanan üretim miktarlarının ve kampanya etkisi nedeniyle ne kadarlık ilave üretim yapılması gerektiğinin yeniden hesaplanabilmesi için birinci öngörü döneminin tamamlanmış olması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, onuncu periyottan itibaren alınacak olan kararların ilk 9 periyot üzerinde hiçbir etkisi olmayacaktır. Ayrıca, kampanya etkisi nedeniyle alınması planlanan önlemlerin birinci öngörü dönemine yüklenmesi, üretim planlaması açısından gerekçi bir yaklaşım olmayacaktır.

Buna göre, eski ve hesaplanan yeni üretim miktarları kullanılarak, üreticinin kendi politikaları sonucunda katlanmak zorunda olduğu ve *uygulanmış olması halinde* sahip olabileceği maliyetler çıkarılmış ve Grafik 3.7 ve 3.8’deki gibi özetlenmiştir. Bu grafiklerde üreticinin modeli ile çalışma tarafından önerilen modelin sonuçları, maliyetler üzerinden karşılaştırılmıştır. Tüm grafikler (bin) TL para birimine göre kümülatif olarak hazırlanmıştır.



Grafik 3.7 SKU’ların Ayrı Ayrı Toplam Üretim ve Stok Maliyetleri (bin TL)



Grafik 3.8 SKU'ların Birlikte Toplam Üretim ve Stok Maliyetleri (bin TL)

Ayrıca, yukarıdaki grafiklerden farklı olarak, önerilen modellerin geçmiş politikalara nasıl etki ettiğini açıklamak üzere değişim oranları hesaplanmış ve Tablo 3.17'deki gibi gösterilmiştir. Maliyetler bölümündeki oransal değerlerin pozitif işaretli olması, önerilen modelin eski modele göre daha tasarruflu olduğunu, negatif işaretli olması ise daha maliyetli olduğunu ifade etmektedir. Benzer düşünce yapısı talep karşılama bölümünde de yer almaktadır. Bu satırlarda, önerilen modelin karşılama oranları ve bunların altında (parantez içinde) oransal değişimler verilmiştir.

Tablo 3.17 Önerilen Modellerin Geçmiş Politikalara Göre Katkısı (%)

		SKU-27	SKU-33	SKU-39	Birlikte toplam
Maliyetler	c_k	-35,29	-37,50	-9,09	-29,55
	c_Q	-36,66	-1,76	-1,83	-12,69
	c_h	-45,94	94,15	94,73	88,09
	c_{LS}	78,86	-	-	15,81
	TC	-3,74	54,57	9,53	47,77
Talep Karşılama	ND	85,73 (26,51)	96,46 (-3,54)	97,21 (-2,79)	91,25 (11,41)
	KD	100,00 (16,32)	86,60 (-13,40)	98,27 (-1,73)	93,09 (-2,19)

Grafik 3.7 ve 3.8'de kümülatif olarak gösterilen maliyetler sırasıyla; üretime hazırlık (c_k), üretim (c_Q), elde bulundurma (c_h), kayıp satış (c_{LS}) ve toplam maliyetler (TC)'dir. Tüm maliyetlerin hesaplanması ve kümülatif olarak gösterilmesi için EK-9, EK-10 ve EK-11'deki kaynak tablolardan yararlanılmıştır. Tablo 3.18'deki notasyonlar kaynak tabloların sütunlarına karşılık gelirken, denklemler ise önerilen modellere ait satır ve sütun değerlerini elde etmek üzere kullanılmıştır.

Tablo 3.18 Maliyetlerin Oluşturulmasında Kullanılan Notasyonlar ve Denklemler

Notasyonlar	Q_t : t . periyottaki üretim miktarı c_{k_t} : t . periyottaki üretime hazırlık maliyeti c_{Q_t} : t . periyottaki üretim maliyeti h_t : t . periyotta elde kalan stok miktarı c_{h_t} : t . periyottaki elde stok bulundurma maliyeti LS_t : t . periyottaki kayıp satış miktarı c_{LS_t} : t . periyottaki kayıp satış maliyeti D_t : t . periyotta gerçekleşen talep miktarı S_t : t . periyottaki satış miktarı (zamanında karşılanan talep miktarı) TC_t : t . periyotta gerçekleşen toplam maliyet
Denklemler	$c_{k_t} = \begin{cases} c_k, & Q_t > 0 \\ 0, & Q_t = 0 \end{cases} ; (c_k = 800)$ $c_{Q_t} = c_Q \cdot Q_t ; (c_Q = 30)$ $c_{h_t} = c_h \cdot h_t ; (h_t = 6)$ $h_t = \begin{cases} Q_t - D_t, & Q_t > D_t \\ 0, & Q_t \leq D_t \end{cases} ; (t = 1)$ $h_t = \begin{cases} Q_t - D_t + h_{t-1}, & Q_t + h_{t-1} > D_t \\ 0, & Q_t + h_{t-1} \leq D_t \end{cases} ; (t > 1)$ $c_{LS_t} = c_{LS} \cdot LS_t ; (c_{LS} = 50)$ $LS_t = D_t - S_t$ $S_t = \begin{cases} D_t, & Q_t \geq D_t \\ Q_t, & Q_t < D_t \end{cases} ; (t = 1)$ $S_t = \begin{cases} D_t, & Q_t + h_{t-1} \geq D_t \\ Q_t + h_{t-1}, & Q_t + h_{t-1} < D_t \end{cases} ; (t > 1)$ $TC_t = c_{k_t} + c_{Q_t} + c_{h_t} + c_{LS_t}$

Grafik 3.7'ye göre, SKU-27'ye ait önerilen modeldeki; c_k 'nin %35,29, c_Q 'nin %36,66 ve c_h 'nin %45,94 oranında daha yüksek olduğu, c_{LS} 'nin ise %78,86 oranında daha düşük olduğu görülmüştür. Önerilen model yardımıyla satış kayıplarının büyük oranda önüne geçildiği, buna rağmen önerilen modelin üreticinin kendi modelinden toplamda %3,74 oranında daha fazla maliyetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. SKU-33 için incelendiğinde; önerilen modelin c_k bazında %37,50 ve c_Q bazında %1,76 daha maliyetli olduğu tespit edilmiştir. Üreticinin kendi politikası nedeniyle hiçbir satış kaybına müsaade etmediği, ancak bunu sağlamak için önerilen modele göre %94,15 oranında daha fazla c_h maliyetine katlandığı görülmüştür. Toplam maliyetler bakımından, önerilen modelin %54,57 daha kazançlı olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer sonuçlar SKU-39 için de gerçekleşmiştir. Buna

göre, üretici modeli c_k 'ya göre %9,09 ve c_Q 'ya göre %1,83 daha az maliyetli çıkarken, yüksek müşteri memnuniyeti yakalamak adına savunduğu politikalar, %94,73 oranında daha fazla c_h 'ye yol açmıştır. SKU-39 için hesaplanan TC ise, üretici modeline göre %9,53 oranında daha iyi sonuçlar üretmiştir.

İşletme için en yüksek satış hacmine sahip bu ürünlerin birlikte sebep olduğu toplam maliyetler Grafik 3.8'deki gibi analiz edilmiştir. Buna göre, önerilen model c_k bazında toplamda %29,55 ve c_Q bazında da toplamda %12,69 oranında daha fazla maliyetli bulunmuştur. Ancak, önerilen modelin daha güçlü olması nedeniyle c_h 'de %88,09 ve c_{LS} 'de %15,81 oranında daha iyi performans sergilediği gösterilmiş ve bunun sonucunda da daha yüksek müşteri memnuniyetiyle toplamda %47,77 oranında tasarruf sağladığı kanıtlanmıştır.

Son olarak, normal dönemler (ND) için talep karşılama oranları incelendiğinde, SKU-27'ye ait oranda önerilen model sayesinde %26,51'lik artış sağlanmış ve talebin %85,73'ünün zamanında karşılanabildiği görülmüştür. SKU-33 ve SKU-39'a ait oranlarda %3'e yakın oranlarda düşüş yaşanmış olmasına rağmen, %95'in üzerindeki oranlarla talepler zamanında karşılanabilmiştir. Üç SKU birlikte ele alındığında ise, ND'de önerilen modelin %11,41 daha iyi sonuçlar ürettiği ve bu sayede %91,25 memnuniyet düzeyinin yakalandığı görülmüştür. Kampanya dönemlerine (KD) bakıldığında, SKU-27'ye ait taleplerin %100'ünün, SKU-33 ve SKU-39'a ait taleplerin ise sırasıyla %86,60 ve %98,27'sinin zamanında karşılanabildiği tespit edilmiştir. Üç ürün birlikte değerlendirildiğinde, eski modele göre %2'ye yakın bir düşüş yaşanmasına rağmen, %93,09'luk bir orana ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Çalışmada, tedarikçi yönetimli envanter sistemiyle hareket eden, üretim ve stok maliyetlerini olabildiğince düşürmeyi amaçlayan ve bunları da müşteri hizmet düzeyini üst düzeyde tutarak gerçekleştirmek isteyen bir üreticinin yaşadığı sorunlar, bir gerçek hayat problemi olarak ele alınmış ve akademik bir bakış açısıyla giderilmeye çalışılmıştır. Üretici, normal ve kampanya dönemlerinde iletilen talepleri zamanında karşılamayı hedeflemektedir, çünkü üreticinin zamanında karşılanamadığı talepler doğrudan satış kaybına dönüşmektedir. Bu durum, mevcut sorunun çözümünü daha zor hale getirmekte ve üreticiyi kayıp satış maliyetleriyle stok bulundurma maliyetleri arasında ödünleşmeye mecbur bırakmaktadır.

Stok kontrol sistemlerinin en büyük amacı, yüksek getirisi olan ürünlerin daha az getiriye sahip olan ürünlerden ayırt edilerek daha sık periyotlarla kontrol edilmelerini sağlamak ve buna göre üretim ve stok planlamasına yardımcı olmaktır. Buradan hareketle ilk olarak, üreticinin ürün yelpazesi içerisindeki tüm stok kalemlerinin 2019 ve 2020 yıllarındaki toplam satış hacimleri analiz edilmiş ve ürünler önem derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Bunun için ABC sınıflandırma analizi uygulanmıştır. A sınıfındaki ürünlerin özelliklerine ve ait oldukları ürün gruplarına göre oluşturulan seçim kriterlerinin sonucunda, yüksek getiriye sahip üç adet stok kaleminin (SKU-27, SKU-33 ve SKU-39) seçilebilir olduğu görülmüştür.

Belirlenen stok kalemlerinin geçmiş yıllara ait talep verileri haftalık periyotlar halinde derlenmiş ve 2021 yılı için tahminler yapılmıştır. Tahmin yöntemi olarak, geleneksel zaman serisi yaklaşımlarından üstel düzleştirme ve ARIMA modelleri tercih edilmiş, ayrıca veri madenciliği yöntemlerinden yapay sinir ağları kullanılmıştır. Talep değişkenliğini düşürmek ve bu sayede elde edilen tahminlerin doğruluğunu artırmak amacıyla, zaman serisindeki uç değerler (kampanya dönemine denk gelen talep değerleri) lineer interpolasyon tekniğiyle düzeltilmiş ve böylece veri kaybının da önüne geçilmiştir. Ayrıca, tahmin yöntemleri uygulanmadan önce serilerin durağanlığı test edilmiş, her durumda serilerin kendi ortalamalarına geri döndükleri ve kampanyaların kalıcı şoklara sebep olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmadaki tahmin yöntemleri arasından en iyi öngörülerini sağlayan yöntemlere karar vermek amacıyla RMSE, MAE, SMAPE, MASE ve Theil'in U1 hata istatistikleri kullanılmıştır.

Çalışmada üzerinde durulan konulardan biri, öngörülerin sadece normal dönemler için değil, aynı zamanda kampanya dönemleri için de yapılmış olmasıdır. Gözlem sayısının genişliği ölçüsünde öngörülen periyot sayısına karar verildiğinden dolayı, normal dönemler için yapılan tahminler önce 9 ve sonra 10 periyot olacak şekilde yığılmalı veri seti

kullanılarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci ve ikinci öngörü döneminde SKU-27 için ARIMA ve YSA, SKU-33 için sadece YSA ve SKU-39 için YSA ve T-ÜD yöntemlerinin sırasıyla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Öngörülen taleplerin yapısı incelenmiş ve buna göre normal dönemlerdeki üretim miktarlarını belirlemek üzere W-W dinamik programlama algoritması kullanılmıştır.

