TALEP TAHMİNİ VE ENVANTER YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME: BİR ECZA DEPOSUNA UYGULANMASI

Melis Erman

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Eylül 2018

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Melis ERMAN'ın "Talep Tahmini Ve Envanter Yönetiminde Matematiksel Modelleme: Bir Ecza Deposuna Uygulanması" başlıklı tezi 28.09.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans/Doktora tezi **oy birliğiyle / oy çokluğuyla** olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı. Adı ve soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç TÜROĞULLARI	.....
Üye	: Prof. Dr. Çiğdem ALABAŞ USLU	.....
Üye	: Doç. Dr. Sinan APAK	.....

Prof. Dr. İlter BÜYÜKDIĞAN
Enstitü Müdürü

	ŞEKİL ONAY SAYFASI	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	
		Revizyon No	
		Sayfa	1/2

Revizyon Takip Tablosu

REVİZYON NO	TARİH	AÇIKLAMA
00	20.12.2017	İlk yayın.

ŞEKİL ONAY SAYFASI

15/10/2018

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Aşağıda bilgileri bulunan lisansüstü öğrencinin tezi şekil yönünden tarafımca incelenmiş ve Enstitüye teslim edilmesi uygun bulunmuştur.

Dr. Öğr. Üyesi Anabilim Dalı Başkanı
Ayşe Cilacı Tanbuş Adı-Soyadı
İmza

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI SOYADI	MELİS ERMAN
ÖĞRENCİ NUMARASI	16 14 03 108
ANABİLİM DALI	ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAMI	(X) YÜKSEK LİSANS ( ) DOKTORA ( ) SANATTA YETERLİK
DANIŞMANI	DR. ÖĞR. ÜYESİ YAVUZ BOĞAÇ TÜRKOĞULLARI
TEZ BAŞLIĞI	TALEP TAHMİNİ VE ENVANTER YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME: BİR ECZA DEPOSUNA UYGULANMASI
SAVUNMA TARİHİ	28/09/2018
e-posta	meliserman@msn.com

İç Kapak	☑ Var ☐ Yok
Jüri Onay Sayfası	☑ Var ☐ Yok

Hazırlayan İlgili Birim	Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ	Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT

(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

	ŞEKİL ONAY SAYFASI	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	
		Revizyon No	
		Sayfa	2/2

Etik İlke ve Kurallara Uyum Beyanı	☑ Var ☐ Yok
İntihal Raporu	☑ Var ☐ Yok
Teşekkür Sayfası	☑ Var ☐ Yok
Öz (Başlık-Öz-Anahtar Sözcükler)	☑ Var ☐ Yok
Abstract (Title-Abstract-Key Words)	☑ Var ☐ Yok
İçindekiler	☑ Var ☐ Yok
Çizelgeler Listesi	☐ Var ☑ Yok
Şekiller Listesi (varsa)	☐ Şekil yok ☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Kısaltmalar Listesi	☑ Var ☐ Yok
Tablolar Listesi (varsa)	☐ Tablo yok ☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Ekler Listesi (varsa)	☐ Ek yok ☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Özgeçmiş	☑ Var ☐ Yok
Sayfa Genişliği	☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Yazı Tipi	☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Referans Kullanımı	☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Kaynakça Yazımı	☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Ekler (varsa)	☐ Ek yok ☑ Uygundur ☐ Uygun Değildir

Hazırlayan İlgili Birim	Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ	Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT

(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu tezin bana ait özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmanın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

15/10/2018



Melis Erman

iv

Talep Tahmini ve Envanter Yönetiminde Yeni Bir Matematik Model

ORIGINALITY REPORT

7%	6%	5%	6%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.ufpe.br Internet Source	1%
2	Submitted to Kirikkale University Student Paper	1%
3	Submitted to Middle East Technical University Student Paper	<1%
4	sbe.maltepe.edu.tr Internet Source	<1%
5	www.mai.liu.se Internet Source	<1%
6	Submitted to Istanbul Aydin University Student Paper	<1%
7	Miguel A. Sainz, Joaquim Armengol, Remei Calm, Pau Herrero, Lambert Jorba, Josep Vehi. "Modal Interval Analysis", Springer Nature, 2014 Publication	<1%

Submitted to Cardean Learning Group

Uygundur.
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Bozkaplan
Türkoğullari

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç TÜRKOĞULLARI'NA sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Melis Erman

Ağustos 2018

ÖZ

TALEP TAHMİNİ VE ENVANTER YÖNETİMİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME: BİR ECZA DEPOSUNA UYGULANMASI

Melis Erman
Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları
Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018

Talep tahmini ve bununla ilişkili olarak envanter yönetimi sanayideki fabrikalardan, üretim veya hizmet sektöründeki küçüklü büyüklü kuruluşlara kadar neredeyse bütün işletmelerde önem taşıyan bir konudur. Envanterini iyi yönetemeyen ve bunun sonucunda envanter maliyetini kontrol edemeyen işletmeler önemli zararlara uğrayabilmektedirler.

Bu tezde öncelikle talep tahmini ile ilgili var olan yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Hareketli ortalama yöntemi, yakın geçmiş verisine regresyon yapılması şeklinde ilerletilmektedir. Holt yönteminin değişken sayısı arttırılmaktadır. Bu talep tahmini yöntemleri bir KOBİ'nin cirosunun ve ürünlerine olan talebin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır.

Envanter yönetimi ile ilgili olarak bu tezde yöneylem araştırması teknikleri kullanılmakta olup yeni bir matematiksel model ve bu modelin çözümünü sağlayacak sezgisel yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler bir KOBİ'de uygulanmaktadır. Yöntemlerin amacı sipariş ve stok tutma maliyetlerinin toplamı olarak ifade edilen envanter maliyetini optimum sipariş zaman ve sipariş miktarlarını bularak minimize etmektir. Sanayideki diğer kuruluşların da yeni matematik modeli çözüp kullanabilmesi için "cplex" çözücüsünde yazılmış programlar tezin ekinde verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: 1.envanter yönetimi; 2. talep tahmini; 3. Matematiksel model 4. sezgisel yöntem 5. yöneylem araştırması

ABSTRACT

DEMAND FORECASTING AND MATHEMATICAL MODELLING IN INVENTORY MANAGEMENT: IMPLEMENTATION TO A MEDICATION WAREHOUSE

Melis Erman
Master Thesis
Industrial Engineering Department
Thesis Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları
Maltepe University Graduate School of Science and Engineering 2018

Demand forecasting and in relation with this the inventory management are topics that are important for the factories in the industry and for the small or big institutions in the production or service sector. The firms that cannot well manage their inventory and as a consequense that cannot control their inventory cost are subjected to important losses.

In this thesis first the methods that exist in the topic of demand forecasting are improved. The moving average method is improved in the form of a regression to near or close past. The number of variables of the Holt method is increased. These demand forecasting methods are used in forecasting the gross sales and the demand for the products of a SME.

In this thesis, in the topic of inventory management, operations research methods are employed. Precisely, a new mathematical model and heuristic methods that can solve approximately that new model are proposed. These methods are implemented in a SME. The aim of the methods is to minimize the inventory cost which is expressed as the sum of the order, production and holding costs by finding the optimum order or production time and quantities. In an appendix of the thesis, “cplex” codes are given so that the other institutions in the industry can solve and use the new mathematical model.

Keywords: 1.inventory management; 2. demand forecasting; 3. mathematical model 4. heuristic method 5. operations research

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI i
ŞEKİL ŞARTI ONAY SAYFASI ii
İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iv
İNTİHAL RAPORU v
TEŞEKKÜR vi
ÖZ vii
ABSTRACT viii
İÇİNDEKİLER ix
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xiii
KISALTMALAR xv
ÖZGEÇMİŞ xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
Problem 1
Amaç 2
Önem 2
Varsayımlar 3
Sınırlıklar 3
Tanımlar 3
İlgili Literatür 3
BÖLÜM 2. YÖNTEM 10
Talep Tahmini 10
Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltmeler, Regresyon ve Holt Yöntemleri 10
Var Olan Yöntemlerden Hareketle Önerilen İki Yeni Yöntem 11
Yöntemlerin bir KOBİ'de Uygulanması ve Performanslarının Karşılaştırılması 12
KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tahmin Edilmesi 16
Envanter Yönetimi 18
Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) Modeli 18
Envanter Yönetiminin Ulaştırma Modeli Olarak Formüle Edilmesi 19
Dinamik Programlama (Wagner-Whitin) Yöntemi ile Envanter Yönetimi 21
Tezde Önerilen Yeni Matematik Model 23
Matematik Model İçin Dinamik Programlama Temelli Bir Sezgisel Yöntem 27
Matematik Model İçin Ürün Başına Ortalama Maliyeti Temel Alan Yeni Bir Sezgisel Yöntem 33

Mal Fazlası Durumunun Yeni Matematik Modele Eklenmesi 39
Önerilen Yöntemlerin Büyük Veri Durumunda Uygulanması 41
BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR 43
Bulgular 43
Yorumlar 44
BÖLÜM 4. SONUÇ 46
Özet 46
Yargı 47
Öneriler 47
EK A. REGRESYON ANALİZLERİ 49
EK B. CPLEX ÇÖZÜCÜSÜ GİRDİ, MODEL VE ÇIKTI DOSYALARI 53
EK C. TALEP TAHMİNİ HESAPLAMALARININ İŞLEM AYRINTILARI 62
KAYNAKÇA 69

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bir KOBİ'nin Aylık Cirosu ve Yöntemlerin Verdiği Tahminler 12
Tablo 2.2. Tahmin Yöntemlerinin Yaptığı Hatalar ve Toplam Hatalar..... 13
Tablo 2.3. Holt Yönteminin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması 14
Tablo 2.4. Holt Yönteminin Bu Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması 15
Tablo 2.5. Holt Yönteminin Bu Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması İçin "Excel" in Doğrusal Olmayan Çözücüsü Yardımı ile Bulunan $\alpha t, \beta t$ Değerleri 15
Tablo 2.6. Önem Arz Eden Ürün İçin İlk Altı Aydaki Talep 16
Tablo 2.7. KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilmiş Holt Yöntemi ile Tahmin Edilmesi..... 17
Tablo 2.8. Toplam Hatayı En Az Yapacak Şekilde Optimize Edilen $\alpha t, \beta t$ Değerleri.. 17
Tablo 2.9. İyileştirilmiş Holt ve Tezde Önerilen Regresyon Yöntemlerinin Verdiği Talep Tahminleri..... 18
Tablo 2.10. Aylık Birim Sipariş Maliyetleri..... 19
Tablo 2.11. Eşdeğer Ulaştırma Problemi..... 19
Tablo 2.12. KOBİ'nin Envanter Planlamasında "cplex" in Verdiği Çözüm 21
Tablo 2.13. KOBİ'de Aylık Talep ve Aylık Birim Stok Tutma Maliyeti 21
Tablo 2.14. Herhangi Bir Ayda Verilen Siparişin Herhangibir Aydaki Talebi Karşılayarak Envanterden Çıkarılmasının Birim Başına Maliyeti 21
Tablo 2.15. KOBİ'nin Bir Ürün İçin Envanter Yönetimi Örneğinde Wagner Whitin Yönteminin Verdiği Çözüm..... 22
Tablo 2.16. Matematik Modelin Parametreleri..... 23
Tablo 2.17. Matematik Modelin Karar Değişkenleri..... 23
Tablo 2.18. KOBİ'deki Envanter Yönetimi Probleminin Parametreleri 26
Tablo 2.19. Beş TL lik Sabit Sipariş Maliyeti Olmadan Aylık Sipariş Miktarları 26
Tablo 2.20. Beş TL lik Sabit Sipariş Maliyeti Olunca Aylık Sipariş Miktarları 27
Tablo 2.21 Dinamik Programlama Yönteminin Verdiği Sonuç 28
Tablo 2.22. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama Birinci Kısım..... 36
Tablo 2.23. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama İkinci Kısım 37
Tablo 2.24. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama Üçüncü Kısım 38

Tablo 2.25. Büyük Veri Örneği 41
Tablo 2.26. Büyük Veri Örneğinin Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli ile Çözülmesi 42
Tablo A.1. "Excel" Programının Son Üç Aylık Parça İçin Verdiği Regresyon Sonucu 49
Tablo A.2. Holt Yöntemi Uygulanırken İlk Seviye ve Eğilimin Belirlenmesinde Kullanılan ve "Excel" Yardımı ile Yapılan Regresyon Uygulaması 50
Tablo A.3. Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilen Holt Yöntemi Uygulanırken İlk Seviye ve Eğilimin Belirlenmesinde Kullanılan ve "Excel" Yardımı ile Yapılan Regresyon Uygulaması 51
Tablo A.4. Tezde Önerilen Şekilde Son Üç Aylık Veriye Uygulanan Regresyon 52
Tablo C.1. Hareketli Ortalama ve Üstel Düzeltmeler Yöntemlerinin Tahmin Yapılırken Hesaplama Ayrıntıları 62
Tablo C.2. Holt Yönteminin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanmasının İşlem Ayrıntıları 63
Tablo C.3. Holt Yönteminin Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanmasının İşlem Ayrıntıları 65
Tablo C.4. KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilmiş Holt Yöntemi ile Tahmin Edilmesi Tablosunun İşlem Ayrıntıları 67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. KOBİ'nin Ciro Tahmini Yapılırken Yöntemlerinin Yaptıkları Hatalar 16
Şekil 2.2. Ekonomik Sipariş Miktarı Modelinde Envanterin Zaman ile Değişimi 18
Şekil 2.3. Yeni Matematik Modelde Bir Örnek Durum İçin Sipariş Zamanları ve Envanter Miktarları 24
Şekil 2.4. X1 ile İkinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 29
Şekil 2.5. X1 ile İkinci ve Üçüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 29
Şekil 2.6. X2 ile Üçüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 30
Şekil 2.7. X2 ile Üçüncü ve Dördüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 30
Şekil 2.8. X3 ile Dördüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 31
Şekil 2.9. X3 ile Dördüncü ve Beşinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 31
Şekil 2.10. X4 ile Beşinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 32
Şekil 2.11. X4 ile Beşinci ve Altıncı Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 32
Şekil 2.12. X5 ile Altıncı Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet 33
Şekil 2.13. Sezgisel Yöntemin Verdiği Çözüm 33
Şekil B.1. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan "cplex" Çözücüsü Modeli 53
Şekil B.2. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan "cplex" Çözücüsü Modelin Girdi Dosyası 53
Şekil B.3. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan "cplex" Çözücüsü Modelinin Çıktı Dosyası 54
Şekil B.4. Önerilen Yeni Model KOBİ'deki Problem İçin Çözüldüğünde Elde Edilen Çıktı Dosyası 54

Şekil B.5. Önerilen Yeni Model, KOBİ'deki Problem İçin, Beş TL lik Sipariş Başına Sabit Ücret ile Birlikte Çözüldüğünde Elde Edilen Çıktı Dosyası 55
Şekil B.6. Yeni Matematik Modelin "cplex" Çözücüsünde Yazılması 56
Şekil B.7. "Cplex" Çözücüsünde Yazılan Modelin Girdi Dosyası..... 57
Şekil B.8. Mal Fazlası İndirimini de İçeren Matematik Modelin "cplex" te Yazılması. 58
Şekil B.9. Mal Fazlası İndirimini de İçeren Matematik Modelin Çıktı Dosyası 59
Şekil B.10. "Cplex" de Yazılan Dörde Bir Mal Fazlası Durumu İçin Model 60
Şekil B.11. "Cplex" in Dörde Bir Mal Fazlası Durumu İçin Verdiği Çözüm 61
Şekil C.1. KOBİ'nin Ciro Tahmini Holt Yöntemi ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği 64
Şekil C.2. KOBİ'nin Ciro Tahmini Holt Yönteminin Geliştirilmiş Hali ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği 66
Şekil C.3. KOBİ'nin Talep Tahmini Holt Yönteminin Geliştirilmiş Hali ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği 68

KISALTMALAR

KOBİ : küçük ve orta büyüklükteki işletme

SME : small or medium sized enterprise

X_t : t de gelen sipariş miktarı

Y_t : t de sipariş varsa 1 yoksa 0 değerini alan değişken

I_t^- : t den çok az bir zaman önceki envanter miktarı

I_t^+ : t den çok az bir zaman sonraki envanter miktarı

T : periyot sayısı

KD : kukla değişken

c_t : t de gelen siparişin değişken maliyeti

s_t : t de gelen siparişin sabit maliyeti

h_t : t periyodunda elde bulundurma maliyeti

D_t : t periyodunda toplam talep

A_t : t de gelen sipariş miktarının alt sınırı

$Ü_t$: t de gelen sipariş miktarının üst sınırı

E_t : t periyodu için emniyet stoğu

kh : ürünün kapladığı hacim

MH : mevcut hacim

ÖZGEÇMİŞ

Melis Erman

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Derece	*Yıl*	*Üniversite, Enstitü, Anabilim/Anasanat Dalı*
Y.Ls.	2018	Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Ls.	2016	Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü
Lise	2011	Yahya Kaptan Anadolu Lisesi

İş/İstihdam

Yıl	*Görev*
2018 -	Yönetici Adayı Akbank

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

Yıl	*Kurum*

Alınan Burs ve Ödüller

Yıl	*Burs/Ödül*

Yayınlar ve Diğer Bilimsel/Sanatsal Faaliyetler

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : Kartal-1993 Cinsiyet: K...
Yabancı diller : İngilizce..
GSM / e-posta : 05383485262 / meliserman@msn.com.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu giriş bölümünde önce tezde ele alınan problem tarif edilmektedir. Sonrasında tezin amacı, önemi, varsayımları ve sınırlılıkları anlatılmaktadır. Müteakiben, bazı tanımlar verilmekte ve ilgili literatür ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

Problem

Bu tezde envanter yönetimi problemi ele alınmaktadır. Envanter yönetimi ile ilgili bazı temel kaynaklar (Silver & Peterson, 1985), (Tersine, 1994), (Hax & Candea, 1984) olarak sıralanabilir. Sanayideki şirketler, fabrikalar, KOBİ'ler talebi zamanında karşılayabilmek için stok tutmaktadırlar. Stok hangi miktarda olmalıdır? Tez bu kararın verilmesi problemi ile ilgilidir. Bunun için önce talebin tahmin edilmesi problemi ele alınmaktadır. Bu zor bir problemdir; çünkü örnek olarak üç ay önceden talep ile ilgili yapılan tahmin veya değerlendirme hayatın genel akışı içinde olabilecek nedenlerle birdenbire değişebilmektedir. Ancak, literatürde (Taha, 2011), (Hillier & Lieberman, 2010) bazı yöntemler bulunmaktadır. Tezde bu yöntemler incelenmekte ve geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Envanter yönetiminde temel problem siparişin ne zaman ve ne miktarda verileceğine karar vermektir. Çok sıklıkla sipariş vermek sipariş vermenin yol açtığı maliyeti arttırmaktadır. Örneğin yurt dışından veya uzak bir yerden gelen bir ürün için az stok tutma amacıyla çok sayıda sipariş vermek bu ürün belki de bir gemi de yer tutacağı için maliyeti arttırmaktadır. Tezde bir KOBİ'nin envanter yönetimi problemi ele alınmaktadır. KOBİ'nin siparişini verdiği ürünler ticari araçlarla bazen de motosikletlerle ulaştırılmaktadır. Çok sık sipariş vermek, çok sık araç çıkarmak anlamına gelmektedir. Bu da maliyeti arttırmaktadır.