W-W algoritmasının ürettiği sonuçların bu haliyle kampanya dönemine ait yüksek talepleri dikkate alamadığı görülmüş ve bu nedenle kampanya dönemini de göz önünde bulundurarak üretim planlamasını yapabilen bir öneri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu öneri sayesinde W-W algoritmasından elde edilen sonuçlar yeniden düzenlenmiştir. Öngörülen talep değerlerine göre her bir SKU için yeniden oluşturulan modellerin, 2021 yılında gerçekleşen talep miktarları altındaki performansları analiz edilmiş, üretim ve stok maliyetleri hesaplanmıştır. Karma model yardımıyla elde edilen toplam maliyetin, üreticinin kendi politikaları sonucunda katlanmak zorunda olduğu toplam maliyetten %47,77 oranında daha az maliyetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, önerilen modeller sayesinde taleplerin, normal dönemlerde %91,25 ve kampanya döneminde %93,09 gibi yüksek oranlarda zamanında karşılanabildiği görülmüştür. Sonuç olarak, zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına dönüştüğü bir ortamda, kampanya etkisini dikkate alabilen bir dinamik programlama ile doğru zamanda ve doğru miktarda üretim yapılabileceği ve böylece hizmet düzeyinden ödün vermeden maliyetlerin düşürülebileceği gösterilmiştir.

Firmadan edinilen talep verilerinin 2019, 2020 ve 2021 yıllarıyla, stok verilerinin ise 2021 yılındaki 24 periyotla sınırlı kalması, sonuçların geçmiş politikalara yönelik yapılmasına neden olmuştur. Ayrıca, kampanya dönemlerindeki gözlem sayısının sınırlı olması, gelecek kampanya dönemindeki taleplerin zaman serileriyle analiz edilmesine engel olmuştur. Az sayıdaki kampanya verisine rağmen kampanya etkisini dikkate alabilen tutarlı bir model önerisinde bulunulmuştur. Çalışmadaki bir diğer kısıtlayıcı durum ise, analizlerin yapılmaya başlandığı andan itibaren zamanla çeşitlilik arz eden ürün yelpazesinin değişmeden sabit kaldığının kabul edilmesidir. Ancak, daha fazla sayıda veriyle çalışılacak duruma gelindiğinde veya geriye kalan stok kalemleri için de analizler tekrarlanacak olduğunda, benzer sonuçlarla karşılaşılacağına dair önemli ipuçları bulunmaktadır.

Zamanında karşılanamayan taleplerin doğrudan satış kaybına dönüştüğü durumlar, optimal politikaların geliştirilmesindeki zorluklar nedeniyle literatürde oldukça az çalışılmış ve araştırmacıların ağırlıklı olarak siparişlerin tamamen bekletildiği veya bir kısmının satış kaybına dönüştüğü durumları ele aldıkları görülmüştür. Bu çalışmayla birlikte doğrudan satış kaybının da yaşanabileceği ve önlem alınmadığı takdirde işletmelerin elde bulundurma

maliyetiyle kayıp satış maliyeti arasında bir denge kuramayarak önemli maliyet sorunlarıyla karşı karşıya kalabilecekleri gösterilmiştir. Böylece, ödünleşimin satış kaybı ve stok bulundurma maliyetine doğru kayması gerektiği ifade edilmiştir. Diğer bir önemli husus ise, yapılan çalışmalarda kampanya etkisinin göz ardı edilmesidir. Oysaki kampanya etkisi nedeniyle üretim miktarları belirlenirken, üretim hızının da göz önünde bulundurulduğu dengeli bir paylaşım yapılması gerekmektedir.

Gelecekte, üreticiye ait daha fazla kampanya verisiyle kampanya dönemindeki talep tahmini için zaman serisi analizlerinin yapılabildiği veya çok sayıda kampanya verisine sahip farklı bir işletme üzerinde benzer bir yaklaşımla taleplerin öngörülerek üretim ve stok modellerinin çıkarıldığı bir çalışmanın yürütülmesi faydalı olacaktır. Son yıllarda, üretim ve stok modellerinde bulanık mantık yaklaşımının da giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu nedenle, stok parametrelerinin ve/veya öngörü değerlerinin bulanıklaştırıldığı bir düzlemde maliyetlerin nasıl tepki vereceğinin araştırılması, çalışmaya önemli derinlik kazandıracaktır. Ayrıca, bu çalışmanın geniş bir yazılım paketine dönüştürülerek üreticinin sahip olduğu tüm stok kalemleri için de uygulanabilecek hale getirilmesinde yarar bulunmaktadır. Ancak, tedarikçi-müşteri ve malzeme-makine arasındaki ilişkilerde, tüketici algılarında ve lojistik faaliyetlerinde her zaman yer alan karmaşıklık ve belirsizlikler nedeniyle problemin çok disiplinli bir yaklaşımla ele alınmasının daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Son olarak, yöneylem araştırmasıyla ilişkili tüm disiplinlerin üzerinde çalıştığı ve bu konuda kayda değer sonuçlar ürettiği akademik yayınların, günümüzde önemsenmediği ve hangi sektör olursa olsun idarecilerin mevcut politikalarından taviz vermediği durumlarla sık karşılaşılmaktadır. Bu durum, israf boyutunun her geçen gün katlanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, son derece önemli tasarrufların sağlanabileceğini ortaya koyan çalışmalardan vazgeçilmemeli ve her koşulda *Kaizen*'in daima mümkün olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

- Agarwal, S. (2014). "Economic Order Quantity Model: A Review". *VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering*, 4(12): 233-236.
- Aggarwal, S. K., Saini, L. M. ve Kumar, A. (2009). "Electricity Price Forecasting in Deregulated Markets: A Review and Evaluation". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31(1): 13-22.
- Aksen, D., Altinkemer, K. ve Chand, S. (2003). "The Single-Item Lot-Sizing Problem with Immediate Lost Sales". *European Journal of Operational Research*, 147(3): 558-566.
- Akyuz, G. A. ve Erkan, T. E. (2010). "Supply Chain Performance Measurement: A Literature Review". *International Journal of Production Research*, 48(17): 5137-5155.
- Algburi, A. A. H. (2019). *Talebin Kısmi Ertelenmesi Durumunda Bir Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Algburi, A. A. H., Eroğlu, A. ve Sulak, H. (2019). "Farklı Durumlar Altında Geliştirilen Stok Kontrol Modelleri Yazın Taraması". *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1): 19-31.
- Ali, M. M., Babai, M. Z., Boylan, J. E. ve Syntetos, A. A. (2015). "On the Use of Simple Moving Averages for Supply Chains where Information is not Shared". *IFAC-PapersOnLine*, 48(3): 1756-1761.
- Ali, Ö. G., Sayın, S., van Woensel, T. ve Fransoo, J. (2009). "SKU Demand Forecasting in the Presence of Promotions". *Expert Systems with Applications*, 36(10): 12340-12348.
- Altun, K. ve Göleç, A. (2011). "Üretim Kontrol Sistemlerini Kıyaslayıcı Bir Benzetim Çalışması". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2): 200-207.
- Arunagiri, P. ve Gnanavelbabu, A. (2014). "Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries Using Weighted Average Method". *Procedia Engineering*, 97: 2167-2175.
- Axsäter, S. (2015). *Inventory Control: International Series in Operations Research & Management Science*. (3rd ed.). Springer International Publishing, Switzerland.
- Aygüneş, H. ve Yıldız, G. (2019). "Implementation of Deterministic Inventory Models with Backorders and Lost Sales in a Retail Company". *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 16(1): 17-34.

- Bastien, R. (2018). *Inventory Optimization under Demand Uncertainty: Algorithmic Approaches*. Master's Thesis. Louvain School of Management, Louvain.
- Bedyayeva, A. V. ve Kapitanov, A. V. (2015). "The Study of the Influence of Warehouse Replenishment Rate on an Inventory Management System with a Fixed Order Quantity". *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 44(8): 698-703.
- Bektur, G. (2020). "An Integrated Methodology for the Selection of Sustainable Suppliers and Order Allocation Problem with Quantity Discounts, Lost Sales and Varying Supplier Availabilities". *Sustainable Production and Consumption*, 23: 111-127.
- Benjaafar, S., ElHafsi, M. ve Huang, T. (2010). "Optimal Control of a Production-Inventory System with Both Backorders and Lost Sales". *Naval Research Logistics*, 57(3): 252-265.
- Berk, E., Toy, A. ve Hazir, Ö. (2008). "Single Item Lot-Sizing Problem for a Warm/Cold Process with Immediate Lost Sales". *European Journal of Operational Research*, 187(3): 1251-1267.
- Berry, M. J. A. ve Linoff, G. S. (2004). *Data Mining Techniques for Marketing, Sales, and Customer Relationship Management*. (2nd ed.). Wiley, Indianapolis.
- Bijvank, M. ve Vis, I. F. A. (2011). "Lost-Sales Inventory Theory: A Review". *European Journal of Operational Research*, 215(1): 1-13.
- Bijvank, M. ve Vis, I. F. A. (2012). "Lost-Sales Inventory Systems with a Service Level Criterion". *European Journal of Operational Research*, 220(3): 610-618.
- Bijvank, M., Bhulai, S. ve Huh, W. T. (2015). "Parametric Replenishment Policies for Inventory Systems with Lost Sales and Fixed Order Cost". *European Journal of Operational Research*, 241(2): 381-390.
- Blackstone, J. H. (ed.). (2013). *APICS Dictionary: The Essential Supply Chain Reference*. (14th ed.). Spectrum Publishing, Chicago.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. ve Ljung, G. M. (2016). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. (5th ed.). Wiley, New Jersey.
- Candan, G. ve Yazgan, H. R. (2015). "Tedarik Zincirinde Hammadde Tedarikçisi Seçimi Problemi: Bir Uygulama". *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(3): 43-52.
- CBME Türkiye Basın Bültenleri, "Bebek Çocuk Sektöründe En Çok Harcama Yenidoğan Grubunda Yapılıyor". <https://www.cbmeturkey.com/tr/medya/basin-bultenleri/en-con-harcama-yenidogan-grubunda.html> (erişim tarihi: 15.08.2023).

- Cebeci, H. İ. (2011). *Çok Kademeli Tedarik Zincirlerinde Kamçı Etkisinin Azaltılması için Yeni Bir Model Önerisi: Genişletilmiş Satıcı Yönetimli Envanter Modeli*. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Chang, H. J. ve Dye, C. Y. (2001). “An Inventory Model for Deteriorating Items with Partial Backlogging and Permissible Delay in Payments”. *International Journal of Systems Science*, 32(3): 345-352.
- Chen, Y., Ray, S. ve Song, Y. (2006). “Optimal Pricing and Inventory Control Policy in Periodic-Review Systems with Fixed Ordering Cost and Lost Sales”. *Naval Research Logistics*, 53(2): 117-136.
- Chiarini, A. (2013). *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*. Springer, Milano.
- Chung, K. J., Goyal, S. K. ve Huang, Y. F. (2005). “The Optimal Inventory Policies Under Permissible Delay in Payments Depending on the Ordering Quantity”. *International Journal of Production Economics*, 95(2): 203-213.
- Chung, K. J. ve Huang, Y. F. (2003). “The Optimal Cycle Time for EPQ Inventory Model under Permissible Delay in Payments”. *International Journal of Production Economics*, 84(3): 307-318.
- Čiarnienė, R. ve Vienažindienė, M. (2012). “Lean Manufacturing: Theory and Practice”. *Economics and Management*, 17(2): 726-732.
- Cohen, M., Kleindorfer, P. ve Lee, H. (1988). “Service Constrained (s, S) Inventory Systems with Priority Demand Classes and Lost Sales”. *Management Science*, 34(4): 482-499.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M. ve Pagh, J. D. (1997). “Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics”. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1): 1-14.
- Croxton, K. L., García-Dastugue, S. J., Lambert, D. M. ve Rogers, D. S. (2001). “The Supply Chain Management Processes”. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2): 1-36.
- Çekiç, B. (2015). “Tedarik Zincirlerinde Durağan Olmayan Talep Altında Çok Kademeli Stok Kontrol Yönetimi için Bir Stokastik Programlama Yaklaşımı”. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(1): 45-76.
- Çetin, O. ve Böker, Z. (2020). “Sağlık Sektöründe ABC-VED AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Çok Kriterli Stok Sınıflandırması”. *Öneri Dergisi*, 15(53): 178-208.

- D'Antonio, G. ve Chiabert, P. (2018). "How to Manage People Underutilization in an Industry 4.0 Environment?". *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 540: 455-464.
- Dhoka, D. K. ve Choudary, Y. L. (2013). "XYZ Inventory Classification & Challenges". *IOSR Journal of Economics and Finance*, 2(2): 23-26.
- Disney, S. M. ve Towill, D. R. (2003). "Vendor-Managed Inventory and Bullwhip Reduction in a Two-Level Supply Chain". *International Journal of Operations and Production Management*, 23(6): 625-651.
- Emiliani, M. L. ve Stec, D. J. (2005). "Leaders Lost in Transformation". *Leadership and Organization Development Journal*, 26(5): 370-387.
- Eroğlu, A. ve Karaöz, M. (2011). "A Deterministic Inventory Model with Price-Dependent Demand Considering the Bounded Learning". *Suleyman Demirel University the Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 16(2): 1-11.
- Ferbar Tratar, L., Mojšker, B. ve Toman, A. (2016). "Demand Forecasting with Four-Parameter Exponential Smoothing". *International Journal of Production Economics*, 181: 162-173.
- Gallo, G. ve Pallottino, S. (1986). "Shortest Path Methods: A Unifying Approach". *Mathematical Programming Study*, 26: 38-64.
- Gleissner, H. ve Femerling, J. C. (2013). *Logistics*. Springer, Switzerland.
- Goyal, S. K. (1985). "Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments". *The Journal of the Operational Research Society*, 36(4): 335-338.
- Grand View Research, "Baby Products Market Analysis Report". <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/baby-products-market> (erişim tarihi: 14.08.2023).
- Grewal, H. (1999). *Analysis of Inventory Lot Size Problem*. Master's Thesis. University of Manitoba Department of Mechanical and Industrial Engineering, Winnipeg.
- Gruen, T. W., Corsten, D. ve Bharadwaj, S. (2002). *Retail Out-of-Stocks: A Worldwide Examination of Extent, Causes and Consumer Responses*. Grocery Manufacturers of America, Washington DC.
- Gujarati, D. N. ve Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics*. (5th ed.). McGraw-Hill, Irwin.
- Gunasekaran, A. ve Kobu, B. (2007). "Performance Measures and Metrics in Logistics and Supply Chain Management: A Review of Recent Literature (1995-2004) for Research and Applications". *International Journal of Production Research*, 45(12): 2819-2840.
- Gürbüz, U. (2020). *Modern Bilgelik Kavramları*. (1. bs.). İkinci Adam, İstanbul.

- Güriş, S. ve Çağlayan, E. (2013). *Ekonometri: Temel Kavramlar*. (4. bs.). Der Yayınları, İstanbul.
- Hammad, M. A., Jereb, B., Rosi, B. ve Dragan, D. (2020). “Methods and Models for Electric Load Forecasting: A Comprehensive Review”. *Logistics & Sustainable Transport*, 11(1): 51-76.
- Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı, MATLAB ve NeuroSolutions Uygulamalı*. Ekin Yayınevi, Bursa.
- Hanafizadeh, P., Shahin, A. ve Sajadifar, M. (2019). “Robust Wagner–Whitin Algorithm with Uncertain Costs”. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(3): 435-447.
- Harris, F. W. (1990). “How Many Parts to Make at Once”. *Operations Research*, 38(6): 947-950.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. (2nd ed.). Prentice Hall.
- Hines, P. ve Rich, N. (2013). “The Seven Tools for Value Stream Mapping”. *Applied Mechanics and Materials*, 26(1): 553-564.
- Hopfield, J. J. (1982). “Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(8): 2554-2558.
- Huh, W. T. ve Janakiraman, G. (2009). “(s, S) Optimality in Joint Inventory-Pricing Control: An Alternate Approach”. *Operations Research*, 56(3): 783-790.
- Irmak, S. (2009). *Veri Madenciliği Yöntemleri ile Sağlık Sektörü Veritabanlarında Bilgi Keşfi: Tanımlayıcı ve Kestirimci Model Uygulamaları*. Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A. ve Schönberger, J. (2019). *Global Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value*. (2nd ed.). Springer, Switzerland.
- Jaber, M. Y., Goyal, S. K. ve Imran, M. (2008). “Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality Subject to Learning Effects”. *International Journal of Production Economics*, 115(1): 143-150.
- Jacobs, F. R. ve Chase, R. B. (2018). *Operations and Supply Chain Management*. (15th ed.). McGraw-Hill, New York.
- Janakiraman, G., Seshadri, S. ve Shanthikumar, J. G. (2007). “A Comparison of the Optimal Costs of Two Canonical Inventory Systems”. *Operations Research*, 55(5): 866-875.

- Johansen, S. ve Thorstenson, A. (1993). "Optimal and Approximate (Q, r) Inventory Policies with Lost Sales and Gamma-Distributed Lead Time". *International Journal of Production Economics*, 3: 179-194.
- John, A. T. ve Sunday, O. M. (2020). "Comparing the Performance of Cplex and Dynamic Programming on 0/1 Knapsack Model". *IOSR Journal of Mathematics*, 16(1): 43-52.
- Jones, T. C. ve Riley, D. W. (1985). "Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management". *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 15(5): 16-26.
- Karaatlı, M. ve Kalaycı, Ş. (ed.) (2017). *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Verilerin Düzenlenmesi ve Gösterimi*. (8. bs.). Dinamik Akademi, Ankara.
- Karaöz, M., Eroğlu, A., Sütçü, A. ve Sulak, H. (2010). "An EOQ Model with Price and Time Dependent Demand under the Influence of Complement and Substitute Product's Selling Prices". *Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 12(2): 103-116.
- Karlin, S. ve Scarf, H. (1958). "Inventory Models of the Arrow-Harris-Marschak Type with Time Lag", *Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production*. Stanford University, Stanford.
- Kaufman, J. (2018). *Kendi Kendine MBA*. (Çev. M. Güvenç). (3. bs.). Pegasus Yayınları, İstanbul.
- Keachie, E. C. ve Fontana, R. J. (1966). "Effects of Learning on Optimal Lot Size". *Management Science*, 13(2): 102-108.
- Kochak, A. ve Sharma, S. (2015). "Demand Forecasting Using Neural Network for Supply Chain Management". *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(1): 96-104.
- Konstantaras, I., Goyal, S. K. ve Papachristos, S. (2007). "Economic Ordering Policy for an Item with Imperfect Quality Subject to the in-House Inspection". *International Journal of Systems Science*, 38(6): 473-482.
- Kostenko, A. V. ve Hyndman, R. J. (2006). "A Note on the Categorization of Demand Patterns". *Journal of the Operational Research Society*, 57(10): 1256-1257.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P. ve Malhotra, M. K. (2013). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. (10th ed.). Pearson.
- Lambert, D. M., Cooper, M. C. ve Pagh, J. D. (1998). "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities". *The International Journal of Logistics Management*, 9(2): 1-19.

- Laudon, K. C. ve Laudon, J. P. (2014). *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*. (13th ed.). Pearson.
- Lean Enterprise Institute, "What is Lean?". <https://www.lean.org/WhatsLean/> (erişim tarihi: 08.06.2021).
- Lee, H. L., ve Billington, C. (1992). "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities". *MIT Sloan Management Review*, 65-73.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V. ve Whang, S. (1997). "The Bullwhip Effect in Supply Chains". *MIT Sloan Management Review*, 38(3): 93-102.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V. ve Whang, S. (2004). "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect". *Management Science*, 50(12): 1875-1886.
- Liao, H. C. ve Chen, Y. K. (2003). "Optimal Payment Time for Retailer's Inventory System". *International Journal of Systems Science*, 34(4): 245-253.
- Liao, H. C., Tsai, C. H. ve Su, C. T. (2000). "An Inventory Model with Deteriorating Items under Inflation when a Delay in Payment is Permissible". *International Journal of Production Economics*, 63(2): 207-214.
- Lummus, R. R. ve Vokurka, R. J. (1999). "Defining Supply Chain Management: A Historical Perspective and Practical Guidelines". *Industrial Management & Data Systems*, 99(1): 11-17.
- Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., Newton, J., Parzen, E. ve Winkler, R. (1982). "The Accuracy of Extrapolation (Time Series) Methods: Results of a Forecasting Competition". *Journal of Forecasting*, 1: 111-153.
- Manne, A. (1958). "Programming of Economic Lot Sizes". *Management Science*, 4(2): 115-135.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT) News Office, "The Secrets of the System". <https://news.mit.edu/2012/manufacturing-beer-game-0503> (erişim tarihi: 12.05.2022).
- Melchior, P., Dekker, R. ve Kleijn, M. (2000). "Inventory Rationing in an (s, Q) Inventory Model with Lost Sales and Two Demand Classes". *Journal of the Operational Research Society*, 51(1): 111-122.
- Mentzer, J. T., Stank, T. P. ve Esper, T. L. (2008). "Supply Chain Management and Its Relationship to Logistics, Marketing, Production, and Operations Management". *Journal of Business Logistics*, 29(1): 31-46.
- Mert, M. (2016). *SPSS, STATA Yatay Kesit Veri Analizi Bilgisayar Uygulamaları*. (1. bs.). Detay Yayıncılık, Ankara.

- Mert, M. ve Çağlar, A. E. (2023). *Eviews ve Gauss Uygulamalı Zaman Serileri Analizi*. (2. bs.). Detay Yayıncılık, Ankara.
- Metters, R. (1997). “Quantifying the Bullwhip Effect in Supply Chains”. *Journal of Operations Management*, 15(2): 89-100.
- Mikkola, A. (2021). *Improving Supply Chain and Logistics and Reducing Costs by Design and Improvement of Packaging with the Help of Lean and DFL*. Master’s Thesis. University of Vaasa School of Technology and Innovation, Vaasa.
- Morton, T. (1969). “Bounds on the Solution of the Lagged Optimal Inventory Equation with No Demand Backlogging and Proportional Costs”. *SIAM Review*, 11(4): 572-596.
- Moussawi-Haidar, L., Salameh, M. ve Nasr, W. (2014). “Effect of Deterioration on the Instantaneous Replenishment Model with Imperfect Quality Items”. *Applied Mathematical Modelling*, 38(24): 5956-5966.
- Nahmias, S. (1979). “Simple Approximations for a Variety of Dynamic Leadtime Lost-Sales Inventory Models”. *Operations Research*, 27(5): 904-924.
- Ohno, T. (1982). “How the Toyota Production System was Created”. *Japanese Economic Studies*, 10(4): 83-101.
- Olhager, J. ve Östlund, B. (1990). “An Integrated Push-Pull Manufacturing Strategy”. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3): 135-142.
- Öz, Y. (2022). *Fiyat Algısı Perspektifinden Marka Farkındalığının Tüketicilerin Satın Alma Niyetine Etkisi*. Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. (3. bs.). Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk, A. (2012). *Yöneyim Araştırması*. (14. bs.). Ekin Yayınevi, Bursa.
- Patriarca, R., Di Gravio, G., Costantino, F. ve Tronci, M. (2020a). “EOQ Inventory Model for Perishable Products Under Uncertainty”. *Production Engineering*, 14: 601-612.
- Patriarca, R., Di Gravio, G., Costantino, F. ve Tronci, M. (2020b). “Obsolescence – A Review of the Literature”. *Technology in Society*, 63: 101347.
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K. ve Jambekar, A. B. (2003). “Classification Scheme for Lean Manufacturing Tools”. *International Journal of Production Research*, 41(13): 3075-3090.
- Prasad, S. (1994). “Classification of Inventory Models and Systems”. *International Journal of Production Economics*, 34(2): 209-222.
- Pusca, D. ve Northwood, D. O. (2016). “Can Lean Principles Be Applied to Course Design in Engineering Education?”. *Global Journal of Engineering Education*, 18(3): 173-179.