Envanter yönetiminde bir diğer yaklaşım az sayıda sipariş vermektir. Ancak bu yaklaşım veya stratejinin de eksik yönleri vardır. Az sayıda sipariş veren bir işletme, sipariş sırasında yüksek miktarda ürün almak durumundadır. Böylelikle envanterde bulunan ürün miktarı veya stok artmaktadır. Bu durum da işletmenin stok tutma maliyetini arttırmaktadır. Stok tutma maliyetinin bileşenleri şunlardır: kira, ürünlerin kapladığı yer, eskime, kaybolma, yangın. Biraz daha açıklamak gerekirse, örnek olarak envanterde bir mal eskimekte olup müşteri malın son kullanma tarihi geçmemiş olsa bile fabrikadan çıkış tarihi yakın olanını istemektedir. Bir başka örnek durumda araba

ticaretinin yapıldığı bir işletmede az sayıda sipariş verip çok stok tutmak işletmeye zarar verici derecede yüksek maliyetlere neden olabilmektedir.

Anlaşıldığı üzere işletme optimum zaman ve miktarlarda sipariş vermelidir. Bu tezde optimizasyon teknikleri (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010), (Taha, 2011), (Williams, 1993), (Wolsey & Nemhauser, 1999) kullanılarak bu amaca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Önerilen talep tahmini ve envanter yönetimi teknikleri Bir KOBİ'de uygulanmaktadır.

Amaç

Bu tezde temel amaç sanayideki her türlü şirket, kuruluş, fabrika ve KOBİ'lere doğru talep tahmini ve optimum envanter yönetimi yapmalarını sağlayacak bir metodoloji önermek ve geliştirmektir. Bu tezi inceleyen bir sanayi mensubu müessesinin doğru miktarda stok tutmasına katkıda bulunursa amaca ulaşılmış olunacaktır. Önerilen yöntemler bir KOBİ de uygulanmıştır. Bu tezdeki optimizasyon tekniklerinin uygulanmasını sağlayabilecek "cplex" çözücüsünde yazılmış programlar tezin ekinde verilmektedir. Buradaki amaç başka kuruluşlarında yazılmış bu programları kullanabilmesidir. Benzer bir amaçla talep tahmininde kullanılabilecek "excel" regresyon analiz örnekleri tezin ekinde verilmiştir. Tezin bir diğer amacı envanter yönetimi ile ilgili bazı genel sonuçlar ve yargılar ortaya koymaktır. İleride anlatılacağı gibi bu amaca da ulaşılmıştır.

Önem

Bu tez, yukarıda tarif edilen, sanayideki çok temel bir problemi ele almakta ve çözüm önerileri getirmektedir. Türkçe yazılan bu tez talep tahmini ve envanter yönetimi ile ilgili varolan yöntemlerin önemli bir kısmını içermekte ve bu yöntemlerin bir kısmını geliştirmektedir. Bu itibarla özellikle Türk Sanayisindeki kuruluşlar için önem arz etmektedir. Yöntemler bir KOBİ'de uygulanmakta ve tezin ekinde bilgisayar programları verilmektedir. Bu tür KOBİ'den Türkiye genelinde 20,000 tane bulunmaktadır ve bu tez en azından bu KOBİ'lere katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Tezde ele alınan problem genel bir problemdir ve önerilen yöntemler üretim veya satış yapılan Türk veya Dünya Sanayisindeki her kuruluşu ilgilendirmektedir. Bu tez firmaların satın alma veya üretim planlama departmanlarında çalışan endüstri mühendislerine işlerini etkin yapma anlamında da katkılar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu açıdan da önem arz etmektedir.

Varsayımlar

Tezde bulunulan temel varsayımlar envanter yönetimi konusunda önerilen matematik modelde elde bulundurma ve sipariş maliyetinin ürün sayısıyla lineer bir ilişki göstermekte olması, envanter maliyetinin bileşenlerinin matematik modelde ele alınan sipariş ve elde bulundurma maliyetinden oluşmasıdır. Ayrıca talep tahmini yapılırken geçmişte gözlemlenen talebin gelecekte gerçekleşecek taleple ilişkili olduğu varsayımında bulunulmakta ve bu ilişki incelenmektedir.

Sınırlıklar

Bu tezde yapılması önceden planlanan bütün araştırma yapılmış ve raporlanmıştır. Bu açıdan herhangibir sınırlılık yoktur. Sonuçlar bir KOBİ'nin yöneticisi ile paylaşılmıştır ve ele alınan konular ile ilgili ihtiyaç duyulan ve aydınlatılmayan bir nokta olmadığı sonucuna varılmıştır. Örneğin, mal fazlası indirimi durumu özellikle bu türden KOBİ'ler için önemli olduğundan tezde ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Ele alınan konular var olan yönleri ile incelenmiş ve bu tezde raporlanmıştır.

Tanımlar

Bu tezde çözücü kavramı da önemli bir yer tutmaktadır. "Excel" ve "cplex" çözücüleri kullanılmaktadır. Envanter yönetimi bölümünde verilen örnekte gösterildiği gibi endüstri mühendisleri bazı problemlerin matematik modellerini amaç fonksiyonu ve kısıtlar halinde oluşturabilmektedirler. Lineer ve tamsayılı programlama teknikleri kullanılarak bu problemlerin bir kısmı çözülebilmektedir. Simpleks yöntemi ve dal sınır yöntemi ismi verilen yöntemler bu modellerin çözümünün temelini oluşturmaktadır. Sözü edilen yöntemler büyük problemlerde bilgisayarda yazılmış çözücü ismi verilen programlar kullanılarak uygulanmaktadırlar. Endüstri mühendisliğinde yöneylem araştırması alanında önemli bir yer tutan bu konular için (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010), (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2006), (Bertsekas, 1999), (Hillier & Lieberman, 2010), (Taha, 2011) kaynakları önemli kaynaklardan bazılarıdır.

İlgili Literatür

Bu tezde yöneylem araştırması teknikleri uygulanmaktadır. Doğrusal programlama ile ilgili bazı önemli kaynaklar (Taha, 2011) ve (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010) dur. Doğrusal olmayan programlama ile tezde faydalanılmış kaynaklar (Bertsekas, 1999) ve (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2006) dır. Tamsayılı programlama ile ilgili faydalanılan kaynak (Wolsey & Nemhauser, 1999) dur. Tezde çeşitli matematik modeller

yapılmıştır. Matematik modeller oluşturmakla ilgili önemli bir kaynak (Williams, 1993) dür.

Envanter yönetimi ile ilgili yapılan öncü çalışmaları derleyen bazı kitaplardan faydalanılmıştır. (Hax & Candea, 1984) de talep tahmini, çizelgeleme, genel üretim planlama konularında bilgiler verilmektedir. (Silver & Peterson, 1985) de kapasite yönelimli işlem sanayilerinde üretim planlama ve çizelgeleme, talep tahmini sistemleri, zamanla değişen talep durumunda karar verme konuları üzerinde durulmaktadır. (Tersine, 1994) de kısıtlar teorisi, envanterin değerlendirilmesi ve ölçümü, simülasyon özellikle anlatılmaktadır.

Envanter yönetimi ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalardan (Torkul & diğerleri., 2016) da emniyet stoğu yaklaşımına bir yenilik getirilmektedir. Önceki dönemlerin verileri kullanılarak ve anlık koşullar değerlendirilerek, bir istatistiksel analiz ile stoğun ne zaman biteceği tahmin edilebilir ve temin süresi dikkate alınarak emniyet stoğu tutmadan envanter yönetimi yapılabilir yaklaşımı ele alınmaktadır. (Alvarado & diğerleri., 2017) de envanter yönetiminin çevre korunmasına etkisi üzerinde durmuştur: Stok miktarını optimum seviyede tutmak, aşırı stoklar tutmamak, örneğin kimyasal maddeler içeren ürünlerde çevre sağlığı için önemlidir ve envanter miktarı belirlenirken çevre sağlığına olan bu etki düşünülmelidir. (Dai, Aqlan & Gao, 2017) da envanter yönetimi problemi çok kademeli boyutu ile ele alınmaktadır. Yalnızca tedarikçiyi veya yalnızca perakendeciyi ele alan bir matematik modelleme yaklaşımı yerine, her ikisinin de örneğin toplam envanter maliyetini minimize etme problemi üzerinde öneriler getirilmiştir. (Dabiri, Tarokh & Alinaghian, 2017) da envanterin taşınması problemi üzerinde durulmuştur. Ulaştırma problemi olarak adlandırılan envanter taşıma probleminde, ulaştırma maliyeti sıfırdan geçen doğrusal bir fonksiyondur. Çalışmada maliyetin başka bir fonksiyon olabileceği, örneğin adım fonksiyonu olabileceği, durum ele alınmakta ve bir çözüm yöntemi geliştirilmektedir. (Rahdar, Wang & Hu, 2018) de envanter yönetimi ile ilgili yeni bir matematik model ve çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Yenilik, talebin ve temin süresinin ikisinin birden belirsiz olduğu durumun yaklaşım tarafından ele alınabilmesidir.

Envanter yönetimi ile ilgili yapılmış diğer çalışmalardan (Fiestras-Janeiro & diğerleri., 2011) de envanter yönetimine oyun kuramı penceresinden bakılmaktadır. Bu çalışmada bir merkezden kontrol edilen envanter durumu için oyun kuramı uygulamaları

gözden geçirilmektedir. (Moradi & Mirhassani, 2015) de petrol ürünleri için envanter yönetimi problemi ele alınmaktadır. Bir rafineriyi dağıtım merkezine bağlayan boru hattında günlük talebe göre envanteri optimize eden bir karma tamsayılı model önerilmektedir. Gerçek veri ile yapılan bilgisayısal deneyler önerilen yöntemin kısa zamanda iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. (Balçık, Bozkır & Kundakçıoğlu, 2016) de insani yardım tedarik zincirlerinde nerede, ne kadar ve ne zaman stok yapılmalı sorularına yanıt veren çalışmalara yoğunlaşılmakta ve bu çalışmalar analiz edilip gözden geçirilmektedir. Doğa felaketi öncesi ve sonrası envanter yönetimi problemi makaleleri de kategorize edilmektedir. Var olan literatürdeki eksik yönler belirlenmekte ve gelecekte yapılabilecek çalışmalarla ilgili bazı öneriler getirilmektedir. (Chandra, Christiansen & Fagerholt, 2016) da deniz yolu ile otomobil taşımacılığı (ro-ro) ele alınmaktadır. Limanlardaki envanterin yönetimi ile ilgili karma tamsayılı bir model önerilmektedir. Zaman temelli bir sezgisel yöntem de sunulmaktadır. Gerçek veri kullanılarak bilgi sayısal sonuçlar gösterilmektedir. (Ancarani, Mauro & D'urso, 2016) de çalışanların kendilerine gereğinden fazla güvenmelerinin envanter yönetiminde maliyeti arttırması üzerinde durulmaktadır. Aşırı güvenin bir iyimserlik yarattığı ve örneğin satışların yüksek olacağı beklentisine göre envanterin şekillendirilmesinin maliyetleri yükselttiği ileri sürülmektedir. Satın alma profesyonellerinin başarı beklentilerini doğru değerlendirme yönünde bir eğitimden geçirilmesi gerektiği anlatılmaktadır. (Li & Fu, 2017) da müşterilerin birinci tercih ürünlerini tükenmeleri nedeniyle bulamadıkları durumlarda diğer muadil ürünlere yönelmeleri durumu incelenmektedir. Bu yönelişinde dikkate alınmasıyla envanter miktarları nasıl belilenebilir, bu konuda bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Optimum çözüme yakınlığı bilgisayısal deneylerle test edilmiş bir sezgisel yöntem de önerilmektedir. (Ye, 2014) de (Li & Fu, 2017) ile benzer bir problem incelenmekte, farklı olarak markalar arasında ve aynı markanın farklı ürünleri arasında geçişler incelenmektedir. Ayrıca, markaların tümünün aynı karar verici tarafından yönetildiği veya markaların her birinin farklı karar vericiler tarafından yönetildiği durumlar da göz önünde bulundurulmaktadır. (Poppe & diğerleri., 2017) te önleyici bakımın envantere etkisi üzerinde durulmaktadır. Önleyici bakımın ekipmanın tüm ömrünü kullanmadığı için yedek parçaya olan talebi arttırdığı görüşü ileri sürülmektedir. (Alawneh & Zhang, 2018) te depolarda envanter yönetimi problemi ele alınmaktadır. Depolarda alanın kullanımını ve talepteki belirsizliği ele alan bir çok ürünlü matematiksel

model önerilmektedir. Çeşitli belirsiz talep durumları için çözüm algoritmaları önerilmektedir. (Qiu, Qiao & Pardalos, 2018) da dayanıklı olmayan ürünler için bir envanter modeli önerilmektedir. Bir dal ve kes algoritması önerilmektedir. Ortaya konulan modeli güçlendirmek için üç geçerli eşitsizlik ailesi kullanılmaktadır. Örnek durumlar üzerinden modelin geçerliliği incelenmektedir. (Siddiqui, Verma & Verter, 2018) de petrol ürünlerinde envanterin taşınması problemi üzerinde durulmaktadır. Bir boru hattı mı, yoksa bir deniz taşımacılığı mı olmalıdır, bu konuda karar veren bir matematik model yapılmaktadır. Modelin verdiği sonuçlara göre maliyetin tek faktör olarak değerlendirildiği durumlarda boru hattı öne çıkmakta, çevresel etkilerin düşünüldüğü durumlarda deniz taşımacılığı daha doğru bir tercih olmaktadır. Bir sezgisel çözüm yöntemi de önerilmektedir.

Talep tahmini ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalardan (Piltan, Shiri & Ghaderi, 2012) de metal sektöründe talep tahmininde doğrusal olmayan modeller üzerinde durulmaktadır. Yenilik, modelin parametreleri bulunurken genetik algoritma tekniğinin kullanılmasıdır. (Ghanbari & diğerleri., 2013) bulanık mantık ve genetik algoritma tekniğini birleştirerek enerji sektöründe bir talep tahmini modeli kurmaktadır. (Jha & diğerleri., 2017) de teknoloji üreticisi bir firma ile üretici firma arasında talep tahmini bilgisini paylaşmanın üretici firmanın sağlayacağı fayda üzerine etkileri ele alınmıştır. Bir stackelberg oyun modeli önerilmiştir. Talep tahmini bilgisine sahip teknoloji üreticisi firma toptan fiyatı belirlerken bu bilgiyi üretici firmanın bir miktar aleyhine kullanacaktır. (Kim, Dekker & Heij, 2017) de firmaların ürünlerine ait yedek parçalardan ne miktarda bulundurmaları gerektiği üzerinde durulmaktadır. Genellikle literatürde talep tahmin yöntemleri son ürünün satışı üzerinde uygulanmaktadır. Bu makalede talep tahmini yöntemleri bir firmada yedek parça ihtiyacını belirlemekte kullanılmıştır. (Bergman & diğerleri., 2017) de elde az veri bulunması durumunda Bayes kuralı kullanarak talep tahmini yapma tekniği üzerinde durulmuştur. Yedek parçalar için talep tahmini yapma problemi ele alınmıştır.

Talep tahmini ile ilgili yapılmış diğer çalışmalardan (Lida, 2015) de siparişin geliş zamanın (temin süresi) belirsiz olduğu durum ele alınmaktadır. Sezgisel bir yöntem önerilmektedir. (Tratar, Mojkerc & Toman, 2016) da Holt-Winters yöntemi için bazı iyileştirmeler önerilmektedir. Yeni yöntem test edilmekte ve performansı ölçülmektedir. Temin süresindeki belirsizliğin arttığı durumlarda talep tahmini yöntemlerinin

yararlarının azalacağı gösterilmektedir. (Baecke, Baets & Vanderheyden, 2017) te talep tahmininde istatistiksel yöntem ve uzman değerlendirmesi yöntemlerinin nasıl bağdaştırılması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Uzman değerlendirmesini içerebilen iki tahmin metodolojisi ele alınmakta ve karşılaştırılmaktadır. Birinci metodolojide uzman değerlendirmesi tahmin modeline kısıtlar koymaktadır. İkinci metodolojide uzman değerlendirmesi talep tahmini modelinde bir bilgi kaynağı olarak alınmaktadır. (Huber, Gossmann & Stuckenschmidt, 2017) de dayanıksız ürünlerde talep tahmini üzerinde durulmaktadır. Bu ürünlerde doğru talep tahmininin önemli olduğu gösterilmekte ve bir çok değişkenli ARİMA modeli önerilmektedir. Bir fırın zincirinin verileri kullanılmaktadır. (Lee, 2018) de otel odalarına olan talebin tahmini üzerinde durulmaktadır. Erken ve geç rezervasyonlar arasındaki korelasyonu ele alan yeni bir talep tahmini modeli önerilmekte ve bir önemli otel zinciri verileri kullanılarak model test edilmektedir. (Amara, Agbossou & Dube, 2017) de evlerin elektrik talebinin dış sıcaklıkla ilişkisi ele alınmaktadır. Adaptif koşullu yoğunluk fonksiyonu tahmini yöntemi önerilmektedir. Yöntemin elektriğe olan talebi doğru tahmin edip etmediği karşılaştırmalı bir çalışma ile ortaya konmaktadır. (Lourenço, Campos & Oliveira, 2018) da suya olan talebin tahmini üzerinde durulmaktadır. Adaptif ağırlık stratejisi isminde bir yeni yöntem önerilmektedir. Suya olan talepteki elde bulunan geçmiş veri kullanılarak yöntem test edilmektedir. (Laouafi, Mardjaoui & Haddad, 2017) da elektrik yükünü tahmin etmek için yeni bir kombine tahmin yöntemi önerilmektedir. Yöntem normal ve özel gün şartlarında iyi çalışmaktadır. Makalede yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlüğü gösterilmektedir. Çeşitli ülkelerin güç sistemlerinden gerçek veriler kullanılarak yöntem test edilmiştir. (Prak, Teunter & Syntetos, 2017) de geleneksel yöntemlerin emniyet stoğunu gerekenden 30% daha az olarak belirledikleri gösterilmektedir. Emniyet stoğunu daha doğru tahmin eden bir yöntem önerilmektedir. (Karadede, Özdemir & Aydemir, 2017) de doğal gaza olan talebi az hata ile ölçmek için doğrusal olmayan regresyon ve genetik algoritma yöntemleri birleştirilerek bir metodoloji önerilmektedir. Örnek veri olarak Türkiye'deki doğal gaz talebi ele alınmıştır. 1985-2000 yılları arasındaki doğal gaz tüketimi ile gayri safi milli hasıla, nüfus ve büyüme oranı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu ilişki 2015, 2030 yıllarındaki doğal gaz tüketim tahmini için kullanılmaktadır. (Kozlowski & diğerleri., 2018) de suya olan talebin tahmini üzerinde durulmaktadır. Bu tahminin su temini şirketleri için stratejik bir öneme sahip olduğu

belirtilmektedir. Önerilen yeni yöntem trend ve harmonik analiz temellidir. Harmoniklerin yapısal parametreleri regresyon analizi ile belirlenmektedir. (Valencia & diğerleri., 2017) de talep tahmininde uzman görüşünü esas alan üç yöntem incelenmiştir. Dört şirketten 31 uzman ile görüşülmüştür. Talep tahmininde uzman görüşünün uzun vadede yarar sağladığı sonucuna varılmıştır. (Murray, Agard & Barajas, 2018) da talep tahmininde müşteri verilerinin segmentler halinde gruplanması ile ilgili bir yöntem önerilmektedir. Segment seviyesinde tahminlerin nasıl yapılacağı ve nasıl segmentteki müşterilerin talebinin bulunacağı araştırılmaktadır. (Guo & diğerleri., 2017) de uçak yedek parçalarına olan talebin tahmini problemi üzerinde durulmaktadır. Öncelikle talebi etkileyen faktörler incelenmekte olup, sonrasında beş talep tahmini yöntemi üzerine inşa edilmiş yeni bir metodoloji önerilmektedir. (Brentan, Luvizotto & Herrera, 2017) de suya olan talebin tahmini için bir regresyon modeli önerilmektedir. Suyun kullanıcıya yeterli kalitede, yeterli hacimde ve yeterli basınçta ulaştırılabilmesi için talep tahminin önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Bu tezde öncelikle talep tahmini literatürüne katkıda bulunulmaya çalışılmaktadır. Yukarıda verilen kaynaklarda anlatılan talep tahmini yöntemlerinde bazı iyileştirmeler yapılmaktadır. Klasik hareketli ortalama yöntemi ele alınan verinin yalnızca bir ortalamasını almaktadır. Bu tezde bu veriye bir regresyon yapılarak hareketli ortalama yöntemi geliştirilmektedir. Yine, bu tezde ilgili bölümde gösterileceği gibi klasik Holt yöntemi (Holt, 1957) değişkenlerini periyotlar boyunca sabit almaktadır. Bu tezde, bu değişkenler periyotlar boyunca değişebilecek şekilde alınmakta ve optimize edilmektedir. Tezde bu iyileştirmelerin tahmin hatasını azalttığı gösterilmektedir.