- Rastogi, M., Singh, S. R., Kushwah, P. ve Tayal, S. (2017). “Two Warehouse Inventory Policy with Price Dependent Demand and Deterioration under Partial Backlogging”. *Decision Science Letters*, 6(1): 11-22.
- Rawabdeh, I. A. (2005). “A Model for the Assessment of Waste in Job Shop Environments”. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(8): 800-822.
- Ray, J. ve Chaudhuri, K. S. (1997). “An EOQ Model with Stock-Dependent Demand, Shortage, Inflation and Time Discounting”. *International Journal of Production Economics*, 53(2): 171-180.
- Saatçioğlu, D. (2016). *Aralıklı Talep Yapısına Sahip Ürünlerin Talep Tahmininde Makine Öğrenme Yöntemlerinin Uygulanması*. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Salameh, M. K. ve Jaber, M. Y. (2000). “Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality”. *International Journal of Production Economics*, 64(1-3): 59-64.
- Sarkar, B., Gupta, H., Chaudhuri, K. ve Goyal, S. K. (2014). “An Integrated Inventory Model with Variable Lead Time, Defective Units and Delay in Payments”. *Applied Mathematics and Computation*, 237: 650-658.
- Scholz-Reiter, B., Heger, J., Meinecke, C. ve Bergmann, J. (2012). “Integration of Demand Forecasts in ABC-XYZ Analysis: Practical Investigation at an Industrial Company”. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(4): 445-451.
- Scott, C. ve Westbrook, R. (1991). “New Strategic Tools for Supply Chain Management”. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 21(1): 23-33.
- Seppälä, U. ve Holmström, J. (1995). “Rough Modelling of Logistics Networks”. *Integrated Manufacturing Systems*, 6(5): 13-20.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2010). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi Eviews Uygulamalı*. (3. bs.). Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Sezen, B. (2006). “Changes in Performance under Various Lengths of Review Periods in a Periodic Review Inventory Control System with Lost Sales: A Simulation Study”. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 36(5): 360-373.
- Shenoy, D. ve Rosas, R. (2018). *Problems and Solutions in Inventory Management*. Springer International Publishing.

- Shi, Z. ve Liu, S. (2020). “Optimal Inventory Control and Design Refresh Selection in Managing Part Obsolescence”. *European Journal of Operational Research*, 287(1): 133-144.
- Silver, E. A. (1981). “Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique”. *Operations Research*, 29(4): 628-645.
- Silver, E. A., Pyke, D. F. ve Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. (3rd ed.). Wiley, New York.
- Simon, H. A. (1952). “On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control”. *Econometrica*, 20(2): 247-268.
- Song, Y., Ray, S. ve Boyaci, T. (2009). “Optimal Dynamic Joint Inventory-Pricing Control for Multiplicative Demand with Fixed Order Costs and Lost Sales”. *Operations Research*, 57(1): 245-250.
- Stadtler, H., Kilger, C. ve Meyr, H. (2015). *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies*. (5th ed.). Springer.
- Sterman, J. D. (1989). “Modeling Managerial Behaviour: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment”. *Management Science*, 35(3): 321-339.
- Sulak, H. (2008). *Stok Kontrolü ve Ekonomik Sipariş Miktarı Modellerinde Yeni Açılımlar: Ödemelerde Gecikmeye İzin Verilmesi Durumu ve Bir Model Önerisi*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Syntetos, A. A., Boylan, J. E. ve Croston, J. D. (2005). “On the Categorization of Demand Patterns”. *Journal of the Operational Research Society*, 56(5): 495-503.
- Taha, H. A. (2000). *Yöneylem Araştırması (6. Basımdan Çeviri)*. (Çev. Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf). (1. bs.). Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Tarmanini, C., Sarma, N., Gezeğin, C. ve Ozgonenel, O. (2023). “Short Term Load Forecasting Based on ARIMA and ANN Approaches”. *Energy Reports*, 9: 550-557.
- Teunter, R. H., Bayindir, Z. P. ve Van Den Heuvel, W. (2006). “Dynamic Lot Sizing with Product Returns and Remanufacturing”. *International Journal of Production Research*, 44(20): 4377-4400.
- TÜİK, “Doğum İstatistikleri 2022”. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dogum-Istatistikleri-2022-49673> (erişim tarihi: 14.08.2023).
- Verhoef, P. C. ve Sloot, L. M. (2006). *Out-of-Stock: Reactions, Antecedents, Management Solutions, and a Future Perspective in Retailing in the 21st Century: Current and Future Trends*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Vrat, P. (2014). *Materials Management: An Integrated System Approach*. Springer.

- Wagner, H. M. ve Whitin, T. M. (1958). "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model". *Management Science*, 5(1): 89-96.
- Wang, H., Yu, Y., Zhang, W. ve Hua, Z. (2019). "Procurement Strategies for Lost-Sales Inventory Systems with All-Units Discounts". *European Journal of Operational Research*, 272(2): 539-548.
- Waters, D. (2003). *Inventory Control and Management*. (2nd ed.). Wiley.
- Waters, D. (2017). *Inventory Management in Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*. Emerald Publishing.
- Willemain, T. R., Smart, C. N. ve Schwarz, H. F. (2004). "A New Approach to Forecasting Intermittent Demand for Service Parts Inventories". *International Journal of Forecasting*, 20(3): 375-387.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. (4th ed.). Thomson, Toronto.
- Womack, J. P. ve Jones, D. T. (2020). *Yalın Düşünce*. (Çev. O. Yamak). Optimist Yayın Grubu, İstanbul.
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. (5th ed.). Cengage Learning.
- Wright, T. P. (1936). "Factors Affecting the Cost of Airplanes". *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3(4): 122-128.
- Xiao, Y. Y., Zhang, R. Q. ve Kaku, I. (2011). "A New Approach of Inventory Classification Based on Loss Profit". *Expert Systems with Applications*, 38(8): 9382-9391.
- Yang, P. C. ve Wee, H. M. (2006). "A Collaborative Inventory System with Permissible Delay in Payment for Deteriorating Items". *Mathematical and Computer Modelling*, 43(3-4): 209-221.
- Yelle, L. E. (1979). "The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey". *Decision Sciences*, 10(2): 302-328.
- Zhang, G., Patuwo, B. E. ve Hu, M. Y. (1998). "Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art". *International Journal of Forecasting*, 14: 35-62.
- Zhou, B., Zhao, Y. ve Katehakis, M. N. (2007). "Effective Control Policies for Stochastic Inventory Systems with a Minimum Order Quantity and Linear Costs". *International Journal of Production Economics*, 106(2): 523-531.
- Zipkin, P. (2008). "Old and New Methods for Lost-Sales Inventory Systems". *Operations Research*, 56(5): 1256-1263.
- Zipkin, P. H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. McGraw-Hill.

EK-1: Haftalık Talep Miktarları

Periyot No	Tarih Aralığı	SKU -27	SKU -33	SKU -39	Periyot No	Tarih Aralığı	SKU -27	SKU -33	SKU -39
1	31.12.2018 - 05.01.2019	126	203	78	36	02.09.2019 - 07.09.2019	210	160	88
2	07.01.2019 - 12.01.2019	393	165	35	37	09.09.2019 - 14.09.2019	7	11	3
3	14.01.2019 - 19.01.2019	91	209	26	38	16.09.2019 - 21.09.2019	5	29	0
4	21.01.2019 - 26.01.2019	427	364	181	39	23.09.2019 - 28.09.2019	188	141	171
5	28.01.2019 - 02.02.2019	86	111	17	40	30.09.2019 - 05.10.2019	45	149	24
6	04.02.2019 - 09.02.2019	189	67	2	41	07.10.2019 - 12.10.2019	127	35	114
7	11.02.2019 - 16.02.2019	392	248	56	42	14.10.2019 - 19.10.2019	112	48	43
8	18.02.2019 - 23.02.2019	98	179	52	43	21.10.2019 - 26.10.2019	156	180	132
9	25.02.2019 - 02.03.2019	313	129	63	44	28.10.2019 - 02.11.2019	107	124	12
10	04.03.2019 - 09.03.2019	104	124	61	45	04.11.2019 - 09.11.2019	371	366	233
11	11.03.2019 - 16.03.2019	40	31	16	46	11.11.2019 - 16.11.2019	69	103	42
12	18.03.2019 - 23.03.2019	489	377	110	47	18.11.2019 - 23.11.2019	250	300	168
13	25.03.2019 - 30.03.2019	612	492	189	48	25.11.2019 - 30.11.2019	135	161	84
14	01.04.2019 - 06.04.2019	68	132	69	49	02.12.2019 - 07.12.2019	357	390	132
15	08.04.2019 - 13.04.2019	3	3	1	50	09.12.2019 - 14.12.2019	184	75	72
16	15.04.2019 - 20.04.2019	0	1	0	51	16.12.2019 - 21.12.2019	200	50	68
17	22.04.2019 - 27.04.2019	34	24	2	52	23.12.2019 - 28.12.2019	72	159	120
18	29.04.2019 - 04.05.2019	61	15	0	53	30.12.2019 - 04.01.2020	44	24	25
19	06.05.2019 - 11.05.2019	28	91	30	54	06.01.2020 - 11.01.2020	39	55	12
20	13.05.2019 - 18.05.2019	110	53	56	55	13.01.2020 - 18.01.2020	49	85	57
21*	20.05.2019 - 25.05.2019	697	515	175	56	20.01.2020 - 25.01.2020	135	217	108
22*	27.05.2019 - 01.06.2019	2415	1613	1246	57	27.01.2020 - 01.02.2020	125	148	140
23	03.06.2019 - 08.06.2019	0	0	0	58	03.02.2020 - 08.02.2020	619	490	246
24*	10.06.2019 - 15.06.2019	380	265	365	59	10.02.2020 - 15.02.2020	116	99	36
25*	17.06.2019 - 22.06.2019	1451	1578	260	60	17.02.2020 - 22.02.2020	55	40	23
26*	24.06.2019 - 29.06.2019	1140	170	504	61	24.02.2020 - 29.02.2020	8	28	31
27	01.07.2019 - 06.07.2019	170	13	8	62	02.03.2020 - 07.03.2020	3	21	0
28	08.07.2019 - 13.07.2019	240	0	0	63	09.03.2020 - 14.03.2020	46	1315	176
29	15.07.2019 - 20.07.2019	311	77	56	64	16.03.2020 - 21.03.2020	215	21	84
30	22.07.2019 - 27.07.2019	60	897	287	65	23.03.2020 - 28.03.2020	14	33	33
31	29.07.2019 - 03.08.2019	377	195	60	66	30.03.2020 - 04.04.2020	96	72	54
32	05.08.2019 - 10.08.2019	0	0	0	67	06.04.2020 - 11.04.2020	269	230	39
33	12.08.2019 - 17.08.2019	8	0	0	68	13.04.2020 - 18.04.2020	110	208	81
34	19.08.2019 - 24.08.2019	6	213	132	69	20.04.2020 - 25.04.2020	314	634	369
35	26.08.2019 - 31.08.2019	44	26	26	70	27.04.2020 - 02.05.2020	263	55	107

EK-1: Haftalık Talep Miktarları (Devam)

Periyot No	Tarih Aralığı	SKU -27	SKU -33	SKU -39	Periyot No	Tarih Aralığı	SKU -27	SKU -33	SKU -39
71	04.05.2020 - 09.05.2020	89	82	28	106	04.01.2021 - 09.01.2021	336	90	48
72	11.05.2020 - 16.05.2020	134	197	12	107	11.01.2021 - 16.01.2021	141	94	17
73	18.05.2020 - 23.05.2020	93	299	42	108	18.01.2021 - 23.01.2021	5	28	0
74	25.05.2020 - 30.05.2020	48	7	0	109	25.01.2021 - 30.01.2021	252	130	31
75	01.06.2020 - 06.06.2020	171	312	12	110	01.02.2021 - 06.02.2021	508	575	200
76*	08.06.2020 - 13.06.2020	599	1271	356	111	08.02.2021 - 13.02.2021	144	38	0
77	15.06.2020 - 20.06.2020	58	99	31	112	15.02.2021 - 20.02.2021	222	504	133
78	22.06.2020 - 27.06.2020	328	393	99	113	22.02.2021 - 27.02.2021	528	186	122
79*	29.06.2020 - 04.07.2020	1157	1215	120	114	01.03.2021 - 06.03.2021	330	132	30
80	06.07.2020 - 11.07.2020	5	0	7	115	08.03.2021 - 13.03.2021	364	218	100
81	13.07.2020 - 18.07.2020	612	24	48	116	15.03.2021 - 20.03.2021	168	150	34
82	20.07.2020 - 25.07.2020	19	42	0	117	22.03.2021 - 27.03.2021	264	450	96
83	27.07.2020 - 01.08.2020	744	198	78	118	29.03.2021 - 03.04.2021	274	162	51
84	03.08.2020 - 08.08.2020	7	135	24	119	05.04.2021 - 10.04.2021	3	42	12
85	10.08.2020 - 15.08.2020	13	17	0	120	12.04.2021 - 17.04.2021	493	234	116
86	17.08.2020 - 22.08.2020	164	534	266	121	19.04.2021 - 24.04.2021	24	124	12
87	24.08.2020 - 29.08.2020	41	293	126	122	26.04.2021 - 01.05.2021	192	75	37
88*	31.08.2020 - 05.09.2020	3977	4041	2933	123	03.05.2021 - 08.05.2021	0	0	0
89*	07.09.2020 - 12.09.2020	2410	2906	1680	124	10.05.2021 - 15.05.2021	0	72	0
90	14.09.2020 - 19.09.2020	131	60	59	125*	17.05.2021 - 22.05.2021	457	2753	506
91	21.09.2020 - 26.09.2020	4	2	28	126*	24.05.2021 - 29.05.2021	4018	4663	2071
92	28.09.2020 - 03.10.2020	495	645	163	127*	31.05.2021 - 05.06.2021	1156	3914	2454
93	05.10.2020 - 10.10.2020	60	63	36	128*	07.06.2021 - 12.06.2021	1316	375	350
94	12.10.2020 - 17.10.2020	571	546	351	129	14.06.2021 - 19.06.2021	2	3	0
95	19.10.2020 - 24.10.2020	57	5	0	130	21.06.2021 - 26.06.2021	9	48	90
96	26.10.2020 - 31.10.2020	1080	541	99	131	28.06.2021 - 03.07.2021	274	30	3
97	02.11.2020 - 07.11.2020	960	656	0					
98	09.11.2020 - 14.11.2020	0	180	0					
99	16.11.2020 - 21.11.2020	1136	326	92					
100	23.11.2020 - 28.11.2020	888	290	26					
101	30.11.2020 - 05.12.2020	184	167	26					
102	07.12.2020 - 12.12.2020	803	759	72					
103*	14.12.2020 - 19.12.2020	2228	618	506					
104*	21.12.2020 - 26.12.2020	1096	262	80					
105	28.12.2020 - 02.01.2021	70	201	0					

TOPLAM Talep:

SKU-27: 47990, SKU-33: 47312, SKU-39: 21203

* Kampanya dönemlerine denk gelen periyotları göstermektedir.

EK-2: Haftalık Stok Miktarları

Periyot No	Tarih Aralığı	SKU-27	SKU-33	SKU-39
1	04.01.2021 - 09.01.2021	264	2674	1409
2	11.01.2021 - 16.01.2021	144	2584	1361
3	18.01.2021 - 23.01.2021	288	3083	1344
4	25.01.2021 - 30.01.2021	432	3582	1344
5	01.02.2021 - 06.02.2021	504	4237	1611
6	08.02.2021 - 13.02.2021	0	4896	2664
7	15.02.2021 - 20.02.2021	0	5580	3288
8	22.02.2021 - 27.02.2021	0	5166	3984
9	01.03.2021 - 06.03.2021	0	4980	4209
10	08.03.2021 - 13.03.2021	268	5472	4200
11	15.03.2021 - 20.03.2021	168	5507	5392
12	22.03.2021 - 27.03.2021	24	6560	6056
13	29.03.2021 - 03.04.2021	178	7614	6720
14	05.04.2021 - 10.04.2021	168	7452	6720
15	12.04.2021 - 17.04.2021	624	10566	6720
16	19.04.2021 - 24.04.2021	131	10332	6604
17	26.04.2021 - 01.05.2021	831	10208	6592
18	03.05.2021 - 08.05.2021	1983	10222	6555
19	10.05.2021 - 15.05.2021	3327	11203	6555
20	17.05.2021 - 22.05.2021	3341	11203	6555
21	24.05.2021 - 29.05.2021	2884	8522	6049
22	31.05.2021 - 05.06.2021	1344	5048	3982
23	07.06.2021 - 12.06.2021	1532	1134	1528
24	14.06.2021 - 19.06.2021	711	759	1178

EK-3: SKU'lara Göre 2019 Yılı Sınıflandırma Analizi

Sıra No	Stok Kalemi (SKU-#)	Ait Olduğu Ürün Grubu	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)	Sınıfı
1	SKU-33	PG-6	512.648,73	5,00	5,00	A
2	SKU-27	PG-5	506.199,38	4,94	9,95	A
3	SKU-75	PG-12	499.260,63	4,87	14,82	A
4	SKU-34	PG-6	477.552,24	4,66	19,48	A
5	SKU-28	PG-5	451.004,90	4,40	23,88	A
6	SKU-29	PG-5	437.656,23	4,27	28,16	A
7	SKU-35	PG-6	427.407,26	4,17	32,33	A
8	SKU-26	PG-5	399.210,08	3,90	36,23	A
9	SKU-76	PG-12	384.942,36	3,76	39,98	A
10	SKU-32	PG-6	377.512,25	3,69	43,67	A
11	SKU-74	PG-12	356.639,02	3,48	47,15	A
12	SKU-78	PG-12	310.826,72	3,03	50,18	A
13	SKU-77	PG-12	299.947,36	2,93	53,11	A
14	SKU-30	PG-5	268.023,20	2,62	55,73	A
15	SKU-39	PG-7	248.518,11	2,43	58,15	A
16	SKU-41	PG-7	248.134,15	2,42	60,58	A
17	SKU-40	PG-7	246.070,37	2,40	62,98	A
18	SKU-79	PG-12	242.745,72	2,37	65,35	A
19	SKU-38	PG-7	242.278,76	2,37	67,71	A
20	SKU-6	PG-1	235.410,57	2,30	70,01	A
21	SKU-5	PG-1	233.650,79	2,28	72,29	A
22	SKU-36	PG-6	227.027,30	2,22	74,51	A
23	SKU-42	PG-7	198.075,37	1,93	76,44	A
24	SKU-31	PG-5	177.232,28	1,73	78,17	A
25	SKU-3	PG-1	157.660,29	1,54	79,71	A
26	SKU-1	PG-1	154.420,70	1,51	81,22	B
27	SKU-2	PG-1	148.421,45	1,45	82,67	B
28	SKU-4	PG-1	143.142,11	1,40	84,06	B
29	SKU-7	PG-1	141.142,36	1,38	85,44	B
30	SKU-37	PG-6	82.691,73	0,81	86,25	B
31	SKU-44	PG-8	71.342,16	0,70	86,95	B
32	SKU-61	PG-10	68.522,87	0,67	87,61	B
33	SKU-43	PG-7	65.993,13	0,64	88,26	B
34	SKU-45	PG-8	64.063,98	0,63	88,88	B
35	SKU-9	PG-2	59.455,18	0,58	89,46	B
36	SKU-46	PG-8	57.625,59	0,56	90,03	B
37	SKU-62	PG-10	57.325,67	0,56	90,59	B
38	SKU-8	PG-2	53.052,31	0,52	91,10	B
39	SKU-10	PG-2	45.419,86	0,44	91,55	B
40	SKU-63	PG-10	44.948,76	0,44	91,99	B

EK-3: SKU'lara Göre 2019 Yılı Sınıflandırma Analizi (Devam)

Sıra No	Stok Kalemi (SKU-#)	Ait Olduğu Ürün Grubu	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)	Sınıfı
41	SKU-14	PG-3	44.925,02	0,44	92,43	B
42	SKU-55	PG-9	44.625,12	0,44	92,86	B
43	SKU-47	PG-8	43.909,02	0,43	93,29	B
44	SKU-60	PG-10	43.549,11	0,43	93,71	B
45	SKU-64	PG-10	43.109,22	0,42	94,14	B
46	SKU-56	PG-9	42.690,77	0,42	94,55	B
47	SKU-15	PG-3	36.932,69	0,36	94,91	B
48	SKU-54	PG-9	34.698,43	0,34	95,25	C
49	SKU-57	PG-9	33.948,68	0,33	95,58	C
50	SKU-16	PG-3	33.873,71	0,33	95,91	C
51	SKU-11	PG-2	33.843,72	0,33	96,24	C
52	SKU-58	PG-9	32.344,22	0,32	96,56	C
53	SKU-17	PG-3	28.505,50	0,28	96,84	C
54	SKU-65	PG-10	20.974,76	0,20	97,04	C
55	SKU-18	PG-3	19.553,48	0,19	97,23	C
56	SKU-69	PG-11	16.839,39	0,16	97,40	C
57	SKU-70	PG-11	16.494,50	0,16	97,56	C
58	SKU-59	PG-9	16.284,57	0,16	97,72	C
59	SKU-12	PG-2	15.984,67	0,16	97,87	C
60	SKU-67	PG-11	15.789,74	0,15	98,03	C
61	SKU-66	PG-11	15.789,74	0,15	98,18	C
62	SKU-22	PG-4	14.665,11	0,14	98,33	C
63	SKU-21	PG-4	14.665,11	0,14	98,47	C
64	SKU-20	PG-4	14.560,15	0,14	98,61	C
65	SKU-23	PG-4	14.560,15	0,14	98,75	C
66	SKU-24	PG-4	14.560,15	0,14	98,89	C
67	SKU-68	PG-11	14.560,15	0,14	99,04	C
68	SKU-72	PG-11	13.885,37	0,14	99,17	C
69	SKU-50	PG-8	12.516,87	0,12	99,29	C
70	SKU-19	PG-3	12.430,86	0,12	99,42	C
71	SKU-52	PG-8	10.357,41	0,10	99,52	C
72	SKU-53	PG-8	8.797,80	0,09	99,60	C
73	SKU-73	PG-11	7.887,37	0,08	99,68	C
74	SKU-49	PG-8	6.478,38	0,06	99,74	C
75	SKU-51	PG-8	6.038,49	0,06	99,80	C
76	SKU-71	PG-11	5.848,05	0,06	99,86	C
77	SKU-25	PG-4	5.488,17	0,05	99,91	C
78	SKU-13	PG-2	5.323,23	0,05	99,96	C
79	SKU-48	PG-8	3.599,10	0,04	100,00	C

EK-4: SKU'lara Göre 2020 Yılı Sınıflandırma Analizi

Sıra No	Stok Kalemi (SKU-#)	Ait Olduğu Ürün Grubu	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)	Sınıfı
1	SKU-33	PG-6	880.461,95	6,36	6,36	A
2	SKU-75	PG-12	861.169,34	6,22	12,57	A
3	SKU-34	PG-6	775.022,49	5,59	18,17	A
4	SKU-76	PG-12	752.715,72	5,43	23,60	A
5	SKU-35	PG-6	748.925,10	5,41	29,01	A
6	SKU-74	PG-12	704.948,53	5,09	34,09	A
7	SKU-78	PG-12	668.995,65	4,83	38,92	A
8	SKU-32	PG-6	605.039,49	4,37	43,29	A
9	SKU-77	PG-12	539.888,24	3,90	47,19	A
10	SKU-39	PG-7	370.185,44	2,67	49,86	A
11	SKU-40	PG-7	364.186,06	2,63	52,49	A
12	SKU-41	PG-7	354.971,02	2,56	55,05	A
13	SKU-38	PG-7	344.220,14	2,48	57,54	A
14	SKU-79	PG-12	337.175,17	2,43	59,97	A
15	SKU-36	PG-6	334.666,53	2,42	62,39	A
16	SKU-42	PG-7	329.629,66	2,38	64,76	A
17	SKU-27	PG-5	263.573,64	1,90	66,67	A
18	SKU-5	PG-1	252.928,38	1,83	68,49	A
19	SKU-28	PG-5	251.824,82	1,82	70,31	A
20	SKU-29	PG-5	250.874,91	1,81	72,12	A
21	SKU-6	PG-1	239.890,01	1,73	73,85	A
22	SKU-26	PG-5	142.285,77	1,03	74,88	A
23	SKU-1	PG-1	117.945,26	0,85	75,73	A
24	SKU-30	PG-5	117.438,26	0,85	76,58	A
25	SKU-44	PG-8	115.851,03	0,84	77,42	A
26	SKU-43	PG-7	113.988,13	0,82	78,24	A
27	SKU-2	PG-1	107.146,61	0,77	79,01	A
28	SKU-45	PG-8	106.293,42	0,77	79,78	A
29	SKU-37	PG-6	101.089,89	0,73	80,51	B
30	SKU-10	PG-2	100.766,40	0,73	81,24	B
31	SKU-4	PG-1	97.667,79	0,71	81,94	B
32	SKU-9	PG-2	94.888,36	0,68	82,63	B
33	SKU-3	PG-1	94.068,24	0,68	83,31	B
34	SKU-7	PG-1	94.068,24	0,68	83,98	B
35	SKU-8	PG-2	84.781,73	0,61	84,60	B
36	SKU-11	PG-2	84.586,80	0,61	85,21	B
37	SKU-61	PG-10	82.499,37	0,60	85,80	B
38	SKU-46	PG-8	81.319,67	0,59	86,39	B
39	SKU-47	PG-8	79.540,11	0,57	86,96	B
40	SKU-62	PG-10	77.320,67	0,56	87,52	B