Envanter yönetimi konusunda tezde yukarıdaki kaynaklarda anlatılan emniyet stoğu, stok tutma ve sipariş maliyeti kavramlarını içeren ve bunlara ek olarak mevcut hacim kısıtını ve mal fazlası iskontosunu ihtiva eden bir model önerilmektedir. Tezde bu modelin genel durumunun kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme problemine indirgeme ile NP zor olduğu gösterilmekte ve iki sezgisel yöntem geliştirilmektedir. Mal fazlası iskontosu durumunu modele katmak, modeli doğrusal olmayan hale getirmekte olup, tezde linearizasyonlar önerilmektedir. Önerilen sezgisel yöntemlerden ürün başına ortalama maliyet sezgiseli yukarıda anlatılan envanter yönetimi kaynaklarında bulunan Silver-Meal sezgiselinde bir iyileştirme içermektedir. Bir alternatifi reddederken alternatif ortalama maliyete de bakmayı bir adım olarak ihtiva etmektedir.

Tezde önerilen talep tahmini ve envanter yönetimi yöntemleri bir ecza deposu ve bu depodan ilaç alan bir eczaneden alınan veri üzerinde uygulanmakta ve test edilmektedir. Diğer kuruluşların da bu yöntemleri kullanabilmesi için tezde “cplex” ve “excel” programları, sayfaları tezin eklerinde verilmektedir.

BÖLÜM 2. YÖNTEM

Bu bölümde tezin konusu olan talep tahmini ve envanter yönetimine yer verilmiştir. Talep tahmininde önerilen yöntemler bir KOBİ'de uygulanmaktadır. Bu KOBİ Türkiye'de ilaç dağıtımında önemli payı olan bir ecza deposudur. Bu depo Türkiye'deki eczanelerin büyük bölümüne ilaç sağlamaktadır. Ecza deposu eczanelere ilaç ulaştırılmasını ticari araçlarla, acil olanları motosikletlerle yapmaktadır. Tezde veriler özellikler bu ecza deposunun ilaç sağladığı bir eczaneden alınmıştır. Eczane ilaçlarının neredeyse tamamını bu ecza deposundan almaktadır. Eczaneler siparişlerini ecza deposuna genellikle telefon ile bildirmektedirler. Ecza deposu satın alma bölümü aracılığıyla ilaç firmalarından ilaç almaktadır. Ecza deposu ilaç sağladığı eczanelerin envanter yönetimini ve talep tahminini doğru yapmasını önemsemektedir. Bunun nedeni miyadı geçen ilaç israfının önüne geçme isteğidir. Benzer şekilde tezde önerilen envanter yönetimi yöntemleri yine aynı KOBİ'de uygulanmaktadır. Aslında bu bölümün bir parçası olan "excel" programında yapılmış regresyon analizlerine ve "cplex" çözücüsünde yazılmış programlara tezin okunması ve anlaşılmasını kolaylaştırma amacıyla tezin ekinde yer verilmiştir.

Talep Tahmini

Tezin bu bölümünde talep tahminindeki var olan önemli dört yöntem ele alınacaktır. Sonrasında bu yöntemlerden hareketle bu yöntemlerin bazı eksikliklerini gideren yeni iki yöntem de önerilecektir. Var olan dört yöntem hareketli ortalama yöntemi, üstel düzeltmeler yöntemi, regresyon ve Holt yöntemidir. Bu bölümde y_t, t periyodunda rasssal değişkenin gerçekleşen değerini, y_t^*, t periyodunda rassal değişkenin tahmin edilen değerini göstermektedir. Var olan yöntemler ile ilgili faydalanılmış kaynak (Taha, 2011) dir.

Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltmeler, Regresyon ve Holt Yöntemleri

Hareketli ortalama yönteminde, bir sonraki periyotdaki talep tahmin edilirken önceki n periyodun ortalaması alınır. (2.1) deki formül kullanılmaktadır.

$$y_{t+1}^* = \frac{y_{t-n+1}+y_{t-n+2}+\cdots+y_t}{n} \quad (2.1)$$

Üstel düzeltmeler yönteminde bir sonraki periyod için tahmin bir önceki periyodun gerçekleşen ve tahmin edilen değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. (2.2) deki formül kullanılmaktadır. (2.2) de α sıfır ile bir arasında bir sayıdır.

$$y_{t+1}^* = \alpha y_t + (1-\alpha) y_t^* \quad (2.2)$$

Regresyon ile tahminde

$$y^* = a + bx \tag{2.3}$$

olarak tanımlanır. a ve b parametreleri tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını minimize edecek şekilde seçilir.

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{2.4}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - n\bar{y}\bar{x}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2} \tag{2.5}$$

(2.4) ve (2.5) de

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{2.6}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \tag{2.7}$$

dir.

Holt yöntemi (Holt, 1957) verideki eğilimi göz önüne almaktadır. Aşağıdaki formüller yardımı ile tahmin yapılmaktadır.

$$y_{t+1}^* = L_t + T_t \tag{2.8}$$

$$y_{t+n}^* = L_t + nT_t \tag{2.9}$$

$$L_{t+1} = \alpha y_{t+1} + (1-\alpha) y_{t+1}^* \tag{2.10}$$

$$T_{t+1} = \beta(L_{t+1} - L_t) + (1-\beta) T_t \tag{2.11}$$

(2.8)-(2.11) den anlaşıldığı gibi L_t t zamanındaki seviyeyi T_t t anındaki eğilimi göstermektedir. Seviyenin ve eğilimin başlangıç değeri talebin bilindiği noktalarda bir doğrusal regresyon uygulaması ile bulunabilmektedir.

Var Olan Yöntemlerden Hareketle Önerilen İki Yeni Yöntem

Özellikle hareketli ortalama yönteminde son n periyodun ortalamasının alınması yaklaşımı iyileştirilebilir. Bu tezde böyle bir ortalama almak yerine bu değerlerin bir trend oluşturabileceği düşüncesi ile son n değere bir regresyon analizi yapmak ve bu regresyon analizi ile ile bir sonraki değeri tahmin etmek yöntemi üzerinde durulmaktadır. Bu yeni yöntemin klasik regresyondan farkı tüm veri kümesini kullanarak tek bir regresyon doğrusu oluşturmak yerine veriyi hareketli ortalama yönteminde olduğu gibi parçalara bölmek ve her bir parçaya ayrı bir regresyon doğrusu eşleştirmektir.

Bu tezde önerilen bir diğer yöntem Holt yönteminin bir eksik yönünün geliştirilmesidir. (2.8)-(2.11) de anlatılan klasik Holt yönteminde α ve β parametreleri sabit kabul edilmektedir. Bu tezde α ve β yı (2.12) ve (2.13) de gösterildiği gibi zamana göre değişir hale getirip değerlerini talebin bilinen kısmı için tahmindeki sapmaların

karelerinin toplamını en az yapacak şekilde seçme yöntemi önerilmektedir. Önerilen bu iki yöntemin nasıl uygulanacağı bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.

$$L_{t+1} = \alpha_t y_{t+1} + (1 - \alpha_t) y^*_{t+1} \quad (2.12)$$

$$T_{t+1} = \beta_t (L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta_t) T_t \quad (2.13)$$

Yöntemlerin bir KOBİ'de Uygulanması ve Performanslarının Karşılaştırılması

Tezde anlatılan tahmin yöntemleri geliştirilirken KOBİ'nin 2011 yılından 2016 yılına kadar ki yıllık ciro rakamları kullanılmıştır. Bu yöntemler bu bölümde anlatıldığı gibi 2017 yılı 12 aylık ciro verileri üzerinden test edilmiştir.

Bir KOBİ'nin 2017 yılına ait 12 aylık cirosu Tablo 2.1 de verilmiştir. Tablo 2.1 aynı zamanda hareketli ortalama, üstel düzeltmeler ve önerilen regresyonu iyileştiren yeni yöntem kullanılarak yapılan tahminleri de içermektedir. Hareketli ortalamada n parametresi üç olarak alınmıştır. Önerilen regresyonu iyileştiren yeni yöntem uygulanırken de yine üçer aylık parçalar halinde regresyonlar yapılmıştır.

Tablo 2.1. Bir KOBİ'nin Aylık Cirosu ve Yöntemlerin Verdiği Tahminler

ay	ciro (bin TL)	Har. Ort.	Üstel Düz.	Regresyonu iyileştiren yeni yöntem
1	66			
2	64		66,00	
3	56		64,20	
4	52	62,00	56,82	52,00
5	50	57,33	52,48	45,33
6	48	52,67	50,25	46,67
7	44	50,00	48,22	46,00
8	40	47,33	44,42	41,33
9	45	44,00	40,44	36,00
10	50	43,00	44,54	44,00
11	55	45,00	49,45	55,00
12	58	50,00	54,45	60,00

Tablo 2.2 yöntemlerin ciro tahmin hatalarını ve en son satırında hataların karelerinin toplamı olarak yapılan toplam hatayı göstermektedir.

Tablo 2.2. Tahmin Yöntemlerinin Yaptığı Hatalar ve Toplam Hatalar

ay	Har. Ort.	Üstel Düz.	Regresyonu iyileştiren yeni yöntem
4	100,00	23,23	0,00
5	53,78	6,16	21,78
6	21,78	5,05	1,78
7	36,00	17,85	4,00
8	53,78	19,56	1,78
9	1,00	20,77	81,00
10	49,00	29,77	36,00
11	100,00	30,75	0,00
12	64,00	12,63	4,00
toplam	479,33	165,78	150,33

Önerilen yeni yöntem bu bölümde anlatıldığı gibi regresyon formüllerini (2.3)-(2.7) kullanmayı gerektirmektedir. Bu formüller "Excel" programı yardımıyla hesaplanılmıştır. Örnek olarak, bu hesaplamalardan biri, son 3 aylık parçaya karşılık gelen hesap Ek A'da Tablo A.1 de gösterilmiştir. Bu tabloda kesişim a değerine X değişkeni 1 b değerine karşılık gelmektedir.

EK C'de Tablo C.1 hareketli ortalama ve üstel düzeltmeler yöntemlerinin KOBİ nin cirosu tahmin edilirken hesaplama ayrıntılarını göstermektedir.

Tablo 2.3 literatüredeki Holt yöntemi KOBİ'nin ciro tahmini problemine uygulandığında otaya çıkan tahminleri ve tahminde yapılan toplam hatayı göstermektedir. Seviye ve eğilimin ilk değerleri cironun bilinen kısmı üzerinde bir regresyon uygulaması ile bulunmuştur. "Excel" programı yardımı ile yapılan regresyon uygulaması Ek A da Tablo A.2 de bulunmaktadır. Bu tabloda kesişim ilk seviyeyi X değişkeni ilk eğilimi vermektedir. EK C'de Tablo C.2, Tablo 2.3 deki değerlerin elde ediliş formüllerini içermektedir.

Tablo 2.3. Holt Yönteminin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması

ay	ciro (bin TL)	Seviye L_t	Eğilim T_t	Tahmin y_t^*	hata
1	66	66	2,76	57,72	68,59
2	64	64	0,61	68,76	22,68
3	56	56	-3,28	64,61	74,15
4	52	52	-3,61	52,72	0,52
5	50	50	-2,88	48,39	2,58
6	48	48	-2,48	47,12	0,77
7	44	44	-3,17	45,52	2,30
8	40	40	-3,54	40,83	0,69
9	45	45	0,32	36,46	73,00
10	50	50	2,43	45,32	21,94
11	55	55	3,59	52,43	6,59
12	58	58	3,32	58,59	0,35
				toplam	**274,17**

Sapmaların karelerinin toplamı olarak ifade edilen hatayı minimum yapan α, β değerleri "excel" in doğrusal olmayan çözücüsü yardımı ile $\alpha = 1, \beta = 0{,}45$ olarak bulunmuştur. Bu hesabı yapan "excel" çözücüsünün içeriği EK C'de Şekil C.1 de verilmiştir. Bu çözücüde hedef hücre toplam hatayı içeren hücredir. Kısıtlar α ve β karar değişkenlerinin birden az olmasını sağlamaktadırlar. Değişken hücreleri değiştirerek yazan çözücü alanında α ve β karar değişkenlerini içeren hücrelere atıf yapılmaktadır.

Holt yöntemi bu tezde önerildiği şekilde geliştirildiğinde, yani (2.12) ve (2.13) denklemleri uygulandığında Tablo 2.4 de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. "Excel" in doğrusal olmayan çözücüsü yardımı ile bulunan toplam hatayı minimum yapan α_t, β_t değerleri Tablo 2.5 de gösterilmiştir. EK C'de Tablo C.3, Tablo 2.4 de verilen değerlerin elde ediliş ayrıntılarını içermektedir. Optimum α_t, β_t değerlerini bulan "excel" çözücüsünün içeriği EK C'de Şekil C.2 de verilmiştir.

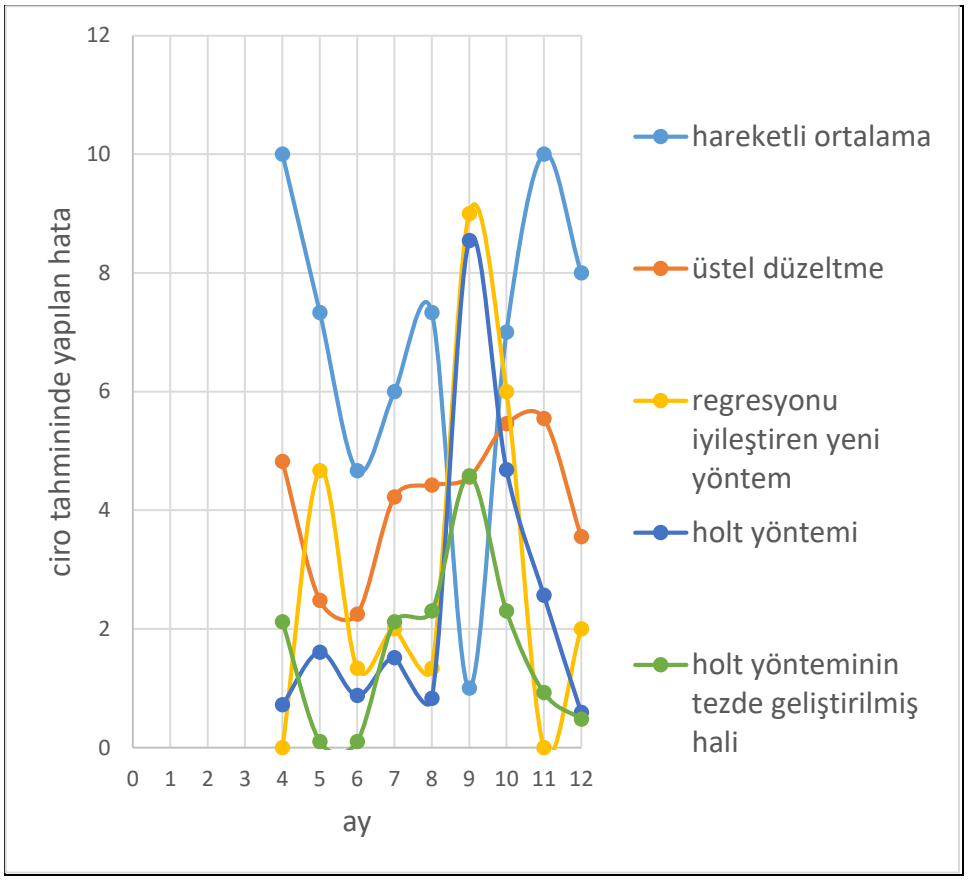
Tablo 2.4. Holt Yönteminin Bu Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması

ay	ciro (bin TL)	Seviye L_t	Eğilim T_t	Tahmin y_t^*	hata
1,00	66,00	61,45	-0,98	57,72	68,59
2,00	64,00	60,47	-0,98	60,47	12,47
3,00	56,00	56,00	-1,88	59,49	12,18
4,00	52,00	52,00	-1,88	54,12	4,48
5,00	50,00	50,00	-1,88	50,12	0,01
6,00	48,00	48,00	-1,88	48,12	0,01
7,00	44,00	44,19	-1,88	46,12	4,48
8,00	40,00	42,30	-1,88	42,30	5,30
9,00	45,00	45,00	2,70	40,42	20,98
10,00	50,00	50,00	4,07	47,70	5,30
11,00	55,00	54,41	4,07	54,07	0,86
12,00	58,00	58,48	4,07	58,48	0,23
				toplam	**134,91**

Tablo 2.5. Holt Yönteminin Bu Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanması İçin "Excel" in Doğrusal Olmayan Çözücüsü Yardımı ile Bulunan α_t, β_t Değerleri

t	α_t	β_t
1	0,45	0
2	0	0
3	1	0,26
4	1	0
5	1	0
6	1	0
7	0,91	0
8	0	0
9	1	1
10	1	0,60
11	0,36	0
12	0	0

Bu bölümdeki hesaplamalar göstermektedir ki en az toplam hatayı yapan yöntem Holt yöntemini geliştiren bu tezde tarif edilen yeni yöntemdir. Toplam hatayı azaltma anlamında ikinci en iyi yöntem ise regresyon yöntemini iyileştiren tezde tarif edilen yöntemdir. Şekil 2.1 KOBİ nin ciro tahmini yapılırken yöntemlerin yaptıkları hataları göstermektedir.