EK-4: SKU'lara Göre 2020 Yılı Sınıflandırma Analizi (Devam)

Sıra No	Stok Kalemi (SKU-#)	Ait Olduğu Ürün Grubu	Toplam Satış Hacmi (TL)	Toplam Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)	Sınıfı
41	SKU-63	PG-10	76.460,88	0,55	88,07	B
42	SKU-12	PG-2	73.415,52	0,53	88,60	B
43	SKU-31	PG-5	69.043,10	0,50	89,10	B
44	SKU-50	PG-8	65.883,53	0,48	89,58	B
45	SKU-60	PG-10	65.823,54	0,48	90,05	B
46	SKU-64	PG-10	61.024,74	0,44	90,49	B
47	SKU-52	PG-8	59.805,05	0,43	90,92	B
48	SKU-53	PG-8	53.506,62	0,39	91,31	B
49	SKU-49	PG-8	53.506,62	0,39	91,70	B
50	SKU-51	PG-8	53.506,62	0,39	92,08	B
51	SKU-48	PG-8	53.506,62	0,39	92,47	B
52	SKU-13	PG-2	50.533,15	0,36	92,83	B
53	SKU-67	PG-11	49.843,38	0,36	93,19	B
54	SKU-66	PG-11	49.843,38	0,36	93,55	B
55	SKU-56	PG-9	48.748,75	0,35	93,91	B
56	SKU-54	PG-9	47.639,12	0,34	94,25	B
57	SKU-57	PG-9	47.534,15	0,34	94,59	B
58	SKU-14	PG-3	46.589,47	0,34	94,93	B
59	SKU-55	PG-9	45.959,68	0,33	95,26	C
60	SKU-15	PG-3	45.479,84	0,33	95,59	C
61	SKU-16	PG-3	45.374,87	0,33	95,92	C
62	SKU-17	PG-3	43.800,40	0,32	96,23	C
63	SKU-58	PG-9	43.350,55	0,31	96,55	C
64	SKU-18	PG-3	41.191,27	0,30	96,84	C
65	SKU-69	PG-11	35.688,10	0,26	97,10	C
66	SKU-70	PG-11	34.878,37	0,25	97,35	C
67	SKU-68	PG-11	34.878,37	0,25	97,60	C
68	SKU-72	PG-11	34.878,37	0,25	97,86	C
69	SKU-71	PG-11	29.990,00	0,22	98,07	C
70	SKU-22	PG-4	29.660,11	0,21	98,29	C
71	SKU-21	PG-4	29.660,11	0,21	98,50	C
72	SKU-20	PG-4	29.555,15	0,21	98,71	C
73	SKU-23	PG-4	29.555,15	0,21	98,93	C
74	SKU-24	PG-4	29.555,15	0,21	99,14	C
75	SKU-73	PG-11	28.205,60	0,20	99,34	C
76	SKU-65	PG-10	27.673,08	0,20	99,54	C
77	SKU-59	PG-9	22.432,52	0,16	99,71	C
78	SKU-25	PG-4	20.483,17	0,15	99,85	C
79	SKU-19	PG-3	20.273,24	0,15	100,00	C

EK-5: Aylık Talep ve Satış Miktarları

Dönem	SKU-27		SKU-33		SKU-39	
	Talep	Satış	Talep	Satış	Talep	Satış
2019-01	1119	1116	1052	1049	334	334
2019-02	993	993	623	623	176	176
2019-03	1248	1218	1024	995	376	350
2019-04	166	163	174	171	72	71
2019-05	2419	858	1462	1054	946	698
2019-06	3802	2408	2824	2622	1690	1480
2019-07	1154	1034	1182	1074	411	411
2019-08	62	62	239	239	158	158
2019-09	415	415	346	346	262	262
2019-10	542	542	531	531	325	325
2019-11	825	725	930	870	527	527
2019-12	831	591	680	680	416	386
2020-01	374	371	523	522	318	318
2020-02	798	798	657	657	336	336
2020-03	290	290	1402	1288	305	305
2020-04	1034	824	1181	1181	636	588
2020-05	370	229	591	591	84	84
2020-06	1876	146	3275	2085	618	498
2020-07	1817	136	279	237	133	133
2020-08	1412	275	2327	1850	1692	1596
2020-09	5681	425	6073	6073	3427	2427
2020-10	1917	99	1388	57	646	643
2020-11	2990	458	1457	1097	120	120
2020-12	4363	1221	2002	1973	682	665
2021-01	746	674	342	342	96	96
2021-02	1402	504	1303	1303	455	455
2021-03	1400	638	1112	1112	311	311
2021-04	712	712	475	475	177	177
2021-05	4475	3341	7488	7488	2577	2577
2021-06	2757	2657	4370	4364	2897	2897

TOPLAM Talep:

SKU-27: 47990, SKU-33: 47312, SKU-39: 21203

TOPLAM Satış:

SKU-27: 23557, SKU-33: 42877, SKU-39: 19404

EK-6: Modeller için Kalıntı Korelogramları (Birinci Öngörü Dönemi)

Gecikme (Lag)	SKU27_INT			SKU33_INT			SKU39_INT		
	AC	PAC	Q-Stat*	AC	PAC	Q-Stat*	AC	PAC	Q-Stat*
1	0,025	0,025	0,070	-0,140	-0,140	2,090	-0,032	-0,032	0,109
2	-0,073	-0,073	0,640	0,072	0,053	2,647	-0,009	-0,010	0,117
3	0,126	0,130	2,367	0,252	0,276	9,601	-0,053	-0,053	0,418
4	-0,077	-0,092	3,017	-0,074	-0,006	10,211	0,029	0,025	0,509
5	-0,012	0,015	3,034	0,019	-0,039	10,250	-0,037	-0,037	0,663
6	0,040	0,010	3,216	-0,005	-0,077	10,253	0,083	0,079	1,435
7	0,010	0,031	3,229	-0,036	-0,025	10,400	-0,021	-0,015	1,485
8	-0,036	-0,042	3,378	-0,049	-0,049	10,670	0,083	0,081	2,270
9	-0,042	-0,043	3,584	-0,060	-0,056	11,087	-0,005	0,009	2,273
10	-0,055	-0,060	3,944	-0,087	-0,091	11,965	-0,073	-0,079	2,892
11	0,015	0,027	3,970	0,079	0,101	12,696	0,102	0,116	4,126
12	-0,145	-0,159	6,487	-0,176	-0,121	16,390	-0,102	-0,116	5,351
13	0,077	0,110	7,214	0,090	0,082	17,371	0,035	0,040	5,502
14	0,069	0,019	7,801	0,059	0,059	17,796	-0,122	-0,131	7,307
15	-0,080	-0,022	8,588	-0,095	-0,019	18,922	-0,051	-0,075	7,631
16	0,085	0,055	9,489	0,149	0,067	21,700	-0,040	-0,024	7,827
17	-0,028	-0,045	9,590	-0,043	-0,043	21,934	0,152	0,109	10,730
18	0,058	0,104	10,017	0,046	0,038	22,210	0,021	0,070	10,787
19	0,116	0,077	11,750	0,116	0,090	23,945	-0,083	-0,125	11,675
20	-0,052	-0,056	12,101	-0,070	-0,048	24,586	0,001	0,056	11,675
21	-0,008	-0,007	12,109	0,032	-0,019	24,721	0,012	0,011	11,693
22	-0,022	-0,060	12,173	-0,026	-0,085	24,814	-0,019	-0,018	11,743
23	-0,001	0,052	12,173	-0,013	0,047	24,839	-0,013	0,013	11,766
24	-0,007	-0,046	12,180	-0,029	-0,038	24,957	0,045	-0,002	12,038

*Tüm gecikmeler için $P > 0,01$ 'dir ve bu nedenle tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamsızdır.

EK-7: Modeller için Kalıntı Korelogramları (İkinci Öngörü Dönemi)

Gecikme (Lag)	SKU27_INT			SKU33_INT			SKU39_INT		
	AC	PAC	Q-Stat*	AC	PAC	Q-Stat*	AC	PAC	Q-Stat*
1	0,033	0,033	0,127	-0,030	-0,030	0,102	-0,030	-0,030	0,100
2	-0,094	-0,095	1,151	-0,021	-0,022	0,155	0,004	0,003	0,103
3	0,142	0,150	3,542	-0,095	-0,096	1,219	-0,033	-0,033	0,230
4	-0,060	-0,084	3,972	-0,054	-0,061	1,560	0,002	0,000	0,230
5	-0,050	-0,014	4,268	0,083	0,076	2,392	-0,042	-0,042	0,441
6	0,027	-0,006	4,358	0,150	0,147	5,137	0,088	0,085	1,369
7	0,039	0,054	4,544	-0,104	-0,104	6,453	-0,024	-0,019	1,439
8	-0,058	-0,059	4,961	-0,006	0,003	6,457	0,063	0,060	1,928
9	-0,083	-0,079	5,832	-0,010	0,025	6,469	-0,004	0,005	1,930
10	0,006	-0,009	5,836	0,083	0,079	7,346	-0,051	-0,055	2,260
11	0,027	0,037	5,930	-0,032	-0,067	7,476	0,104	0,114	3,616
12	-0,205	-0,201	11,335	-0,194	-0,214	12,330	-0,108	-0,117	5,118
13	0,158	0,189	14,558	-0,039	-0,007	12,526	-0,001	0,003	5,118
14	0,150	0,077	17,528	-0,042	-0,054	12,760	-0,141	-0,153	7,726
15	-0,109	-0,029	19,106	-0,005	-0,072	12,763	-0,093	-0,111	8,856
16	0,105	0,070	20,576	0,032	-0,024	12,897	0,035	0,048	9,015
17	0,033	-0,017	20,724	-0,017	0,038	12,936	0,085	0,045	9,996
18	0,082	0,157	21,649	0,104	0,174	14,404	0,060	0,103	10,485
19	0,114	0,090	23,434	-0,050	-0,077	14,753	-0,049	-0,081	10,815
20	-0,045	-0,082	23,719	-0,029	-0,031	14,869	-0,027	0,008	10,914
21	0,015	0,014	23,749	-0,109	-0,086	16,560	-0,018	0,010	10,961
22	-0,015	-0,010	23,781	-0,164	-0,167	20,411	-0,035	-0,057	11,137
23	0,005	0,072	23,785	0,064	-0,007	21,006	0,023	0,067	11,211
24	-0,014	-0,091	23,813	0,051	-0,054	21,383	0,067	0,009	11,859

*Tüm gecikmeler için $P > 0,01$ 'dir ve bu nedenle tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamsızdır.