Şekil 2.1. KOBİ'nin Ciro Tahmini Yapılırken Yöntemlerinin Yaptıkları Hatalar

KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tahmin Edilmesi

KOBİ'de 2011 yılından 2016 yılına kadar bazı önemli ürünlerin satış verileri incelenmiş ve tezde önerilen tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. 2017 yılı verileri kullanılarak bu yöntemler test edilmiştir. Örnek olarak 2017 yılının ilk altı aylık satışlarına bakılarak ve KOBİ sorumlusunun bazı deneyimleri kullanılarak bir önemli ürün için önümüzdeki altı ayın talep tahmininin nasıl yapıldığı bu bölümde anlatılmaktadır. Önem arz eden bu ürüne ait ilk altı aydaki talep Tablo 2.6 da gösterilmektedir.

Tablo 2.6. Önem Arz Eden Ürün İçin İlk Altı Aydaki Talep

1	2	3	4	5	6
6	8	7	4	3	5

Tezde önerilen şekilde iyileştirilen Holt yöntemine göre önümüzdeki altı ayın talep tahmini hesabı Tablo 2.7 de bulunmaktadır. Toplam hatayı en az yapacak şekilde

optimize edilen α_t, β_t değerleri Tablo 2.8 de yer almaktadır. EK C'de Şekil C.3 bu optimizasyonu yapan excel çözücüsünün ayrıntılarını göstermektedir. EK C'de Tablo C.4 Tablo 2.7 deki değerlerin elde ediliş ayrıntılarını içermektedir. Holt yöntemi uygulanırken, ilk seviye ve ilk eğilim tüm veriye regresyon yaparak bulunmaktadır. Bu regresyon "excel" yardımı ile yapılmıştır ve Ek A'da Tablo A.3 de bulunmaktadır.

Tablo 2.7. KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilmiş Holt Yöntemi ile Tahmin Edilmesi

ay	talep	seviye	trend	tahmin	hata
0		7,800	-0,657		
1	6	7,143	-0,657	7,143	1,306
2	8	6,495	-0,655	6,486	2,293
3	7	5,840	-0,655	5,840	1,345
4	4	4,983	-0,655	5,185	1,405
5	3	4,328	-0,655	4,328	1,762
6	5	4,336	-0,323	3,673	1,762
				toplam	**9,874**

Tablo 2.8. Toplam Hatayı En Az Yapacak Şekilde Optimize Edilen α_t, β_t Değerleri

t	α_t	β_t
1	0	0,55252
2	0,00634	0,7771
3	0	0,54034
4	0,17104	1
5	0	0,66667
6	0,5	0,5

İkinci bir tahmin yöntemi olarak tezde önerilen şekilde regresyon yöntemi de uygulanmaktadır. Regresyon yaparken son üç aylık veri esas alınmıştır. "Excel" yardımı ile yapılan regresyon Ek A'da Tablo A.4 de bulunmaktadır.

Tablo 2.9 iyileştirilmiş Holt ve tezde önerilen regresyon yöntemlerinin verdiği talep tahminlerini içermektedir. İyileştirilmiş Holt yöntemi geçmiş altı ayda talepte gözlemlenen düşüşe göre hareket ettiği için talepte genel olarak bir düşüş olacağını söylemektedir. Tezde önerilen regresyon yöntemi ise son üç ayda talepteki artış trendini göz önünde bulundurmakta ve bir artış olacağını tahmin etmektedir.

Tablo 2.9. İyileştirilmiş Holt ve Tezde Önerilen Regresyon Yöntemlerinin Verdiği Talep Tahminleri

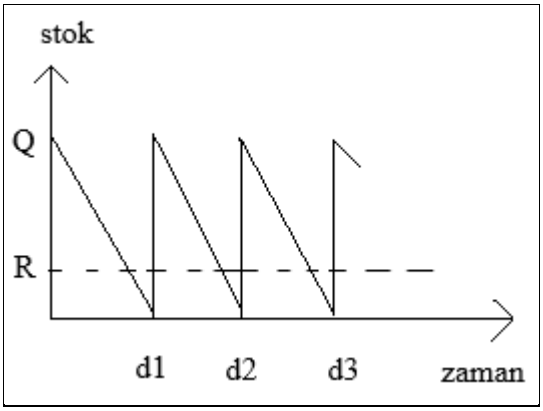
	7	8	9	10	11	12
iyileştirilmiş holt	4,01314	3,68999	3,36685	3,0437	2,72056	2,39741
önerilen regresyon	5	5,5	6	6,5	7	7,5

Envanter Yönetimi

Bu bölümde envanter yönetimi modelleri ele alınmaktadır. Önce ekonomik sipariş miktarı (ESM) yaklaşımı incelenmektedir. Sonra var olan iki model incelenmekte ve yeni bir model, spesifik çözüm yöntemleri ile birlikte önerilmektedir. Var olan yöntemler ile ilgili faydalanılan kaynak (Taha, 2011) dir.

Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) Modeli

Bu modelde envanterin sabit bir talep hızına bağlı olarak azaldığı kabul edilmektedir. Şekil 2.2 envanteri zamanın fonksiyonu olarak göstermektedir. Envanter bir R seviyesinin altına düştüğünde temin süresi düşünülerek sipariş verilmektedir. ESM de envanter miktarı yeniden sipariş verme düzeyi R ye indiğinde sipariş verilmektedir.



Şekil 2.2. Ekonomik Sipariş Miktarı Modelinde Envanterin Zaman ile Değişimi

ESM siparişin sabit maliyeti ile elde bulundurma maliyetini ele almakta ve optimum sipariş miktarı Q için aşağıdaki formülü önermektedir.

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \tag{2.14}$$

Burada K siparişin sabit maliyetini, D birim zamandaki talebi, h envanter birimi ve birim zaman başına elde bulundurma maliyetini göstermektedir.

ESM modeli bu tezde ele alınan problem için yeterli değildir. Tezde ele alınan problemde siparişin değişken maliyeti zaman boyunca değişmekte, envanter için bir yer kısıtı bulunmakta, envanter sabit hızla azalmamakta ve talep zaman boyunca değişmektedir. Bir de sipariş miktarı için üst ve alt sınırlar olabilmektedir. Ayrıca, bu tezde sipariş edilen miktarın fazla olması durumunda yapılan indirimler de ele alınmaktadır. Envanter yönetimi değerlendirilen KOBİ'de bu indirime mal fazlası indirimi denilmektedir.

Envanter Yönetiminin Ulaştırma Modeli Olarak Formüle Edilmesi

Yalnızca üretim ve elde bulundurma maliyetinin olduğu, minimum parti hacmi ve benzeri kısıtların olmadığı envanter yönetimi problemleri ulaştırma problemi olarak formüle edilebilmektedir. Tezde bir KOBİ için bu yöntem uygulanmıştır. KOBİ de bir ürünün dört aylık dönemde sipariş planının oluşturulması problemi ele alınmaktadır. Bu ürün için aylık talep 12, verilebilecek maksimum sipariş miktarı 25 dir. Ulaştırma probleminin dengeli olması gerekmektedir. Dengeli olması için (toplam arz – toplam talep): 100-48=52(kapasiteler) olarak kukla bir değişken (KD1) eklenmiştir. Tablo 2.10 aylık birim sipariş maliyetlerini göstermektedir. Stokta tutma maliyeti birim başına aylık beş TL dir. Tablo 2.11 eşdeğer ulaştırma problemini göstermektedir.

Tablo 2.10. Aylık Birim Sipariş Maliyetleri

ay	1	2	3	4
birim sipariş maliyeti	40	42	44	46

Tablo 2.11. Eşdeğer Ulaştırma Problemi

	1.AY	2.AY	3.AY	4.AY	KD1	ARZ
1.AY	40	45	50	55	0	25
2.AY	500	42	47	52	0	25
3.AY	500	500	44	49	0	25
4.AY	500	500	500	46	0	25
TALEP	12	12	12	12	52	

Bu ulaştırma probleminin doğrusal prograla ma formülasyonu aşağıda verilmiştir (2.15)-(2.24). Burada karar değişkini X_{ij}:j. ayının talebinin i. aydaki siparişten karşılanan miktarını (i:1,2,3,4.j:1,2,3,4,5) göstermektedir.

Toplam ulaştırma maliyeti minimum olmalıdır.

Min

$40X_{11}+45X_{12}+50X_{13}+55X_{14}+500X_{21}+42X_{22}+47X_{23}+52X_{24}+500X_{31}+500X_{32}+44X_{33}+49X_{34}+500X_{41}+500X_{42}+500X_{43}+46X_{44}$ (2.15)

Öyle ki

Satınalma veya üretim kapasiteleri aşılmamalıdır.

$X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}=25$ (2.16)

$X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}=25$ (2.17)

$X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}=25$ (2.18)

$X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45}=25$ (2.19)

Talep karşılanmalıdır.

$X_{11}+X_{21}+X_{31}+X_{41=}12$ (2.20)

$X_{12}+X_{22}+X_{32}+X_{42}=12$ (2.21)

$X_{13}+X_{23}+X_{33}+X_{43}=12$ (2.22)

$X_{14}+X_{24}+X_{34}+X_{44}=12$ (2.23)

$X_{15}+X_{25}+X_{35}+X_{45}=52$ (2.24)

(2.15)-(2.24) de verilen doğrusal program “Cplex” çözücüsü ile çözüldüğünde Tablo 2.12 de gösterilen çözüm elde edilmiştir. Elde bulundurma maliyeti yüksek olduğu için her ay ihtiyaç kadar alım yapılması gerektiği tespit edilmiştir. EK B’de Şekil B.1 “Cplex” çözücüsünde yazılan bilgisayar modelini, Şekil B.2 bu programın girdi dosyasını, son olarak Şekil B.3 “Cplex” çözücüsünün verdiği çıktı dosyasını göstermektedir.

Tablo 2.12. KOBİ'nin Envanter Planlamasında "cplex" in Verdiği Çözüm

	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	KD1	
1.Ay	12				13	
2.Ay		12			13	
3.Ay			12		13	
4.Ay				12	13	

Dinamik Programlama (Wagner-Whitin) Yöntemi ile Envanter Yönetimi

Aylık üretim kapasite sınırı yoksa (veya çok büyükse), bir ayın talebini bir aydaki üretimle karşılarken talebin ya tamamı ya da hiçbir kısmı karşılanıyorsa dinamik programlama ile bu üretim planlama problemi çözülebilmektedir. Bu yaklaşıma Wagner-Within algoritması ismi de verilmektedir.

Örnek olarak, bir Kobi'de bir ürünün beş aylık sipariş planı yapılacaktır. Aylık birim sipariş maliyeti ve talep Tablo 2.13 te verilmiştir. Birim stok tutma maliyeti aylık 0,8 TL'dir. Birim sipariş maliyeti ve birim stok tutma maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir ayda verilen siparişin herhangi bir aydaki talebi karşılayarak envanterden çıkarılmasının birim başına maliyeti Tablo 2.14 de bulunmaktadır.

Tablo 2.13. KOBİ'de Aylık Talep ve Aylık Birim Stok Tutma Maliyeti

ay	1	2	3	4	5
talep	10	12	8	10	14
birim üretim maliyeti(TL)	30	31	31	33	33

Tablo 2.14. Herhangi Bir Ayda Verilen Siparişin Herhangibir Aydaki Talebi Karşılayarak Envanterden Çıkarılmasının Birim Başına Maliyeti

ay	1	2	3	4	5
1	**30**	30+0,8=**30,8**	30,8+0,8=**31,6**	31,6+0,8=**32,4**	32,4+0,8=**33,2**
2		**31**	31+0,8=**31,8**	31,8+0,8=**32,6**	32,6+0,8=**33,4**
3			**31**	31+0,8=**31,8**	31,8+0,8=**32,6**
4				**33**	33+0,8=**33,8**
5					**33**

Wagner-Whitin yöntemi bir dinamik programlama yöntemidir. İçinde bulunulan ayın talebinin hangi aydan karşılanması gerektiğini, alternatifleri bir dinamik programlama yaklaşımı içinde az işlem yaparak ve daha önce yapılan işlemleri tekrar etmeyerek deneme ile bulmayı amaçlamaktadır. Aşağıda yöntemin adımları gösterilmektedir. Envanter maliyetinin formülü (2.25) de verilmiştir. Tüm periyotlar için sipariş maliyeti c_t ile sipariş miktarı X_t çarpılıp toplanır. İlave olarak t periyodu için stok tutma maliyeti h_t ile, t ayında tutulan stok miktarı I_t çarpılıp toplanır.

$$\sum_t (c_t X_t + h_t I_t) \qquad (2.25)$$

Adım1. Birinci periyodun talebini birinci periyotda gelen sipariş ile karşılamanın envanter maliyetini hesaplayın.

Adım2. Birinci ve ikinci periyodun talebini birinci periyotda gelen sipariş ile ve birinci periyodun talebini birinci periyotda gelen sipariş ile, ikinci periyodun talebini ikinci periyotda gelen sipariş ile karşılamanın kümülatif envanter maliyetlerini hesaplayın. Minimum envanter maliyetini hangi alternatif veriyorsa ikinci periyodun talebini o alternatife göre karşılayın.

Adım3. Birinci ve ikinci adımlardakine benzer şekilde bir ayın talebini karşılamanın tüm alternatiflerini deneyip, kümülatif envanter maliyetini minimize eden alternatife göre o ayın talebini karşılayın.

Tablo 2.15 KOBİ'nin bir ürün için envanter yönetimi örneğinde yöntemin verdiği çözümü göstermektedir. Tabloda z* içinde bulunulan ayda dahil olmak üzere şu ana kadar ki minimum toplam maliyeti, j* içinde bulunulan ayın talebinin hangi aydaki üretimle karşılanması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 2.15. KOBİ'nin Bir Ürün İçin Envanter Yönetimi Örneğinde Wagner Whitin Yönteminin Verdiği Çözüm

1	300	669,6	922,4	1246,4	1711,2
2		672	926,4	1252,4	1720
3			917,6	1235,6	1692
4				1247,6	1720,8
5					1697,6
z*	300	669,6	917,6	1235,6	1692
j*	1	1	3	3	3

Tablo 2.15 de görüldüğü gibi KOBİ nin toplam sipariş ve stok tutma maliyetini minimize etmesi için ilk iki ayın talebini birinci ayda, sonraki üç ayın talebini üçüncü ayda vereceği sipariş ile karşılaması gerekmektedir.

Tezde Önerilen Yeni Matematik Model

Bu tezde üretim miktarına parti hacmi kısıtı konabilen, envanterin emniyet stoğunun üzerinde olması kısıtı eklenebilen, ürünlerin geliş zamanının açık olarak belirtilebildiği, ürünün kapladığı hacmin ve mevcut hacmin de düşünüldüğü yeni bir matematik program önerilmektedir. Tablo 2.16 yeni modelin parametrelerini göstermektedir. Tablo 2.17 yeni modelde kullanılan karar değişkenlerini bulundurmaktadır.

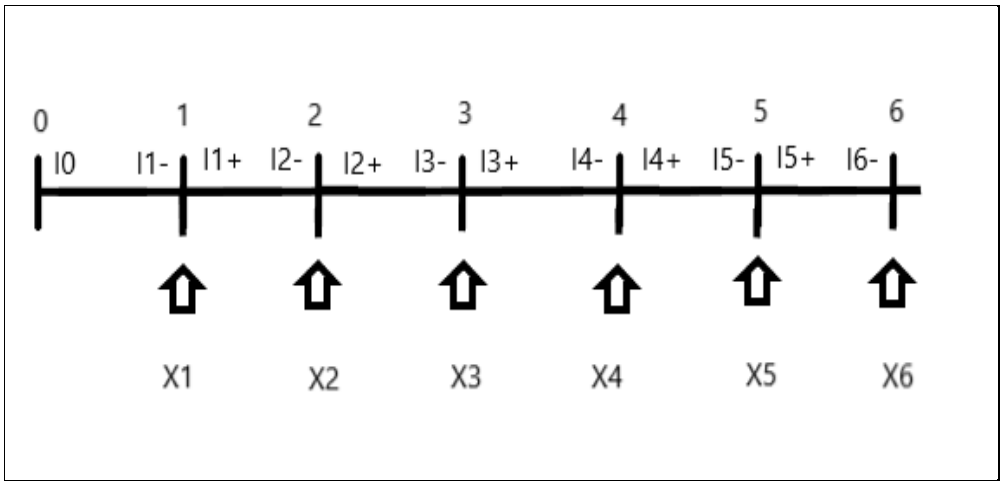
Tablo 2.16. Matematik Modelin Parametreleri

T	periyot sayısı
c_t	t de gelen siparişin değişken maliyeti
s_t	t de gelen siparişin sabit maliyeti
h_t	t periyodunda elde bulundurma maliyeti
D_t	t periyodunda toplam talep
I_0	başlangıç envanteri
A_t	t de gelen sipariş miktarının alt sınırı
$Ü_t$	t de gelen sipariş miktarının üst sınırı
E_t	t periyodu için emniyet stoğu
I_S	istenen son stok seviyesi
kh	Ürünün kapladığı hacim
MH	Mevcut hacim

Tablo 2.17. Matematik Modelin Karar Değişkenleri

X_t	t de gelen sipariş miktarı
Y_t	t de sipariş varsa 1 yoksa 0 değerini alan değişken
I_t^-	t den çok az bir zaman önceki envanter miktarı
I_t^+	t den çok az bir zaman sonraki envanter miktarı

Bu yeni matematik modelde temel amaç ve yeniliklerin başında siparişin veya üretilen ürünün geliş zamanını açıkça tanımlanması gelmektedir. Şekil 2.3 bir örnek durum için siparişin veya üretilen miktarın envantere giriş zamanını karar değişkenleri ile birlikte göstermektedir.



Şekil 2.3. Yeni Matematik Modelde Bir Örnek Durum İçin Sipariş Zamanları ve Envanter Miktarları

İleride gösterileceği gibi modeli böyle bir temele oturtmanın envanter maliyetini doğru hesaplamaya katkısı olmaktadır. Şekil 2.3 te ve (2.26)-(2.34) de verilen modelde sipariş gelmeden bir an önceki ve bir an sonraki envanter miktarı örneğin I_3^- ve I_3^+ karar değişkenleri ile gösterilmekte ve belirlenmektedir. Envanteri bu şekilde tanımlayan değişkenler kullanılarak örneğin dördüncü periyotdaki envanter maliyeti, dördüncü periyotdaki ortalama envanteri, yani $\frac{(I_3^+ + I_4^-)}{2}$ yi, periyotdaki elde bulundurma (stok tutma) maliyeti ile çarparak bulunabilmektedir. Literatürdeki diğer matematik modellerde, periyot içinde tek bir envanter sayısından ve bunu gösteren tek bir karar değişkeninden bahsedilmektedir. Bu tezdeki, envanter miktarını detaylı modelleme yaklaşımının getirdiği üstünlük stok tutma maliyetini doğru hesaplamaktır. Şöyle ki, önerilen yeni matematik modelde, periyotlar daha küçük periyot parçalarına bölünerek ve yukarıda anlatıldığı şekilde her bir periyot parçası için periyodun başındaki ve sonundaki envanter tanımlanarak talep fonksiyonu hangi biçimde olursa olsun, yeterince küçük parçalar alınırsa stok tutma maliyeti doğru hesaplanmaktadır. Bu durum sayısal analizdeki sayısal integral hesaplama düşüncesine benzemektedir.

(2.26)-(2.34) eşitsizlik ve eşitsizlikleri yeni matematik modeli tanımlamaktadır. (2.26) daki amaç toplam stok tutma ve sipariş maliyetini en az yapmayı tanımlamaktadır. (2.27)-(2.29) kısıtları envanter miktarını tanımlamak ile ilgilidir. (2.30) kısıtı sipariş miktarının alt ve üst sınırını belirlemektedir. (2.31) kısıtı emniyet stoğunu, (2.32) kısıtı son stoğun istenen seviyenin üzerinde olması gerektiğini tanımlamaktadır. (2.33) kısıtı

envanterin kapladığı hacmin toplam var olan hacimden küçük olması gerektiğine işaret etmektedir.

$$\text{Min } \sum_{t=1}^{T}(c_t X_t + s_t Y_t) + \left(\frac{I_0 + I_1^-}{2}\right) \times \text{h}_1 + \sum_{t=2}^{T} h_t \left(\frac{I_{t-1}^+ + I_t^-}{2}\right) \quad (2.26)$$

Öyle ki

$$I_0 - D_1 = I_1^- \quad (2.27)$$

$$I_t^- + X_t = I_t^+ \qquad t = 1 \ldots T \quad (2.28)$$

$$I_t^+ - D_{(t+1)} = I_{t+1}^- \qquad t = 1 \ldots T\text{-}1 \quad (2.29)$$

$$A_t Y_t \leq X_t \leq \text{Ü}_t Y_t \quad t = 1 \ldots T \quad (2.30)$$

$$I_t^- \geq E_t \quad t = 1 \ldots T \quad (2.31)$$

$$I_T^+ \geq I_S \quad (2.32)$$

$$\text{kh} I_t^+ \leq \text{Mh} \quad t = 1 \ldots T \quad (2.33)$$

$$X_t, Y_t, I_t^+, I_t^- \geq 0 \qquad t = 1 \ldots T \quad (2.34)$$

Literatürde kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme problemi bulunmaktadır. Yukarıda verilen model, emniyet stoğu kısıtı, sipariş miktarına koyduğu alt sınır ve hacim kısıtı ile kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme problemini geliştirmektedir. Tezin ileriki bölümlerinde bu model mal fazlası iskontosu durumunu içerecek şekilde genişletilecektir. Mal fazlası iskontosu durumunun bu tezde tarif edilen şekli de literatürdeki kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme problemini modifiye etmekte ve ilerletmektedir.

Önerilen yeni model bir KOBİ'deki envanter yönetimi problemine uygulanmıştır. KOBİ deki problemin parametreleri Tablo 2.18 de verilmiştir. Başlangıç envanteri dört birim istenen son envanter (altıncı.ayın sonu) iki birimdir. Kobi sipariş başına beş TL sabit ücret alınması durumunu da düşünmektedir. Bir ürün 15 cm^3 yer kaplamaktadır. KOBİ nin bu ürün için ayırabileceği toplam hacim 180 cm^3 tür.

KOBİ Tablo 2.18 de parametre değerleri verilene benzer 1000 civarında ürünün satışını yapmaktadır. Ve bu ürünlerin hepsi için aynı tarif edilen envanter yönetimi problemi ile karşı karşıyadır. Tablo 2.18 de ürünün sipariş değişken maliyetindeki artış ürünün zamlı fiyattan satın alınmasından ileri gelmektedir.

KOBİ nin ticaretini yaptığı ürünler miyadlıdır. Bu nedenle stoğun doğru yönetilmesi ve gereğinden fazla stok tutulmaması önem arz etmektedir. Yine KOBİ'nin ürünler için raflarındaki yer sınırlıdır. 1000 civarında ürün için ürün başına yapılabilecek iki üç adetlik fazla stok tutma hatası KOBİ'de ticareti aksatabilecek bir karışıklığa yol açabilmektedir. Ayrıca, KOBİ'nin yöneticileri KOBİ'nin mali dengesi ve nakit akışının aksamaması açısından envanter maliyetinin optimize edilmesini önemsemektedirler. 1000 civarında ürün için ürün başına örneğin 30 TL civarında optimizasyon sayesinde bir

artı sağlanması, yaklaşık 30,000 TL KOBİ'ye bir artı sağlamaktadır ki bu KOBİ'nin mali dengesi ve yaşaması için fevkalade önemlidir.

Tablo 2.18 de stok tutma maliyetinin önemli bir kısmını KOBİ'nin ürünlerini kullananların bir kısmının raflarda bekleme nedeniyle ürünlerin tazeliklerini göreli olarak kaybetmelerini fark etmeleri ve sonradan KOBİ'den bu ürün çeşidini tercih etmemeleri oluşturmaktadır. Doğaldır ki KOBİ, bir ürünü fabrikadan gelir gelmez ürünü kullanan kişiye verme olanağına sahip olamamaktadır. Ancak, bu tezde tarif edilen şekilde envanteri optimize etmenin bu kaybı engellemeye önemli bir katkısı bulunmaktadır; çünkü optimizasyon modelinin önemli bir parametresi olan stok tutma maliyetinin bu tür KOBİ'de büyük bir kısmını bu kayıp oluşturmaktadır.

Tablo 2.18. KOBİ'deki Envanter Yönetimi Probleminin Parametreleri

Ay	1	2	3	4	5	6
C(TL)	40	40	42	42	42	43
S(TL)	0	0	0	0	0	0
h(TL)	3	3	3	4	4	4
D	2	3	6	4	5	3
A	0	0	0	0	0	0
Ü	30	30	30	30	30	30
E	2	2	2	2	2	2

KOBİ'nin yukarıda tarif edilen envanter yönetimi problemi "Cplex" çözücüsü ile çözüldüğünde Ek B'de Şekil B.4 deki çıktı dosyası, sipariş başına 5 TL sabit ücrette modele eklendiğinde Ek B'de Şekil B.5 deki çıktı dosyası elde edilmiştir. Ek B'de Şekil B.4 ve Şekil B.5 deki çözümler, sırasıyla Tablo 2.19 ve Tablo 2.20 deki aylık sipariş miktarlarına işaret etmektedirler. Sabit ücret alınması durumunda bir miktar daha siparişleri toptan vermek gerektiği görülmektedir. Ek B'de Şekil B.6 yeni matematik modelin "Cplex" çözücüsünde yazılmasını, Şekil B.7 bu modelin "Cplex" çözücüsündeki girdi dosyasını göstermektedirler.

Tablo 2.19. Beş TL lik Sabit Sipariş Maliyeti Olmadan Aylık Sipariş Miktarları

t	1	2	3	4	5	6
X_t	3	6	4	5	3	0

Tablo 2.20. Beş TL lik Sabit Sipariş Maliyeti Olunca Aylık Sipariş Miktarları

t	1	2	3	4	5	6
X_t	3	10	0	5	3	0

Önerilen yeni matematik model literatürdeki kapasite kısıtlı parti hacmi büyüklüğü belirleme problemini içermektedir. Kapasite kısıtlı parti hacmi büyüklüğü belirleme problemi siparişin sabit maliyetlerinin, stok tutma maliyetlerinin, üretim maliyetlerinin ve kapasitelerin zaman boyunca dördünün beraber gösterdikleri değişimlere göre (azalan, artan, sabit, değişmeyen) sınıflara ayrılmaktadır (Bitran & Yanasse, 1982). (Bitran & Yanasse, 1982) göstermektedir ki bu problemin bir çok sınıfı NP zordur. Örneğin kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme probleminin üretim maliyetinin azalan olmadığı, kapasite, hazırlık maliyeti ve stok tutma maliyetinin sabit olduğu sınıfı NP zordur (Bitran & Yanasse, 1982).

Genel durumu NP zor olan kapasite kısıtlı parti hacmi büyüklüğü belirleme problemi tezde ele alınan probleme şu şekilde indirgenebilmektedir: Siparişin alt sınırları sıfır alınır, üst sınırlar parti hacmi büyüklüğü probleminin kapasitelerine eşit alınır. Siparişler eşit aralıklı periyotların sonunda gelecek şekilde model yazılır. Emniyet stoğu sıfır olarak alınır. Son olarak, hacim kısıtında mevcut hacim yeterince büyük alınır. Bu indirgeme tezdeki matematik modelde ele alınan problemin NP zor olduğunu göstermektedir çünkü eğer tezde ele alınan problem polinom zamanda çözülebilirse, kapasite kısıtlı parti hacmi belirleme problemi de tezde ele alınan probleme indirgenerek polinom zamanda çözülür, ancak kapasite kısıtlı parti hacmi belirleme problemin genel durumunun NP zor olduğu bilinmektedir. (Florian, Lenstra & Kan, 1980) bu problemin NP zorluğunu sırt çantası problemine indirgeme ile göstermektedirler.

Bu nedenle bu tezde ele alınan, genel durumu NP zor problemi polinom zamanda çözebilmek amacıyla iki sezgisel yöntem önerilmektedir.

Matematik Model İçin Dinamik Programlama Temelli Bir Sezgisel Yöntem

Bu tezde önerilen yeni matematik model için dinamik programlama yöntemini temel alan bir sezgisel yöntem de önerilmektedir. Bu yöntem aşağıda özetlenmiştir.

Adım1. Talebin karşılanacağı her bir ay m için: m ve öncesindeki ayların taleplerini karşılayan tüm sipariş alternatiflerin maliyetini $\sum_{t=1}^{m}(c_t X_t + s_t Y_t) + \left(\frac{I_0+I_1^-}{2}\right)\times h_1 + \sum_{t=2}^{m} h_t \left(\frac{I_{t-1}^+ + I_t^-}{2}\right)$ formülüne göre hesaplayın. Bu hesaplamayı aşağıdaki örnekte

gösterildiği gibi bir tablo halinde yaparken önceki aylar için yapılan hesaplamaları kullanarak daha az işlem yapmaya dikkat edin.

Adım2. Sipariş miktarları X_t leri hesaplarken emniyet stoğunun altına düşmemeye dikkat edin.

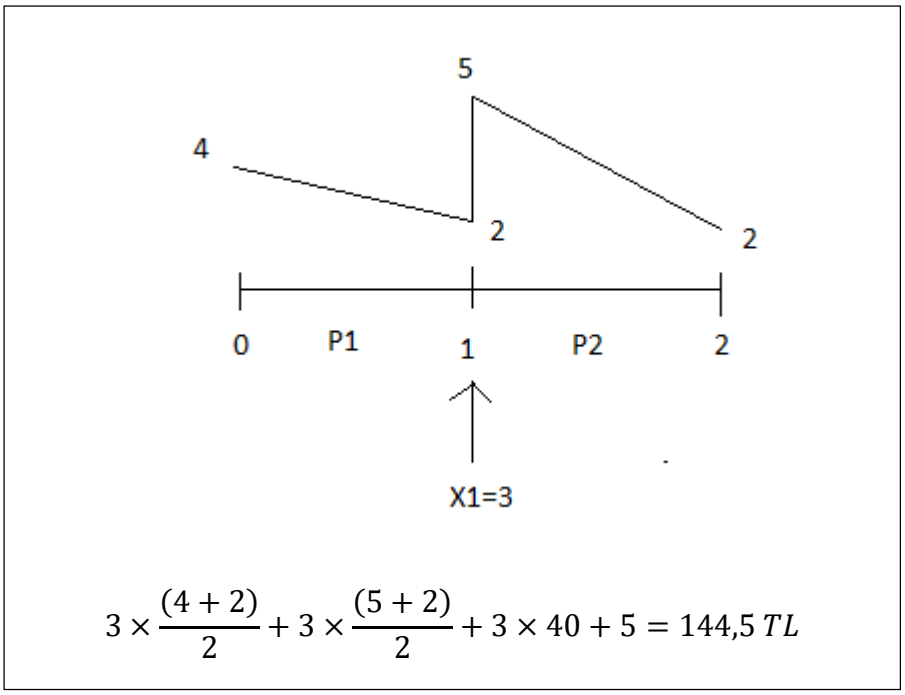
Adım3. Herhangibir alternatifte sipariş miktarı mevcut hacimden daha fazla hacim gerektiren miktarda ise o alternatifi değerlendirmeyin.

Adım4. m ayının talebini minimum maliyetli alternatifteki sipariş şekli ile karşılayın.

Bu yöntem KOBİ nin envanter yönetimi probleminde beş TL lik sabit sipariş ücreti alınan duruma uygulanmıştır. Tablo 2.21 uygulanan dinamik programlama yönteminin sonuçlarının özetini vermektedir. Tablo 2.21 de anlatıldığı gibi tablonun en üstünde yazılı ayların taleplerinin karşılanması ile ilgili tüm alternatiflerin maliyetleri hesaplanmış ve her ay için minimum maliyetli alternatif seçilmiştir. Tablo 2.21 de yer kısıtı ifadesi, o alternatifte KOBİ'de o ürün için yeterince yer (hacim) bulunmaması nedeniyle talebin o şekilde karşılanamayacağını göstermektedir. Şekil 2.4 ve Şekil 2.12 arasındaki şekiller tek tek Tablo 2.21 deki değerlerin nasıl hesaplandığını açıklamaktadır. Bu şekillerde envanterdeki değişimler de verilmiştir. Şekil 2.13 sezgisel yöntemin verdiği çözümü özetlemektedir. Görülmektedir ki dinamik programlama temelli sezgisel yöntem, Tablo 2.20 de gösterilen, CPLEX çözücüsünün verdiği çözümün aynısını verebilmektedir. Ancak, yine de yöntem bir sezgiseldir çünkü periyotların talepleri karşılanırken bir periyodun talebinin birden fazla noktadaki sipariş ile karşılanması durumu değerlendirilmemektedir.

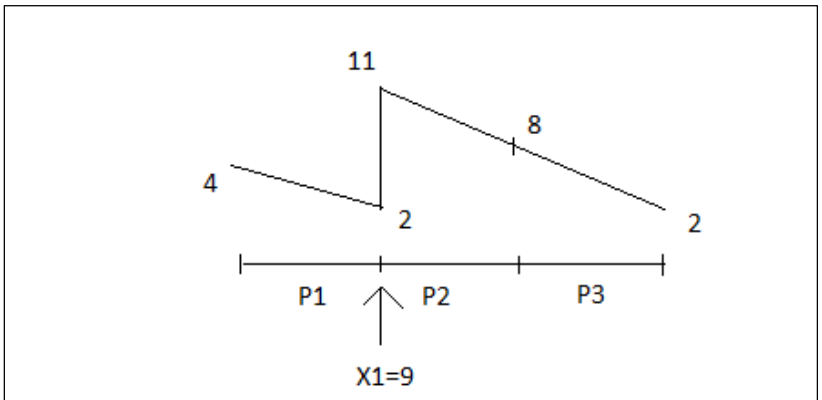
Tablo 2.21 Dinamik Programlama Yönteminin Verdiği Sonuç

	2	3	4	5	6
X1	144,5	417,5	yer kısıtı	yer kısıtı	yer kısıtı
X2		404,5	592,5	yer kısıtı	yer kısıtı
X3			593,5	841,5	yer kısıtı
X4				825,5	977,5
X5					970,5
z*	144,5	404,5	592,5	825,5	970,5
j*	X1	X2	X2	X4	X5



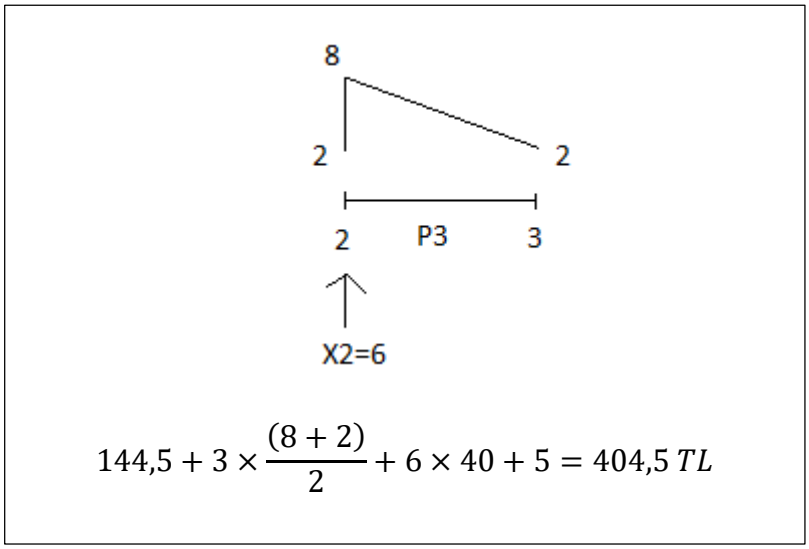
$$3 \times \frac{(4+2)}{2} + 3 \times \frac{(5+2)}{2} + 3 \times 40 + 5 = 144{,}5\ TL$$

Şekil 2.4. X1 ile İkinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



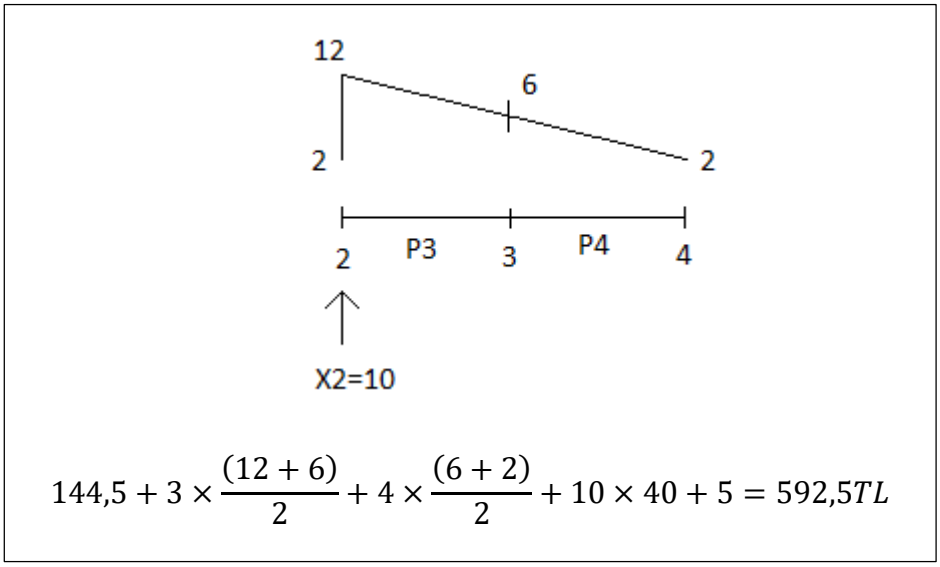
$$3 \times \frac{(4+2)}{2} + 3 \times \frac{(11+8)}{2}$$
$$+3 \times \frac{(8+2)}{2} + 9 \times 40 + 5 = 417{,}5TL$$