EK-8: YSA ile Zaman Serileri Analizi için Geliştirilen Algoritma

```
# # ----- import relevant libraries -----
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

%matplotlib inline
import itertools
import math

from keras.callbacks import EarlyStopping
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.optimizers import Adam

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.metrics import r2_score
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_error

# # ----- read SKU data from csv file respectively -----
df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku27.csv")
df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku33.csv")
df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku39.csv")

df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku27_2.csv")
df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku33_2.csv")
df = pd.read_csv("G:/Drive'1m/PHD/.../nn_workfile_sku39_2.csv")

# # ----- define valid date notation as DatetimeIndex -----
dates = pd.date_range(start='2018-12-31', freq='W-MON', periods=len(df))
print(dates)

# # ----- define data frames -----
df.set_index(dates, inplace=True)
df_sku = df.drop(columns=['date'])
print(df_sku)
```

```

# # ----- create SKU figures -----
plt.figure(figsize=(9,4))
columnn = df_sku.columns.values
legend = columnn[0]
plt.plot(df_sku[columnn], 'b', label = legend)
plt.legend()

# # ----- slice data to draw SKU figures with no break -----
train = df_sku.iloc[:-8]
test = df_sku.iloc[-9:]

# train = df_sku.iloc[:-9]
# test = df_sku.iloc[-10:]

plt.figure(figsize=(9,4))
plt.plot(train, 'b', label = 'train ' + legend)
plt.plot(test, 'r', label = 'test ' + legend)
plt.legend()

# # ----- reshape training and test data -----
all_data = df_sku.iloc[:, 0:1].values

training_data = all_data[0:105:1]
test_data = all_data[104:114:1]

# training_data = all_data[0:114:1]
# test_data = all_data[113:124:1]

print(training_data.shape)
print(test_data.shape)

# # ----- normalize training and test data -----
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(-1, 1))
train_sc = scaler.fit_transform(training_data)
test_sc = scaler.transform(test_data)

# # ----- divide train and test data into subsets -----
X_train = train_sc[:-1]
y_train = train_sc[1:]
X_test = test_sc[:-1]
y_test = test_sc[1:]

```

```

# # ----- create training model with different topologies -----
nn_model = Sequential()

# topology_1 (1:2:1)
nn_model.add(Dense(2, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

# topology_2 (1:12:1)
nn_model.add(Dense(12, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

# topology_3 (1:20:1)
nn_model.add(Dense(20, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

# topology_4 (1:4:2:1)
nn_model.add(Dense(4, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(2, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

# topology_5 (1:9:4:1)
nn_model.add(Dense(9, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(4, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

# topology_6 (1:12:6:1)
nn_model.add(Dense(12, input_dim=1, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(6, activation='relu'))
nn_model.add(Dense(1))

nn_model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')
early_stop = EarlyStopping(monitor='loss', patience=2, verbose=1)
history = nn_model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=1, verbose=0,
                      callbacks=[early_stop], shuffle=False)

# # ----- predict the model and get fitting scores for train and test data -----
y_train_pred = nn_model.predict(X_train)
y_test_pred = nn_model.predict(X_test)

n_y_train = scaler.inverse_transform(y_train).round()
n_y_train_pred = scaler.inverse_transform(y_train_pred)

```

```

n_y_test = scaler.inverse_transform(y_test).round()
n_y_test_pred = scaler.inverse_transform(y_test_pred)

print("Normal Train R2:\t{:.3f}"
      .format(r2_score(n_y_train, n_y_train_pred)))
print("Normal Train MSE:\t{:.3f}"
      .format(mean_squared_error(n_y_train, n_y_train_pred)))
print("Normal Train RMSE:\t{:.3f}"
      .format(math.sqrt(mean_squared_error(n_y_train, n_y_train_pred))))
print("Normal Train MAE:\t{:.3f}"
      .format(mean_absolute_error(n_y_train, n_y_train_pred)))

print('*'*80)

print("Normal Test R2:\t\t{:.3f}"
      .format(r2_score(n_y_test, n_y_test_pred)))
print("Normal Test MSE:\t{:.3f}"
      .format(mean_squared_error(n_y_test, n_y_test_pred)))
print("Normal Test RMSE:\t{:.3f}"
      .format(math.sqrt(mean_squared_error(n_y_test, n_y_test_pred))))
print("Normal Test MAE:\t{:.3f}"
      .format(mean_absolute_error(n_y_test, n_y_test_pred)))

# # ----- draw graphs of forecasted train and test data -----
plt.figure(figsize=(9,4))
plt.plot(n_y_train, label='True')
plt.plot(n_y_train_pred, label='NN Estimation')
plt.legend()
plt.show()
print(n_y_train.shape)
print(n_y_train_pred.shape)

plt.figure(figsize=(9,4))
plt.plot(n_y_test, label='True')
plt.plot(n_y_test_pred, label='NN Forecast')
plt.legend()
plt.show()
print(n_y_test.shape)
print(n_y_test_pred.shape)

```

```

# # ----- transfer forecasted values to txt file -----
with open(r"G:/Drive'1m/PHD/.../container.txt", 'w') as fp:
    lst1 = n_y_train.tolist()
    lst2 = n_y_train_pred.tolist()
    lst3 = n_y_test.tolist()
    lst4 = n_y_test_pred.tolist()

    for item in lst1:
        fp.write("%s\n" % item)
        fp.write('*'*30)
        fp.write('\n')

    for item in lst2:
        fp.write("%s\n" % item)
        fp.write('-'*50)
        fp.write('\n')

    for item in lst3:
        fp.write("%s\n" % item)
        fp.write('*'*30)
        fp.write('\n')

    for item in lst4:
        fp.write("%s\n" % item)

```

EK-9: SKU-27 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	Küm. c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	0	336	264	72	0	0	0	0	0	0	0	3.600	3.600	3.600	3.600
2	144	141	141	0	3	800	800	4.320	4.320	18	18	0	3.600	5.138	8.738
3	285	5	5	0	283	800	1.600	8.550	12.870	1.698	1.716	0	3.600	11.048	19.786
4	149	252	252	0	180	800	2.400	4.470	17.340	1.080	2.796	0	3.600	6.350	26.136
5	324	508	504	4	0	800	3.200	9.720	27.060	0	2.796	200	3.800	10.720	36.856
6	0	144	0	144	0	0	3.200	0	27.060	0	2.796	7.200	11.000	7.200	44.056
7	0	222	0	222	0	0	3.200	0	27.060	0	2.796	11.100	22.100	11.100	55.156
8	0	528	0	528	0	0	3.200	0	27.060	0	2.796	26.400	48.500	26.400	81.556
9	0	330	0	330	0	0	3.200	0	27.060	0	2.796	16.500	65.000	16.500	98.056
10	268	364	268	96	0	800	4.000	8.040	35.100	0	2.796	4.800	69.800	13.640	111.696
11	168	168	168	0	0	800	4.800	5.040	40.140	0	2.796	0	69.800	5.840	117.536
12	24	264	24	240	0	800	5.600	720	40.860	0	2.796	12.000	81.800	13.520	131.056
13	178	274	178	96	0	800	6.400	5.340	46.200	0	2.796	4.800	86.600	10.940	141.996
14	168	3	3	0	165	800	7.200	5.040	51.240	990	3.786	0	86.600	6.830	148.826
15	459	493	493	0	131	800	8.000	13.770	65.010	786	4.572	0	86.600	15.356	164.182
16	0	24	24	0	107	0	8.000	0	65.010	642	5.214	0	86.600	642	164.824
17	724	192	192	0	639	800	8.800	21.720	86.730	3.834	9.048	0	86.600	26.354	191.178
18	1.344	0	0	0	1.983	800	9.600	40.320	127.050	11.898	20.946	0	86.600	53.018	244.196
19	1.344	0	0	0	3.327	800	10.400	40.320	167.370	19.962	40.908	0	86.600	61.082	305.278
20	14	457	457	0	2.884	800	11.200	420	167.790	17.304	58.212	0	86.600	18.524	323.802
21	0	4.018	2.884	1.134	0	0	11.200	0	167.790	0	58.212	56.700	143.300	56.700	380.502
22	1.344	1.156	1.156	0	188	800	12.000	40.320	208.110	1.128	59.340	0	143.300	42.248	422.750
23	1.344	1.316	1.316	0	216	800	12.800	40.320	248.430	1.296	60.636	0	143.300	42.416	465.166
24	495	0	0	0	711	800	13.600	14.850	263.280	4.266	64.902	0	143.300	19.916	485.082

Yukarıdaki tablo, üreticiden alınan veriler doğrultusunda hazırlanmıştır. Aşağıdaki tablo ise, önerilen model doğrultusunda Tablo 3.18'deki denklemlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Öngörü ve kampanya dönemleri kesikli çizgilerle birbirinden ayrılmıştır.

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	Küm. c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	564	336	336	0	228	800	800	16.920	16.920	1.368	1.368	0	0	19.088	19.088
2	181	141	141	0	268	800	1.600	5.430	22.350	1.608	2.976	0	0	7.838	26.926
3	185	5	5	0	448	800	2.400	5.550	27.900	2.688	5.664	0	0	9.038	35.964
4	187	252	252	0	383	800	3.200	5.610	33.510	2.298	7.962	0	0	8.708	44.672
5	189	508	508	0	64	800	4.000	5.670	39.180	384	8.346	0	0	6.854	51.526
6	191	144	144	0	111	800	4.800	5.730	44.910	666	9.012	0	0	7.196	58.722
7	192	222	222	0	81	800	5.600	5.760	50.670	486	9.498	0	0	7.046	65.768
8	193	528	274	254	0	800	6.400	5.790	56.460	0	9.498	12.700	12.700	19.290	85.058
9	194	330	194	136	0	800	7.200	5.820	62.280	0	9.498	6.800	19.500	13.420	98.478
10	475	364	364	0	111	800	8.000	14.250	76.530	666	10.164	0	19.500	15.716	114.194
11	170	168	168	0	113	800	8.800	5.100	81.630	678	10.842	0	19.500	6.578	120.772
12	212	264	264	0	61	800	9.600	6.360	87.990	366	11.208	0	19.500	7.526	128.298
13	198	274	259	15	0	800	10.400	5.940	93.930	0	11.208	750	20.250	7.490	135.788
14	195	3	3	0	192	800	11.200	5.850	99.780	1.152	12.360	0	20.250	7.802	143.590
15	222	493	414	79	0	800	12.000	6.660	106.440	0	12.360	3.950	24.200	11.410	155.000
16	160	24	24	0	136	800	12.800	4.800	111.240	816	13.176	0	24.200	6.416	161.416
17	300	192	192	0	244	800	13.600	9.000	120.240	1.464	14.640	0	24.200	11.264	172.680
18	1.344	0	0	0	1.588	800	14.400	40.320	160.560	9.528	24.168	0	24.200	50.648	223.328
19	1.344	0	0	0	2.932	800	15.200	40.320	200.880	17.592	41.760	0	24.200	58.712	282.040
20	1.344	457	457	0	3.819	800	16.000	40.320	241.200	22.914	64.674	0	24.200	64.034	346.074
21	1.344	4.018	4.018	0	1.145	800	16.800	40.320	281.520	6.870	71.544	0	24.200	47.990	394.064
22	1.344	1.156	1.156	0	1.333	800	17.600	40.320	321.840	7.998	79.542	0	24.200	49.118	443.182
23	1.344	1.316	1.316	0	1.361	800	18.400	40.320	362.160	8.166	87.708	0	24.200	49.286	492.468
24	0	0	0	0	1.361	0	18.400	0	362.160	8.166	95.874	0	24.200	8.166	500.634

EK-10: SKU-33 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	0	90	90	0	2.584	0	0	0	0	15.504	15.504	0	0	15.504	15.504
2	0	94	94	0	2.490	0	0	0	0	14.940	30.444	0	0	14.940	30.444
3	593	28	28	0	3.055	800	800	17.790	17.790	18.330	48.774	0	0	36.920	67.364
4	527	130	130	0	3.452	800	1.600	15.810	33.600	20.712	69.486	0	0	37.322	104.686
5	785	575	575	0	3.662	800	2.400	23.550	57.150	21.972	91.458	0	0	46.322	151.008
6	1.234	38	38	0	4.858	800	3.200	37.020	94.170	29.148	120.606	0	0	66.968	217.976
7	722	504	504	0	5.076	800	4.000	21.660	115.830	30.456	151.062	0	0	52.916	270.892
8	90	186	186	0	4.980	800	4.800	2.700	118.530	29.880	180.942	0	0	33.380	304.272
9	0	132	132	0	4.848	0	4.800	0	118.530	29.088	210.030	0	0	29.088	333.360
10	624	218	218	0	5.254	800	5.600	18.720	137.250	31.524	241.554	0	0	51.044	384.404
11	253	150	150	0	5.357	800	6.400	7.590	144.840	32.142	273.696	0	0	40.532	424.936
12	1.203	450	450	0	6.110	800	7.200	36.090	180.930	36.660	310.356	0	0	73.550	498.486
13	1.504	162	162	0	7.452	800	8.000	45.120	226.050	44.712	355.068	0	0	90.632	589.118
14	0	42	42	0	7.410	0	8.000	0	226.050	44.460	399.528	0	0	44.460	633.578
15	3.156	234	234	0	10.332	800	8.800	94.680	320.730	61.992	461.520	0	0	157.472	791.050
16	0	124	124	0	10.208	0	8.800	0	320.730	61.248	522.768	0	0	61.248	852.298
17	0	75	75	0	10.133	0	8.800	0	320.730	60.798	583.566	0	0	60.798	913.096
18	89	0	0	0	10.222	800	9.600	2.670	323.400	61.332	644.898	0	0	64.802	977.898
19	981	72	72	0	11.131	800	10.400	29.430	352.830	66.786	711.684	0	0	97.016	1.074.914
20	72	2.753	2.753	0	8.450	800	11.200	2.160	354.990	50.700	762.384	0	0	53.660	1.128.574
21	72	4.663	4.663	0	3.859	800	12.000	2.160	357.150	23.154	785.538	0	0	26.114	1.154.688
22	1.189	3.914	3.914	0	1.134	800	12.800	35.670	392.820	6.804	792.342	0	0	43.274	1.197.962
23	0	375	375	0	759	0	12.800	0	392.820	4.554	796.896	0	0	4.554	1.202.516
24	0	0	0	0	759	0	12.800	0	392.820	4.554	801.450	0	0	4.554	1.207.070

Yukarıdaki tablo, üreticiden alınan veriler doğrultusunda hazırlanmıştır. Aşağıdaki tablo ise, önerilen model doğrultusunda Tablo 3.18'deki denklemlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Öngörü ve kampanya dönemleri kesikli çizgilerle birbirinden ayrılmıştır.