Şekil 2.5. X1 ile İkinci ve Üçüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



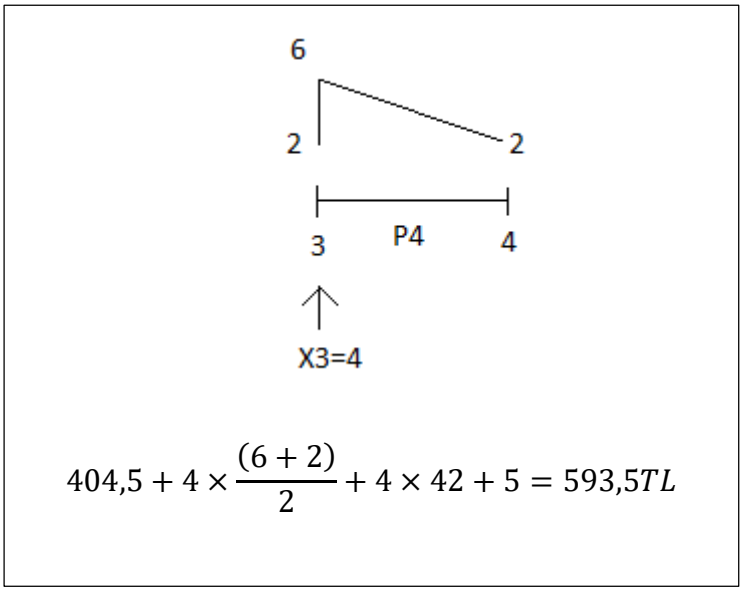
$$144{,}5 + 3 \times \frac{(8+2)}{2} + 6 \times 40 + 5 = 404{,}5\ TL$$

Şekil 2.6. X2 ile Üçüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



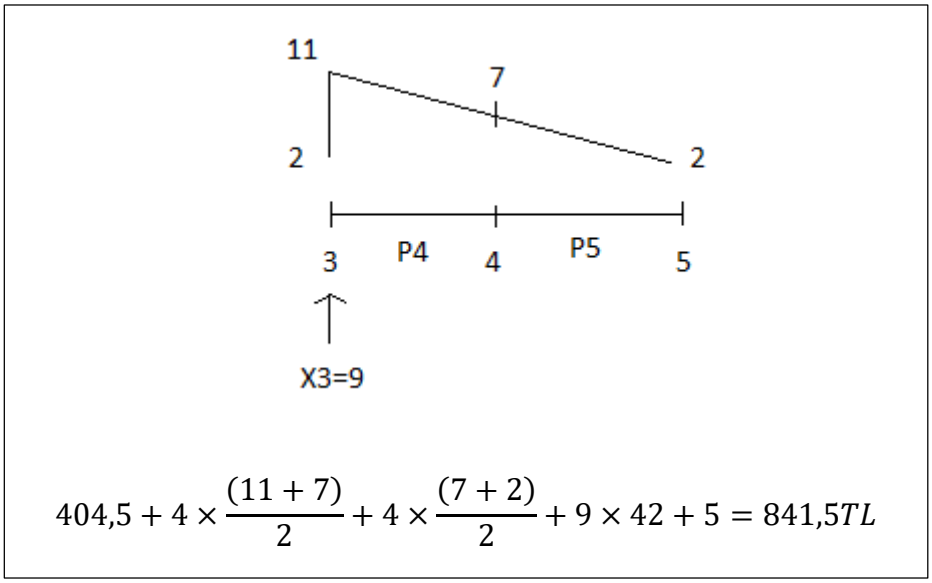
$$144{,}5 + 3 \times \frac{(12+6)}{2} + 4 \times \frac{(6+2)}{2} + 10 \times 40 + 5 = 592{,}5TL$$

Şekil 2.7. X2 ile Üçüncü ve Dördüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



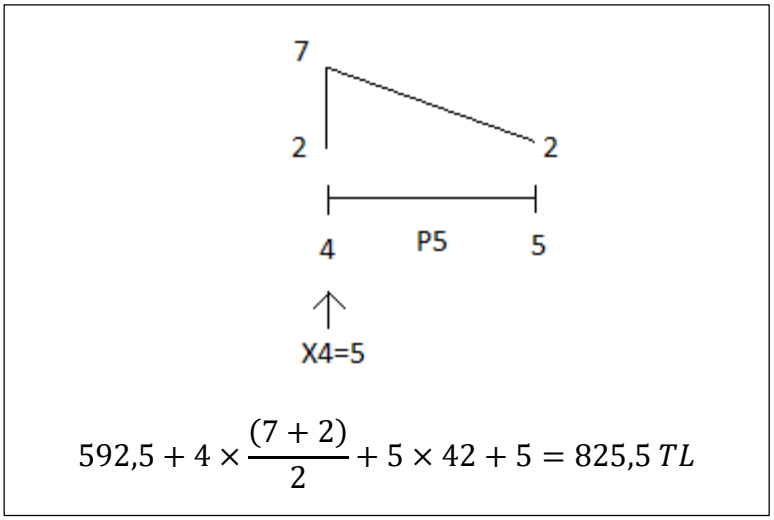
$$404{,}5 + 4 \times \frac{(6+2)}{2} + 4 \times 42 + 5 = 593{,}5TL$$

Şekil 2.8. X3 ile Dördüncü Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



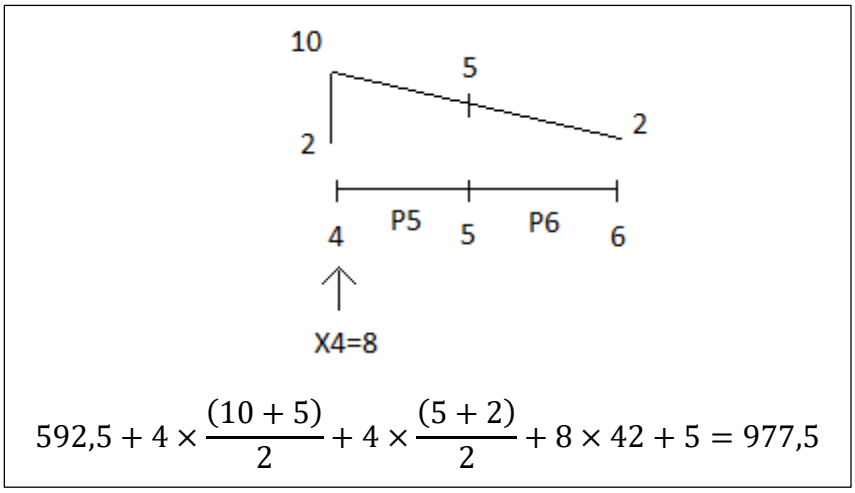
$$404{,}5 + 4 \times \frac{(11+7)}{2} + 4 \times \frac{(7+2)}{2} + 9 \times 42 + 5 = 841{,}5TL$$

Şekil 2.9. X3 ile Dördüncü ve Beşinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



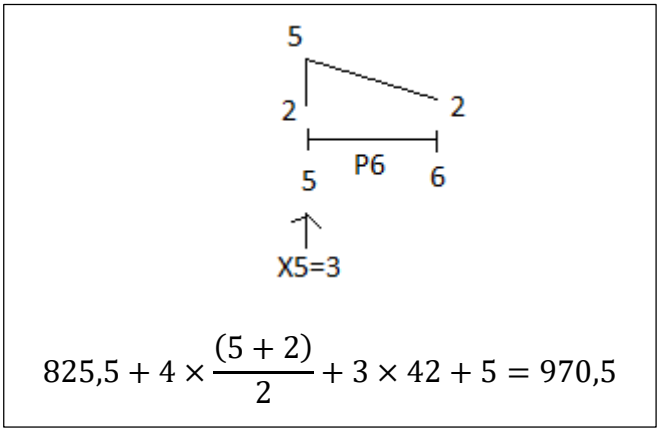
$$592{,}5 + 4 \times \frac{(7+2)}{2} + 5 \times 42 + 5 = 825{,}5\ TL$$

Şekil 2.10. X4 ile Beşinci Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



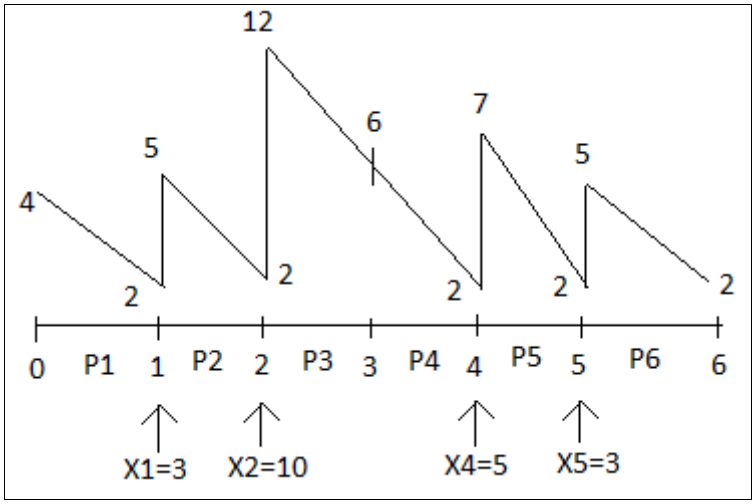
$$592{,}5 + 4 \times \frac{(10+5)}{2} + 4 \times \frac{(5+2)}{2} + 8 \times 42 + 5 = 977{,}5$$

Şekil 2.11. X4 ile Beşinci ve Altıncı Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



$$825{,}5 + 4 \times \frac{(5+2)}{2} + 3 \times 42 + 5 = 970{,}5$$

Şekil 2.12. X5 ile Altıncı Ayın Talebi Karşılanırken Envanterdeki Değişim ve Ortaya Çıkan Maliyet



Şekil 2.13. Sezgisel Yöntemin Verdiği Çözüm

Matematik Model İçin Ürün Başına Ortalama Maliyeti Temel Alan Yeni Bir Sezgisel Yöntem

Bir önceki bölümde anlatılan dinamik programlama temelli sezgisel yöntem çok periyodun olduğu problemlerde çok fazla işlem gerektirebilmektedir. Bu bölümde ürün başına ortalama maliyeti temel alan bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu yeni yöntem (Taha, 2011) de anlatılan Silver Meal sezgiseli ile benzerlikler gösterse de şu özellikleri ile farklıdır: Birincisi Silver Meal sezgiseli tüm periyotlarda üretim maliyetinin eşit olduğu problemlerde uygulanmaktadır. İkincisi Silver Meal sezgiseli ortalama ürün başına maliyeti değil, ortalama periyot başına maliyeti esas almaktadır. Son olarak önerilen yeni yöntem bir periyodun talebinin karşılanmasını ilerideki alternatif zaman

dilimlerine bırakmadan önce bu alternatiflerden en azından birini de göz önünde bulundurmaktadır. Aşağıda bu yeni yöntemi özetlemektedir. Bu tezde yeni yöntem, KOBİ'nin envanter yönetimi probleminde beş TL lik sabit sipariş ücreti alınan duruma uygulanarak anlatılmaktadır.

Adım1. Birinci sipariş ile siparişin geliş zamanından sonraki ilk periyodun talebini karşılamanın ürün başına ortalama maliyetini hesaplayın. Bunu yaparken emniyet stoğunun altına düşmemeye dikkat edin.

Adım2. Birinci sipariş ile siparişin geliş zamanından sonraki ilk iki periyodun talebini karşılamanın ürün başına ortalama maliyetini hesaplayın. Eğer ortalama maliyet artmıyorsa birinci sipariş ile talebi karşılanan periyot sayısını benzer şekilde arttırın.

Adım3. Eğer bir periyodun talebi siparişe ilave edildiğinde ürün başına ortalama maliyet artıyorsa bu periyodun talebini ilerideki siparişler ile karşılamanın alternatif ortalama maliyetini hesaplayın, eğer alternatif ortalama maliyet daha düşükse bu periyodun talebini ileride verilecek siparişler ile karşılayın.

Adım4. İkinci ve sonraki siparişler için adım 1,2,3 ü tekrar edin.

Adım5. Sipariş büyüklüklerini yeni periyotların taleplerini karşılayacak şekilde genişletirken envanter miktarının mevcut hacimden fazla yer kaplaması durumunda siparişe o periyodun talebini ilave etmeyin.

Birinci ayın sonunda envanter iki birimdir. Birinci ayın sonunda gelen sipariş ile ikinci aydaki talebi karşılamanın maliyeti 5+40*3+3*(5+2)/2 = 135,5 TL dir. Toplam üç birimlik talebin karşılanması için bu maliyet ortaya çıkmaktadır. Ürün başına ortalama maliyet 45,17 TL dir. Birinci ayın sonunda gelen sipariş ile ikinci ve üçüncü aydaki talebi karşılamanın toplam maliyeti 5+40*9+3*(11+8)/2+3*(8+2)/2=408,5 TL dir. Ürün başına ortalama maliyet 45,39 TL dir. Görüldüğü gibi birinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ayın talebi de karşılanmak istenince ürün başına ortalama maliyet artmaktadır. Bir de ikinci aydaki talebi birinci ayın sonunda gelen sipariş ile, üçüncü aydaki talebi ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile karşılamanın ürün başına ortalama maliyetine bakılması gerekmektedir. Bu maliyet (1/9)*(135,5+260) = 43,94 tür. Bu nedenle yeni sezgisel birinci ayın sonunda gelen sipariş ile yalnızca ikinci ayın talebini karşılamayı önermektedir.

İkinci ayın sonunda envanter iki birimdir. İkinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü aydaki talebi karşılamanın maliyeti 5+6*40+3*(8+2)/2=260 TL dir. Toplam altı

birimlik talebin karşılanması için bu maliyet ortaya çıkmaktadır. Ürün başına ortalama maliyet 43,33 TL dir. İkinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ve dördüncü aydaki talebi karşılamanın toplam maliyeti 5+40*10+3*(12+6)/2+4*(6+2)/2= 448 TL dir. Ürün başına ortalama maliyet 44,8 TL dir. Sezgisel yöntem bir de alternatif maliyete, yani ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ayı, üçüncü ayın sonunda gelen sipariş ile dördüncü ayın talebini karşılamanın ürün başına ortalama maliyetine bakmaktadır. Bu maliyet (1/10)*{260+5+4*42+4*(6+2)/2} = 44,9 TL dir. Görüldüğü gibi, her ne kadar ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile dördüncü ayın talebi de karşılanmak istenince ürün başına ortalama maliyet artmakta olsa bile alternatif maliyet daha yüksek çıkmaktadır.. Bu nedenle yeni sezgisel ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ve dördüncü ayın talebini karşılamayı önermektedir.

Dördüncü ayın sonunda envanter iki birimdir. Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci aydaki talebi karşılamanın maliyeti 5+42*5+4*(7+2)/2 = 233 TL dir. Toplam beş birimlik talebin karşılanması için bu maliyet ortaya çıkmaktadır. Ürün başına ortalama maliyet 46,6 TL dir. Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci ve altıncı aydaki talebi karşılamanın toplam maliyeti 5+42*8+4*(5+2)/2+4*(10+5)/2=385 TL dir. Ürün başına ortalama maliyet 48,13 TL dir. Görüldüğü gibi dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile altıncı ayın talebi de karşılanmak istenince ürün başına ortalama maliyet artmaktadır. Bir de dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci ayın talebini, altıncı aydaki talebi beşinci ayın sonunda gelen sipariş ile karşılamanın ürün başına ortalama maliyetine bakılması gerekmektedir. Bu maliyet (1/8)*{233+5+3*42+4*(5+2)/2} = 47,25 TL olmaktadır. Bu nedenle yeni sezgisel dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile yalnızca beşinci ayın talebini karşılamayı önermektedir.

Özet olarak, ürün başına ortalama maliyeti temel alan yeni sezgisel Tablo 2.20 de gösterilen CPLEX çözücüsünün verdiği çözümün aynısını vermektedir. Tablo 2.22, Tablo 2.23 ve Tablo 2.24 yeni sezgiselin uygulamasını özetlemektedir.

Tablo 2.22. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama Birinci Kısım

Seçenek	Ortalama ürün başına maliyet	Alternatif seçenek	Alternatif ortalama ürün başına maliyet	Karar
Birinci ayın sonunda gelen sipariş ile ikinci ayın talebini karşılamak	45,17 TL			
Birinci ayın sonunda gelen sipariş ile ikinci ve üçüncü ayın talebini karşılamak	45,39 TL			
		İkinci aydaki talebi birinci ayın sonunda gelen sipariş ile, üçüncü aydaki talebi ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile karşılamak	43,94 TL	birinci ayın sonunda gelen sipariş ile yalnızca ikinci ayın talebini karşılamak

Tablo 2.23. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama İkinci Kısım

Seçenek	Ortalama ürün başına maliyet	Alternatif seçenek	Alternatif ortalama ürün başına maliyet	Karar
İkinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü aydaki talebi karşılamak	43,33 TL			
İkinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ve dördüncü aydaki talebi karşılamak	44,8 TL			
		ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ayı, üçüncü ayın sonunda gelen sipariş ile dördüncü ayın talebini karşılamak	44,9 TL	ikinci ayın sonunda gelen sipariş ile üçüncü ve dördüncü ayın talebini karşılamak

Tablo 2.24. Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli Uygulama Üçüncü Kısım

Seçenek	Ortalama ürün başına maliyet	Alternatif seçenek	Alternatif ortalama ürün başına maliyet	Karar
Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci aydaki talebi karşılamak	46,6 TL			
Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci ve altıncı aydaki talebi karşılamak	48,13 TL			
		Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile beşinci ayın talebini, altıncı aydaki talebi beşinci ayın sonunda gelen sipariş ile karşılamak	47,25 TL	Dördüncü ayın sonunda gelen sipariş ile yalnızca beşinci ayın talebini karşılamak

Mal Fazlası Durumunun Yeni Matematik Modele Eklenmesi

KOBİ'de bazı durumlarda belirli bir miktarın üzerinde sipariş verildiğinde mal fazlası ismi verilen bir indirim ile ürün başına maliyet azalmaktadır. Örnek olarak KOBİ'nin envanter yönetimi probleminde beş TL lik sabit sipariş ücreti alınan durumda, dörde bir mal fazlası indirimi bazı dönemlerde gündeme gelebilmektedir. Yani, sipariş miktarı w ve w dan büyük olursa (KOBİ'de w = 5), ürün başına % p lik bir indirim gündeme gelmektedir. Bu durumu yeni matematik modele eklemek için bu tezde şu yöntem önerilmektedir: Öncelikle sipariş miktarının w veya w dan büyük olup olmadığı bir tamsayılı değişken ve iki kısıt yardımı ile belirlenmektedir.

$$X_t \geq (w - 1 + \varepsilon) ye_t \tag{2.35}$$

$$X_t \leq (w - 1) + M ye_t \tag{2.36}$$

Burada ε yeterince küçük bir sayı, M yeterince büyük bir sayıdır.