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	210	90	90	0	120	800	800	6.300	6.300	720	720	0	0	7.820	7.820
2	193	94	94	0	219	800	1.600	5.790	12.090	1.314	2.034	0	0	7.904	15.724
3	194	28	28	0	385	800	2.400	5.820	17.910	2.310	4.344	0	0	8.930	24.654
4	184	130	130	0	439	800	3.200	5.520	23.430	2.634	6.978	0	0	8.954	33.608
5	199	575	575	0	63	800	4.000	5.970	29.400	378	7.356	0	0	7.148	40.756
6	246	38	38	0	271	800	4.800	7.380	36.780	1.626	8.982	0	0	9.806	50.562
7	185	504	456	48	0	800	5.600	5.550	42.330	0	8.982	2.400	2.400	8.750	59.312
8	243	186	186	0	57	800	6.400	7.290	49.620	342	9.324	0	2.400	8.432	67.744
9	208	132	132	0	133	800	7.200	6.240	55.860	798	10.122	0	2.400	7.838	75.582
10	200	218	218	0	115	800	8.000	6.000	61.860	690	10.812	0	2.400	7.490	83.072
11	213	150	150	0	178	800	8.800	6.390	68.250	1.068	11.880	0	2.400	8.258	91.330
12	203	450	381	69	0	800	9.600	6.090	74.340	0	11.880	3.450	5.850	10.340	101.670
13	248	162	162	0	86	800	10.400	7.440	81.780	516	12.396	0	5.850	8.756	110.426
14	205	42	42	0	249	800	11.200	6.150	87.930	1.494	13.890	0	5.850	8.444	118.870
15	183	234	234	0	198	800	12.000	5.490	93.420	1.188	15.078	0	5.850	7.478	126.348
16	215	124	124	0	289	800	12.800	6.450	99.870	1.734	16.812	0	5.850	8.984	135.332
17	199	75	75	0	413	800	13.600	5.970	105.840	2.478	19.290	0	5.850	9.248	144.580
18	190	0	0	0	603	800	14.400	5.700	111.540	3.618	22.908	0	5.850	10.118	154.698
19	173	72	72	0	704	800	15.200	5.190	116.730	4.224	27.132	0	5.850	10.214	164.912
20	4.016	2.753	2.753	0	1.967	800	16.000	120.480	237.210	11.802	38.934	0	5.850	133.082	297.994
21	4.016	4.663	4.663	0	1.320	800	16.800	120.480	357.690	7.920	46.854	0	5.850	129.200	427.194
22	1.401	3.914	2.721	1.193	0	800	17.600	42.030	399.720	0	46.854	59.650	65.500	102.480	529.674
23	0	375	0	375	0	0	17.600	0	399.720	0	46.854	18.750	84.250	18.750	548.424
24	0	0	0	0	0	0	17.600	0	399.720	0	46.854	0	84.250	0	548.424

EK-11: SKU-39 Üretim ve Stok Maliyetleri Kaynak Tablosu

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	Küm. c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	0	48	48	0	1.361	0	0	0	0	8.166	8.166	0	0	8.166	8.166
2	0	17	17	0	1.344	0	0	0	0	8.064	16.230	0	0	8.064	16.230
3	0	0	0	0	1.344	0	0	0	0	8.064	24.294	0	0	8.064	24.294
4	0	31	31	0	1.313	0	0	0	0	7.878	32.172	0	0	7.878	32.172
5	298	200	200	0	1.411	800	800	8.940	8.940	8.466	40.638	0	0	18.206	50.378
6	1.253	0	0	0	2.664	800	1.600	37.590	46.530	15.984	56.622	0	0	54.374	104.752
7	624	133	133	0	3.155	800	2.400	18.720	65.250	18.930	75.552	0	0	38.450	143.202
8	829	122	122	0	3.862	800	3.200	24.870	90.120	23.172	98.724	0	0	48.842	192.044
9	347	30	30	0	4.179	800	4.000	10.410	100.530	25.074	123.798	0	0	36.284	228.328
10	21	100	100	0	4.100	800	4.800	630	101.160	24.600	148.398	0	0	26.030	254.358
11	1.292	34	34	0	5.358	800	5.600	38.760	139.920	32.148	180.546	0	0	71.708	326.066
12	698	96	96	0	5.960	800	6.400	20.940	160.860	35.760	216.306	0	0	57.500	383.566
13	760	51	51	0	6.669	800	7.200	22.800	183.660	40.014	256.320	0	0	63.614	447.180
14	51	12	12	0	6.708	800	8.000	1.530	185.190	40.248	296.568	0	0	42.578	489.758
15	12	116	116	0	6.604	800	8.800	360	185.550	39.624	336.192	0	0	40.784	530.542
16	0	12	12	0	6.592	0	8.800	0	185.550	39.552	375.744	0	0	39.552	570.094
17	0	37	37	0	6.555	0	8.800	0	185.550	39.330	415.074	0	0	39.330	609.424
18	0	0	0	0	6.555	0	8.800	0	185.550	39.330	454.404	0	0	39.330	648.754
19	0	0	0	0	6.555	0	8.800	0	185.550	39.330	493.734	0	0	39.330	688.084
20	0	506	506	0	6.049	0	8.800	0	185.550	36.294	530.028	0	0	36.294	724.378
21	0	2.071	2.071	0	3.978	0	8.800	0	185.550	23.868	553.896	0	0	23.868	748.246
22	0	2.454	2.454	0	1.524	0	8.800	0	185.550	9.144	563.040	0	0	9.144	757.390
23	0	350	350	0	1.174	0	8.800	0	185.550	7.044	570.084	0	0	7.044	764.434
24	0	0	0	0	1.174	0	8.800	0	185.550	7.044	577.128	0	0	7.044	771.478

Yukarıdaki tablo, üreticiden alınan veriler doğrultusunda hazırlanmıştır. Aşağıdaki tablo ise, önerilen model doğrultusunda Tablo 3.18'deki denklemlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Öngörü ve kampanya dönemleri kesikli çizgilerle birbirinden ayrılmıştır.

t	Q_t	D_t	S_t	LS_t	h_t	c_{k_t}	Küm. c_k	Küm. c_{Q_t}	Küm. c_Q	c_{h_t}	Küm. c_h	c_{LS_t}	Küm. c_{LS}	TC_t	Küm. TC
1	126	48	48	0	78	800	800	3.780	3.780	468	468	0	0	5.048	5.048
2	0	17	17	0	61	0	800	0	3.780	366	834	0	0	366	5.414
3	120	0	0	0	181	800	1.600	3.600	7.380	1.086	1.920	0	0	5.486	10.900
4	0	31	31	0	150	0	1.600	0	7.380	900	2.820	0	0	900	11.800
5	188	200	200	0	138	800	2.400	5.640	13.020	828	3.648	0	0	7.268	19.068
6	0	0	0	0	138	0	2.400	0	13.020	828	4.476	0	0	828	19.896
7	0	133	133	0	5	0	2.400	0	13.020	30	4.506	0	0	30	19.926
8	155	122	122	0	38	800	3.200	4.650	17.670	228	4.734	0	0	5.678	25.604
9	0	30	30	0	8	0	3.200	0	17.670	48	4.782	0	0	48	25.652
10	124	100	100	0	32	800	4.000	3.720	21.390	192	4.974	0	0	4.712	30.364
11	0	34	32	2	0	0	4.000	0	21.390	0	4.974	100	100	100	30.464
12	124	96	96	0	28	800	4.800	3.720	25.110	168	5.142	0	100	4.688	35.152
13	0	51	28	23	0	0	4.800	0	25.110	0	5.142	1.150	1.250	1.150	36.302
14	124	12	12	0	112	800	5.600	3.720	28.830	672	5.814	0	1.250	5.192	41.494
15	0	116	112	4	0	0	5.600	0	28.830	0	5.814	200	1.450	200	41.694
16	124	12	12	0	112	800	6.400	3.720	32.550	672	6.486	0	1.450	5.192	46.886
17	0	37	37	0	75	0	6.400	0	32.550	450	6.936	0	1.450	450	47.336
18	124	0	0	0	199	800	7.200	3.720	36.270	1.194	8.130	0	1.450	5.714	53.050
19	0	0	0	0	199	0	7.200	0	36.270	1.194	9.324	0	1.450	1.194	54.244
20	1.980	506	506	0	1.673	800	8.000	59.400	95.670	10.038	19.362	0	1.450	70.238	124.482
21	1.980	2.071	2.071	0	1.582	800	8.800	59.400	155.070	9.492	28.854	0	1.450	69.692	194.174
22	1.129	2.454	2.454	0	257	800	9.600	33.870	188.940	1.542	30.396	0	1.450	36.212	230.386
23	0	350	257	93	0	0	9.600	0	188.940	0	30.396	4.650	6.100	4.650	235.036
24	0	0	0	0	0	0	9.600	0	188.940	0	30.396	0	6.100	0	235.036

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı	Yusuf Ali DANIŞ	
EĞİTİM DURUMU		
Mezun Olduğu Lise	Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi İstanbul, 2008	
Lisans Diploması	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü İzmir, 2013	
Yüksek Lisans Diploması	Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Ana Bilim Dalı Antalya, 2015	
Yüksek Lisans Tez Konusu	GSM Operatörü Tercihinde Etkili Olan Faktörlerin Gizli Markov Modelleri ile Analizi	
Yabancı Dil	İngilizce	
BİLİMSEL FAALİYETLER		
Makale - Danış, Y. A. (2022). “OECD Ülkelerinin TOPSIS, VIKOR ve GRA Yöntemleri Kullanılarak Refah Göstergelerine Göre Sıralanması ve Bütünleşik Bir Çözüm Önerisi”. <i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi</i>, 17(2): 433 – 454.		
Katıldığı Bilimsel Kongre/Sempozyum ve Bilimsel Toplantılar - 19. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu (EYİ19), Antalya, Ekim 2018 - 17. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu (EYİ17), Sivas, Haziran 2016 - International Multidisciplinary Conference (IMUCO), Antalya, Nisan 2016 - International Congress on Economics (EconWorld), Barcelona, Şubat 2016 - 16. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu (EYİ16), Edirne, Mayıs 2015		
Katıldığı Burs/Staj Programı - Erasmus+ Learning and Traineeship Program, RWTH Aachen University Department of Operations Research and Management, Aachen, 1-25 Temmuz 2016 (Danışman: Prof. Dr. Marco Lübbecke)		
İŞ DENEYİMİ		
Görev Unvanı	Görev Yılı	Görev Yeri
Araştırma Görevlisi	2020-2022	Sakarya Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Ekonometri Bölümü, Sakarya
Süreç Yönetimi ve Raporlama Uzmanı	2020	DOH Silikon Kauçuk San. Tic. A.Ş., Bursa
Uluslararası Satış Sorumlusu	2018-2020	Minik O Pazarlama Dış. Tic. A.Ş., İstanbul
Araştırma Görevlisi	2013-2017	Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Ana Bilim Dalı, Antalya