(2.35) eşitsizliği, t zamanında gelen sipariş miktarı X_t w-1 veya w-1 den küçük olduğunda ye_t sıfır veya bir değişkenini sıfır olmaya zorlamaktadır. Bununla birlikte, (2.36) eşitsizliği, X_t w veya w dan büyük olduğunda ye_t değişkenini bir olmaya zorlamaktadır. Amaç fonksiyonunda da aşağıda anlatılan değişikliklerin yapılması gerekmektedir. t zamanında verilen siparişin değişken maliyeti (2.37) de verildiği gibi olmaktadır.

$$c_{1t} X_t (1 - ye_t) + c_{2t} X_t y_{et} \tag{2.37}$$

Burada c_{1t} sipariş miktarı dört veya dörtten küçük iken ki değişken maliyeti, c_{2t} sipariş miktarı beş veya beşten büyük iken ki değişken maliyeti göstermektedir. (2.37) sadeleştirildiğinde aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$c_{1t} X_t + (c_{2t} - c_{1t}) X_t ye_t \tag{2.38}$$

Burada $X_t ye_t$ doğrusal olmayan terimi z_t olarak adlandırıldıktan sonra aşağıdaki eşitsizlikler yardımı ile linearize edilebilmektedir.

$$z_t \leq M ye_t \tag{2.39}$$

$$z_t \leq X_t \tag{2.40}$$

$$z_t \geq X_t - M(1 - ye_t) \tag{2.41}$$

$$z_t \geq 0 \tag{2.42}$$

Başka kuruluşlar tarafından da örnek alınabilmesi ve kullanılabilmesi için matematik modelin "cplex" programı Ek B'de Şekil B.8 de, çıktı dosyası Ek B'de Şekil B.9 da verilmiştir. Şekil B.9 daki çözümden anlaşıldığı üzere KOBİ nin, maliyetini minimize etmesi için $t = 1$ de 5, t = 2 de 8, t = 4 de 8 birim sipariş vermesi gerekmektedir. KOBİ

mal fazlası indirimini alabilmek için daha az sipariş vermekte ve verdiği zamanda beş ve beşin üstünde sayıda sipariş vermektedir.

KOBİ'de ele alınan ürün için mal fazlası iskontosu bir başka şekilde de gündeme gelmektedir. Dörde bir ismi verilen (w-1 e 1), dört ve dördün katlarında birer ürünün bila bedel verilmesi iskontosu da bazı dönemler söz konusu olmaktadır. Örneğin on ürün sipariş verilirse iki tanesi bila bedel alınmaktadır. Veya, onbeş ürün alınırsa üç tanesi bila bedel alınmaktadır. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta, dördün katı tamamlanmazsa, örneğin yedi ürün siparişi verilirse yalnızca bir ürün bila bedel alınmakta, diğer ürünler asıl fiyatlarından alınmaktadır. Bu durumu modellemek için öncelikle t zamanında gelecek ürün miktarının w dan veya 2w dan veya 3w dan veya 4w dan büyük olduğu aşağıdaki eşitsizlikler tarafından belirlenmektedir. Burada $y1_t$, $y2_t$, $y3_t$, $y4_t$ sipariş miktarı beşten veya ondan veya onbeşten veya yirmiden büyük olduğu zaman bir değerini alan diğer durumlarda sıfır değerini alan değişkenlerdir.

$$X_t \geq (w - 1 + \varepsilon) y1_t \quad (2.43)$$

$$X_t \leq (w - 1) + M y1_t \quad (2.44)$$

$$X_t \geq (2w - 1 + \varepsilon) y2_t \quad (2.45)$$

$$X_t \leq (2w - 1) + M y2_t \quad (2.46)$$

$$X_t \geq (3w - 1 + \varepsilon) y3_t \quad (2.47)$$

$$X_t \leq (3w - 1) + M y3_t \quad (2.48)$$

$$X_t \geq (4w - 1 + \varepsilon) y4_t \quad (2.49)$$

$$X_t \leq (4w - 1) + M y4_t \quad (2.50)$$

Amaç fonksiyonuna da iskonto aşağıdaki ifade ile yansıtılmaktadır:

$$\sum_{t=1}^{T}(c_t X_t + s_t Y_t - c_t y1_t - c_t y2_t - c_t y3_t - c_t y4_t) + \left(\frac{I_0 + I_1^-}{2}\right) \times \mathrm{h}_1 + \sum_{t=2}^{T} h_t \left(\frac{I_{t-1}^+ + I_t^-}{2}\right) \quad (2.51)$$

Başka kuruluşların da gerekli değişiklikleri yapıp kullanabilmeleri için "cplex" çözücüsünde yazılan program Ek B'de Şekil B.10 da, "cplex" çözücüsünün verdiği çözüm Ek B'de Şekil B.11 de verilmiştir. Şekil B.11 deki çözümden anlaşıldığı üzere KOBİ nin, maliyetini minimize etmesi için $t = 1$ de 5, t = 2 de 5, t = 3 de 5, t = 4 de 6 birim sipariş vermesi gerekmektedir. Görüldüğü gibi KOBİ maliyetini minimize etmek için beşin katlarında veya beşin katlarına çok yakın miktarda sipariş vermektedir.

Önerilen Yöntemlerin Büyük Veri Durumunda Uygulanması

Tablo 2.25 deki büyük veri durumu tezde önerilen matematiksel model ile çözülmeye çalışılmıştır. Cplex çözücüsü 4 çekirdekli bir işlemci ile (core i5 2450M 2.5 GHz) parallel işleme (parallel processing) yaptırılmasına rağmen makul bir sürede (24 saat) bir çözüm bulamamıştır. Bu durum normaldir çünkü kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme probleminin üretim maliyetinin azalan olmadığı, kapasite, hazırlık maliyeti ve stok tutma maliyetinin sabit olduğu sınıfı NP zordur (Florian, Lenstra & Kan, 1980), (Bitran & Yanasse, 1982). Tezin önceki bölümlerinde anlatıldığı gibi bir kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme problemi tezde önerilen matematik modelin bir örneğine (instance) polinom zamanda dönüştürülebilmektedir. Tezde önerilen matematik modelin ele aldığı problem polinom zamanda çözülebilse kapasiteli sipariş büyüklüğü belirleme probleminin yukarıda tarif edilen sınıfı da NP zor olmaz. Ancak, bu sınıfın NP zor olduğu yukarıda verilen çalışmalarda gösterilmiştir.

Tablo 2.25. Büyük Veri Örneği

Periyot Sayısı	200
Üretim maliyeti	Başlangıçta 40 TL (takip eden her periyotda 0.5 TL artış var)
Siparişin sabit maliyeti (hazırlık maliyeti)	5 TL
Stok tutma maliyeti	0.5 TL /periyot, adet
Periyot başına üretim kapasitesi	50 adet
periyot başına talep	8
mal fazlası iskontosu tipi	dörde bir mal fazlası iskontosu

Tablo 2.25 de tarif edilen büyük veri problemi bu tezde önerilen ürün başına ortalama maliyet sezgiseli ile Tablo 2.26 da gösterildiği gibi “excel” veya bir hesap makinesi yardımı ile çok kısa sürede, kolaylıkla çözülebilmektedir. Tablo 2.26 ilk üç periyotdaki talebin birinci periyodun başında gelen sipariş ile karşılanması gerektiğine

işaret etmektedir. Diğer sipariş miktar ve zamanları da benzer şekilde hesaplanabilmektedir.

Tablo 2.26. Büyük Veri Örneğinin Ürün Başına Ortalama Maliyet Sezgiseli ile Çözülmesi

Alternatif	Maliyet (TL)	Ortalama maliyet (TL/adet)
X1 ile 1. periyodun talebini karşılamak (X1=8)	287	35.88
X1 ile 1. ve 2. periyotların taleplerini karşılamak (X1=16)	533	33.31
X1 ile 1. 2. ve 3. periyotların taleplerini karşılamak (X1=24)	823	34.29
X1 ile 1. 2. X3 ile 3. periyotların taleplerini karşılamak (X1=16, X3=8)	827	34.46

BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölümde, önce araştırmanın amaçlarını yansıtan elde edilen bulgulara; sonra onların kümeler ve bütün halinde anlamlandırılmaya çalışıldığı yorumlara yer verilmektedir.

Bulgular

Talep tahmininde, regresyon ve Holt yöntemlerinin, tezde önerildiği şekilde geliştirilerek uygulandığında daha az hataya yol açtığı bulgusu elde edilmiştir. Holt yöntemi verinin geneline bakmaktadır ve bu genel duruma bakarak tahminler ortaya koymaktadır. Regresyon yöntemi tezde önerilem şekilde uygulandığında kısa zaman önceki müşteri davranışına göre tahminde bulunmaktadır. Bu iki yaklaşımda önemlidir; çünkü gelecekte gerçekleşecek talebin geçmişle hangi yaklaşımdaki kabule göre ilişkide olacağı önceden belli değildir.

Envanter yönetiminde matematik modelin "cplex" çözücüsünde çok kısa sürede problemi optimum çözdüğü bulgusuna ulaşılmıştır. Yine, önerilen sezgisel yöntemlerin verdikleri amaç değeri anlamında başarılı oldukları bulgusu mevcuttur. Kayda değer bir diğer bulgu siparişe sabit bir maliyet konulduğunda siparişlerin ürün miktarı olarak çok ve daha az sayıda verilmesinin optimum olduğudur. Aynı durum mal fazlası iskontosunun bulunduğu durumlarda da gözlemlenmektedir.

Ayrıca, envanter yönetiminde özellikle ortalama ürün başına maliyeti temel alan sezgisel yöntemin az işlem gerektirmesi ve kuruluş yöneticilerinin mantığı rahat anlayabilecekleri ve isminin anlattığı gibi sezgilerine hitap eden bir yöntem olması nedeniyle önemli ve gerekli bir yöntem olduğu bu tezde ortaya konulmaktadır. Profesyonel endüstri mühendislerinin ve endüstri mühendisliği öğrencilerinin mutlaka bu yöntemi iyi bilmesi gerektiği bulgusuna bu tezde yer verilmektedir.

Bu tezde önerilen yöntemler bir KOBİ'de uygulanmaktadır. KOBİ'de siparişleri veren görevli siparişlerini verirken "excel" programı ile özellikle Holt yöntemininin iyileştirilmiş halini kullanmaktadır. Bu konuda tez danışmanı hocadan yardım almaktadır. Yine envanter yönetiminde, özellikle ortalama ürün başına maliyeti temel alan sezgisel yöntemi pratik olması nedeniyle KOBİ tercih etmekte ve bu yöntemden faydalanmaktadır. Yöntemler uygulanırken tabii ki bir Pareto yaklaşımı içinde değeri ve faydası yüksek ürünlere öncelik verilmektedir. KOBİ tezde önerilen yöntemler sayesinde envanter zararına hiç girmemekte veya çok az girmektedir.

Yorumlar

Talep tahmini ile ilgili olarak bu tezde regresyon yönteminin verinin tamamına değilde hareketli ortalama yönteminde olduğu gibi yakın geçmişi esas alarak uygulanması önerilmektedir. Sonuçlar bu yeni yaklaşımın tahmin hatasını azalttığını göstermektedir. Tezdeki bir diğer yeni bir yaklaşım Holt yönteminin değişken sayısının arttırılması olup, bu arttırımın tahmin hatasını azalttığı ortaya konulmaktadır.

Tezde önerilen talep tahmini yöntemleri bir KOBİ'de uygulanmaktadır. KOBİ'nin cirosunun ve ürünlerine olan talebin tahmini tezdeki yöntemlerle yapılmaktadır. KOBİ yöneticileri bu iki tahmini de önemsemektedirler ve sipariş kararlarında tezde önerilen yöntemlerin verdikleri sonuçları da göz önünde bulunduracaklarını ifade etmektedirler.

Envanter yönetimi ile ilgili olarak bu tezde yeni bir matematiksel model önerilmektedir. Mal fazlası indirimi durumu ile birlikte düşünüldüğünde bu model KOBİ'ye özgü yenilikler içermektedir. Yine bu modelin çözüm yöntemleri olan dinamik programlama yaklaşımı, ortalama ürün başına maliyeti temel alan sezgisellerin de var olan yöntemleri geliştiren kısımları vardır. Özellikle KOBİ'nin tarif ettiği mal fazlası iskontosu durumunun modellenmesi ve önerilen denklemler var olan envanter modellerini geliştiren özellikler taşımaktadır.

Envanter yönetimi ile ilgili bu tezde önerilen yöntemler KOBİ'de uygulanmaktadır. KOBİ yöneticileri sabit sipariş maliyetinin olduğu durumlarda çok ürünlü az sayıda sipariş verilmesi sonucunu önemli bulmaktadırlar. Tedarikçinin sabit sipariş maliyeti istemediği durumlarda çok sayıda sipariş vererek çok fazla ticari araç ve motosiklet çıkarılmasına yol açmanın yanlış olduğunu anlamaktadırlar. Tedarikçi bazı durumlarda böyle bir ücret istemiyor diye kendi envanter maliyetini düşünerek az ürünlü çok sipariş vermenin yanlış olduğunu bu tezin kendilerine gösterdiğini söylemektedirler.

Önemli bir nokta yukarıda anlatıldığı gibi tez danışmanının tezde önerilen yöntemlerin uygulanmasına yardımcı olduğu KOBİ'de olduğu gibi diğer KOBİ ve kuruluşların da talep tahmini ve envanter yönetimini bilimsel ilkeler doğrultusunda yapmalarının sağlanmasıdır. Elbette ki kuruluşların kendi özel değerlendirmeleri ve kendi özel iç yapıları, özel iş akışları bulunmaktadır. Bu tezde önerilen yöntemlerin uygulanması senelerin kemikleşmiş anlayışlarının kırılmasını ve belki yeni elemanların alınmasını gerektirmektedir. Bu durum da Endüstri Mühendisliği Bölümü mezunları için bir iş alanı ortaya koymaktadır. Bu tez söz konusu bilimsel yöntemleri uygulamayı şu ana

kadar değerlendirmemiş kuruluşlara da yardımcı olması amacıyla yazılmakta olup bir KOBİ'de başarıyla uygulanması dolayısıyla envanter zararını azaltması gerekli olan tüm kuruluşları ilgilendirmektedir.

BÖLÜM 4. SONUÇ

Bu bölümde, araştırmanın kimliği, süreci ve elde edilen sonuçların özetlendiği bir *özet*, elde edilen bulguların yorumlandıktan sonra araştırma ile varılan nokta anlamında bir *yargı* ile mevcut araştırmanın alandaki egemen kuram ve uygulamalara muhtemel katkısının neler olabileceğine ilişkin bir *öneriler* altbölümleri yer almaktadır.

Özet

Talep tahmini ve bununla ilişkili olarak envanter yönetimi sanayideki fabrikalardan, üretim veya hizmet sektöründeki küçüklü büyüklü kuruluşlara kadar neredeyse bütün işletmelerde önem taşıyan bir konudur. Envanterini iyi yönetemeyen ve bunun sonucunda envanter maliyetini kontrol edemeyen işletmeler önemli zararlara uğrayabilmektedirler.

Bu tezde öncelikle talep tahmini ile ilgili var olan yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Hareketli ortalama, üstel düzeltmeler ve Holt yöntemleri bir KOBİ'de uygulanmakta, hareketli ortalama yöntemi, yakın geçmiş verisine regresyon yapılması şeklinde ilerletilmektedir. Yine bir diğer yenilik olarak Holt yönteminin değişken sayısı arttırılmaktadır. Bu talep tahmini yöntemleri bir KOBİ'nin cirosunun ve ürünlerine olan talebin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır.

Envanter yönetimi ile ilgili olarak bu tezde öncelikle literatürde var olan envanter yönetimi probleminin ulaştırma problemi olarak formüle edilmesi ve dinamik programlama (Wagner-Whitin) yöntemleri bir KOBİ'de uygulanmakta olup buna ek olarak yeni bir matematiksel model ve bu modelin çözümünü sağlayacak sezgisel yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler yine bir KOBİ'de uygulanmaktadır. Yöntemlerin amacı sipariş ve stok tutma maliyetlerinin toplamı olarak ifade edilen envanter maliyetini optimum sipariş zaman ve sipariş miktarlarını bularak minimize etmektir.

Önerilen yeni matematiksel model Türkiye genelinde 20,000 tane benzeri olan KOBİ'nin tarif ettiği mal fazlası iskontosu durumlarını da içerebilmektedir. Asıl üzerinde durulması gereken nokta tezin ekinde bu modelin diğer kuruluşlarda da uygulanabilmesi için "cplex" programlarının verilmekte olmasıdır. Önerilen sezgisel yöntemlerin de önemli bir özelliği "excel" yardımı ile özel bir bilgisayar programı kullanmadan uygulanabilmeleridir.

Yargı

Bu tezdeki temel yargı, üretim veya perakendecilik yapan sanayideki firmaların sipariş veya üretim zaman ve miktarlarını bir optimizasyon perspektifi içinde belirlemeleri gereğidir. Böyle bir optimizasyon perspektifi olmadan veya tezde anlatılan optimizasyon araçları kullanılmadan yapılacak bir envanter planlaması tezde gösterildiği gibi işletmeye zarar verebilmektedir. Özellikle Türkiye genelinde benzeri 20,000 leri bulan bir KOBİ'ye talebini nasıl tahmin edeceği, sipariş zaman ve miktarlarını nasıl belirleyeceği bilgisayar programları ile birlikte bu tezde anlatılmaktadır. Bu tezdeki diğer bir önemli yargı sipariş verirken yalnızca firmanın değil tedarikçinin de düşünülmesidir. Bu tezde gösterilmektedir ki tedarikçi siparişin sabit maliyetini tahakkuk ettirdiğinde siparişler daha yüksek ürün sayılarıyla ve daha az sayıda verilmektedir. Önem arz eden bu yargı firmaların böyle bir ücret olmadığında da sık periyotlarda az miktarda sipariş vermek yerine uzun periyotlar sonunda fazla miktarlarda sipariş vermeleri gerektiğidir.

Diğer yargılar Holt yönteminin değişken sayısı tezde önerildiği şekilde arttırıldığında daha az hata ile tahmin yapabilmekte olması, yakın geçmişe bakarak tahmin yapan yöntemlerle verinin geneline bakarak tahmin yapan yöntemlerin birlikte kullanılması ve değerlendirilmesi gereğidir. Ayrıca, tezde gösterilmektedir ki mal fazlası iskontosu durumları bir takım ilave değişkenlerle matematik modele entegre edilebilmektedir. Yine beklendiği gibi mal fazlası iskontosu da siparişlerin sık periyotlarda az miktarda olmamasını, uzun periyotlar sonunda fazla miktarlarda olmasını sağlamaktadır.

Öneriler

Bu tezde anlatılan envanter yönetimi ve talep tahmini yöntemleri Türk veya Dünya sanayisindeki üretim yapılan veya perakende satış yapılan her kuruluşta kulanılabilmektedir. Temel öneri bu tezdeki bilgilerin okunması ve anlaşılmasıdır. Tezin ekinde verilen "cplex" programları sanayideki kuruluşların büyük bir bölümünde küçük değişikliklerle, bazılarında da doğrudan uygulanabilme potansiyeline sahiptir. Yine tezde önerilen talep tahmini yöntemleri "excel" yardımıyla uygulanabilir. Ayrıca, envanter yönetimi ile ilgili önerilen sezgisel yöntemler "excel" yardımı ile çözücü veya başka bir bilgisayar programı gerektirmeden işletmede hayata geçirilebilir. Firmaların satın alma veya üretim planlama departmanlarında çalışan genç endüstri mühendislerinin bu tezde anlatılan bilgi ve yöntemleri çalışmaları bir diğer öneridir.

Bunun gerçekleşebilmesi için endüstri mühendislerinin “cplex” gibi çözücüleri etkin ve akıcı şekilde kullanabilecek şekilde yetiştirilmesi de bir öneridir. Bu da endüstri mühendisliği öğretim programlarında bilgisayar laboratuvarlarında yapılan çalışmalara da yer verilmesini gerektirmektedir.

EK A. REGRESYON ANALİZLERİ

Tablo A.1. "Excel" Programının Son Üç Aylık Parça İçin Verdiği Regresyon Sonucu

Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,989743				
R Kare	0,979592				
Ayarlı R Kare	0,959184				
Standart Hata	0,816497				
Gözlem	3				
ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	1	32	32	48	0,0912579
Fark	1	0,666666667	0,6667		
Toplam	2	32,66666667			
	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*
Kesişim	46,33	1,25	37,15	0,02	30,49
X Değişkeni 1	4,00	0,58	6,93	0,09	-3,34

Tablo A.2. Holt Yöntemi Uygulanırken İlk Seviye ve Eğilimin Belirlenmesinde Kullanılan ve "Excel" Yardımı ile Yapılan Regresyon Uygulaması

Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,45				
R Kare	0,20				
Ayarlı R Kare	0,12				
Standart Hata	7,37				
Gözlem	12,00				
ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	1,00	137,06	137,06	2,52	0,14
Fark	10,00	543,60	54,36		
Toplam	11,00	680,67			
	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*
Kesişim	58,70	4,54	12,94	0,00	48,59
X Değişkeni 1	-0,98	0,62	-1,59	0,14	-2,35

Tablo A.3. Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilen Holt Yöntemi Uygulanırken İlk Seviye ve Eğilimin Belirlenmesinde Kullanılan ve "Excel" Yardımı ile Yapılan Regresyon Uygulaması

Regresyon İstatistikleri						
Çoklu R	0,657143					
R Kare	0,431837					
Ayarlı R Kare	0,289796					
Standart Hata	1,576615					
Gözlem	6					
ANOVA						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*	
Regresyon	1	7,557143	7,557143	3,04023	0,156175	
Fark	4	9,942857	2,485714			
Toplam	5	17,5				
	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*
Kesişim	7,800	1,468	5,314	0,006	3,725	11,875
X Değişkeni 1	-0,657	0,377	-1,744	0,156	-1,704	0,389

Tablo A.4. Tezde Önerilen Şekilde Son Üç Aylık Veriye Uygulanan Regresyon

Regresyon İstatistikleri						
Çoklu R	0,5					
R Kare	0,25					
Ayarlı R Kare	-0,5					
Standart Hata	1,224745					
Gözlem	3					
ANOVA						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*	
Regresyon	1	0,5	0,5	0,333333	0,666667	
Fark	1	1,5	1,5			
Toplam	2	2				
	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*
Kesişim	3	1,871	1,604	0,355	-20,771	26,771
X Değişkeni 1	0,5	0,866	0,577	0,667	-10,504	11,504

EK B. CPLEX ÇÖZÜCÜSÜ GİRDİ, MODEL VE ÇIKTI DOSYALARI

```
 int fabrika_sayisi=...;

 int depo_sayisi=...;

 float maliyet[1..fabrika_sayisi][1..depo_sayisi]=...;

 float arz[1..fabrika_sayisi]=...;

 float talep[1..depo_sayisi]=...;

 dvar int+ x[1..fabrika_sayisi][1..depo_sayisi];

 minimize
 sum (i in 1..fabrika_sayisi) sum (j in 1..depo_sayisi) maliyet[i][j
]*x[i][j];

 subject to {
   forall(i in 1..fabrika_sayisi)
     sum(j in 1..depo_sayisi)x[i][j]==arz[i];
     forall(j in 1..depo_sayisi)
     sum(i in 1..fabrika_sayisi)x[i][j]==talep[j];
 }
```

Şekil B.1. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan “cplex” Çözücüsü Modeli

```
fabrika_sayisi=4;

depo_sayisi=5;

 maliyet=[[40,45,50,55,0],[500,42,47,52,0],[500,500,44,49,0],[500,50
0,500,46,0]];

arz=[25,25,25,25];

talep=[12,12,12,12,52];
```

Şekil B.2. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan “cplex” Çözücüsü Modelin Girdi Dosyası

```
// solution (optimal) with objective 2064
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                                  2.0640000000e+003
// MILP solution norm |x| (Total, Max)             1.00000e+002
1.30000e+001
// MILP solution error (Ax=b)
(Total, Max)       0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP
x bound error (Total, Max)                 0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP
x integrality error (Total, Max)           0.00000e+000 0.00000e+000
//
MILP slack bound error (Total, Max)             0.00000e+000 0.00000e+
000
//

x = [[12
             0 0 0 13]
             [0 12 0 0 13]
             [0 0 12 0 13]
             [0 0 0 12 13]];
```

Şekil B.3. Eşdeğer Ulaştırma Problemi İçin Yazılan "cplex" Çözücüsü Modelinin Çıktı Dosyası

```
// solution (optimal) with objective 946.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective
9.4650000000e+002
// MILP solution norm |x| (Total, Max)
7.70000e+001 8.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
X = [3
          6 4 5 3 0];
Y = [1 1 1 1 1 0];
IA = [5 8 6 7 5 2];
IE = [2 2 2 2 2 2];
```

Şekil B.4. Önerilen Yeni Model KOBİ'deki Problem İçin Çözüldüğünde Elde Edilen Çıktı Dosyası

```
// solution (optimal) with objective 970.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective
9.7050000000e+002
// MILP solution norm |x| (Total, Max)
8.40000e+001 1.20000e+001
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
//

X = [3
          10 0 5 3 0];
Y = [1 1 0 1 1 0];
IA = [5 12 6 7 5 2];
IE = [2 2 6 2 2 2];
```

Şekil B.5. Önerilen Yeni Model, KOBİ'deki Problem İçin, Beş TL lik Sipariş Başına Sabit Ücret ile Birlikte Çözüldüğünde Elde Edilen Çıktı Dosyası

```
int T=...;

 float c[1..T]=...;

 float s[1..T]=...;

 float h[1..T]=...;

 int D[1..T]=...;

 int I0=...;

 int A[1..T]=...;

 int U[1..T]=...;

 int E[1..T]=...;

 int IS=...;

 float kh=...;

 float MH=...;

 dvar int+ X[1..T];

 dvar int+ Y[1..T];

 dvar int+ IA[1..T];

 dvar int+ IE[1..T];

 minimize (sum(t in 1..T)(c[t]*X[t]+s[t]*Y[t]))+(sum(t in
2..T)(0.5*h[t]*(IA[t-1]+IE[t])))+0.5*h[1]*(I0+IE[1]);

 subject to{
 I0-D[1]==IE[1];
 forall (t in 1..T) IE[t]+X[t]==IA[t];
 forall (t in 1..(T-1)) IA[t]-D[t+1]==IE[t+1];
 forall (t in 1..T) X[t]<=U[t]*Y[t];
 forall (t in 1..T) X[t]>=A[t]*Y[t];
 forall (t in 1..T) IE[t]>=E[t];
 IA[T]>=IS;
 forall (t in 1..T) kh*IA[t]<=MH;
 }
```

Şekil B.6. Yeni Matematik Modelin “cplex” Çözücüsünde Yazılması

```
T=6;

 c=[40,40,42,42,42,43];

 s=[5,5,5,5,5,5];

 h=[3,3,3,4,4,4];

 D=[2,3,6,4,5,3];

 I0=4;

 A=[0,0,0,0,0,0];

 U=[30,30,30,30,30,30];

 E=[2,2,2,2,2,2];

 IS=2;

 kh=15;

 MH=180;
```

Şekil B.7. “Cplex” Çözücüsünde Yazılan Modelin Girdi Dosyası

```
int T=...;
float c[1..T]=...;
float c2[1..T]=...;
float s[1..T]=...;
float h[1..T]=...;
int D[1..T]=...;
int I0=...;
int A[1..T]=...;
int U[1..T]=...;
int E[1..T]=...;
int IS=...;
float kh=...;
float MH=...;
dvar int+ X[1..T];
dvar boolean ye[1..T];
dvar float+ z[1..T];
dvar int+ Y[1..T];
dvar int+ IA[1..T];
dvar int+ IE[1..T];
minimize (sum(t in 1..T)(((c2[t]-
c[t])*z[t])+c[t]*X[t]+s[t]*Y[t]))+(sum(t in
2..T)(0.5*h[t]*(IA[t-1]+IE[t])))+0.5*h[1]*(I0+IE[1]);
subject to{
forall (t in 1..T)X[t]>=4.2*ye[t];
forall (t in 1..T)X[t]-50*ye[t]<=4;
forall (t in 1..T)z[t]<=50*ye[t];
forall (t in 1..T)z[t]<=X[t];
forall (t in 1..T)z[t]-X[t]-50*ye[t]>=-50;
I0-D[1]==IE[1];
forall (t in 1..T) IE[t]+X[t]==IA[t];
forall (t in 1..(T-1)) IA[t]-D[t+1]==IE[t+1];
forall (t in 1..T) X[t]<=U[t]*Y[t];
forall (t in 1..T) X[t]>=A[t]*Y[t];
forall (t in 1..T) IE[t]>=E[t];
IA[T]>=IS;
forall (t in 1..T) kh*IA[t]<=MH;
}
```

Şekil B.8. Mal Fazlası İndirimini de İçeren Matematik Modelin “cplex” te Yazılması

```
// solution (optimal) with objective 812.3
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective
8.1230000000e+002
// MILP solution norm |x| (Total, Max)
1.17000e+002 1.20000e+001
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)
4.44089e-016 4.44089e-016
// MILP x integrality error (Total, Max)
3.99680e-015 8.88178e-016
// MILP slack bound error (Total, Max)
2.13163e-014 2.13163e-014
//

z = [5
          8 0 8 0 0];
X = [5 8 0 8 0 0];
Y = [1 1 0 1 0 0];
IA = [7 12 6 10 5 2];
IE = [2 4 6 2 5 2];
ye = [1 1 0 1 0 0];
```

Şekil B.9. Mal Fazlası İndirimini de İçeren Matematik Modelin Çıktı Dosyası

```
int T=...;
float c[1..T]=...;
float s[1..T]=...;
float h[1..T]=...;
int D[1..T]=...;
int I0=...;
int A[1..T]=...;
int U[1..T]=...;
int E[1..T]=...;
int IS=...;
float kh=...;
float MH=...;
dvar int+ X[1..T];
dvar int+ Y[1..T];
dvar boolean y1[1..T];
dvar boolean y2[1..T];
dvar boolean y3[1..T];
dvar boolean y4[1..T];
dvar int+ IA[1..T];
dvar int+ IE[1..T];
minimize (sum(t in 1..T)(c[t]*X[t]+s[t]*Y[t]-
c[t]*y1[t]-c[t]*y2[t]-c[t]*y3[t]-c[t]*y4[t]))+(sum(t in
2..T)(0.5*h[t]*(IA[t-1]+IE[t])))+0.5*h[1]*(I0+IE[1]);

subject to{
forall (t in 1..T)X[t]>=4.2*y1[t];
forall (t in 1..T)X[t]<=4+50*y1[t];
forall (t in 1..T)X[t]>=9.2*y2[t];
forall (t in 1..T)X[t]<=9+50*y2[t];
forall (t in 1..T)X[t]>=14.2*y3[t];
forall (t in 1..T)X[t]<=14+50*y3[t];
forall (t in 1..T)X[t]>=19.2*y4[t];
forall (t in 1..T)X[t]<=19+50*y4[t];
I0-D[1]==IE[1];
forall (t in 1..T) IE[t]+X[t]==IA[t];
forall (t in 1..(T-1)) IA[t]-D[t+1]==IE[t+1];
forall (t in 1..T) X[t]<=U[t]*Y[t];
forall (t in 1..T) X[t]>=A[t]*Y[t];
forall (t in 1..T) IE[t]>=E[t];
IA[T]>=IS;
forall (t in 1..T) kh*IA[t]<=MH;
}
```

Şekil B.10. “Cplex” de Yazılan Dörde Bir Mal Fazlası Durumu İçin Model

```
// solution (optimal) with objective 829.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective
8.2950000000e+002
// MILP solution norm |x| (Total, Max)
9.60000e+001 1.00000e+001
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)
0.00000e+000 0.00000e+000
//

X = [5
          5 5 6 0 0];
Y = [1 1 1 1 0 0];
y1 = [1 1 1 1 0 0];
y2 = [0 0 0 0 0 0];
y3 = [0 0 0 0 0 0];
y4 = [0 0 0 0 0 0];
IA = [7 9 8 10 5 2];
IE = [2 4 3 4 5 2];
```

Şekil B.11. “Cplex” in Dörde Bir Mal Fazlası Durumu İçin Verdiği Çözüm

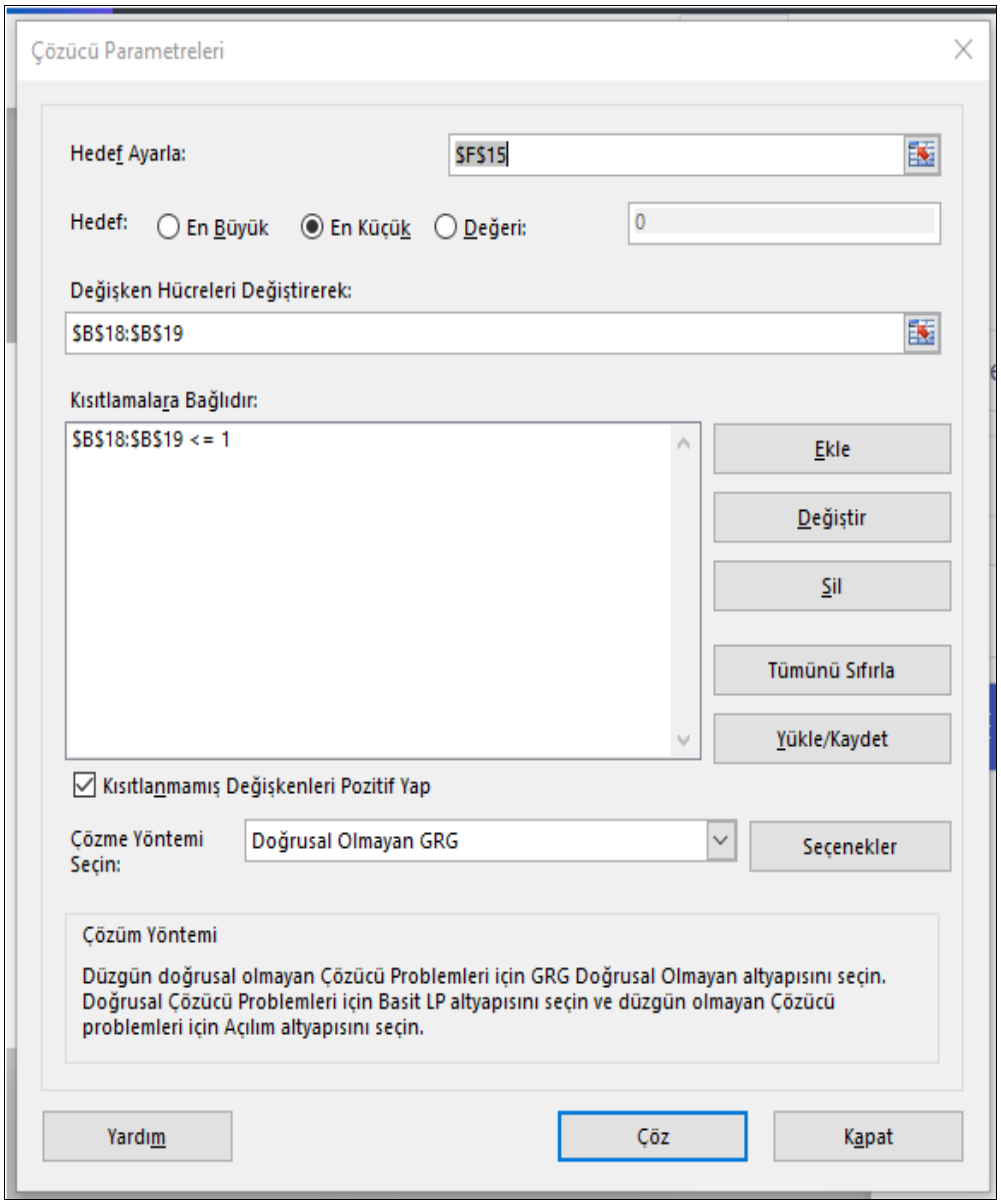
EK C. TALEP TAHMİNİ HESAPLAMALARININ İŞLEM AYRINTILARI

Tablo C.1. Hareketli Ortalama ve Üstel Düzeltmeler Yöntemlerinin Tahmin Yapılırken Hesaplama Ayrıntıları

Ay	Ciro (bin TL)	Har. Ort.	Üstel Düz.
1	66		
2	64		66
3	56		(0.9*64+0.1*66)=64,2
4	52	(66+64+56)/3=62	(0.9*56+0.1*64,2)=56,82
5	50	(64+56+52)/3=57,33333333	(0.9*52+0.1*56.82)=52,482
6	48	(56+52+50)/3=52,66666667	(0.9*50+0.1*52,482)=50,2482
7	44	(52+50+48)/3=50	(0.9*48+0.1*50,2482)=48,22482
8	40	(50+48+44)/3=47,33333333	(0.9*44+0.1*48,22482)=44,42248
9	45	(48+44+40)/3=44	(0.9*40+0.1*44,42248)=40,44225
10	50	(44+40+45)/3=43	(0.9*45+0.1*40,44225)=44,54422
11	55	(40+45+50)/3=45	(0.9*50+0.1*44,54422)=49,45442
12	58	(45+50+55)/3=50	(0.9*55+0.1*49,45442)=54,44544

Tablo C.2. Holt Yönteminin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanmasının İşlem Ayrıntıları

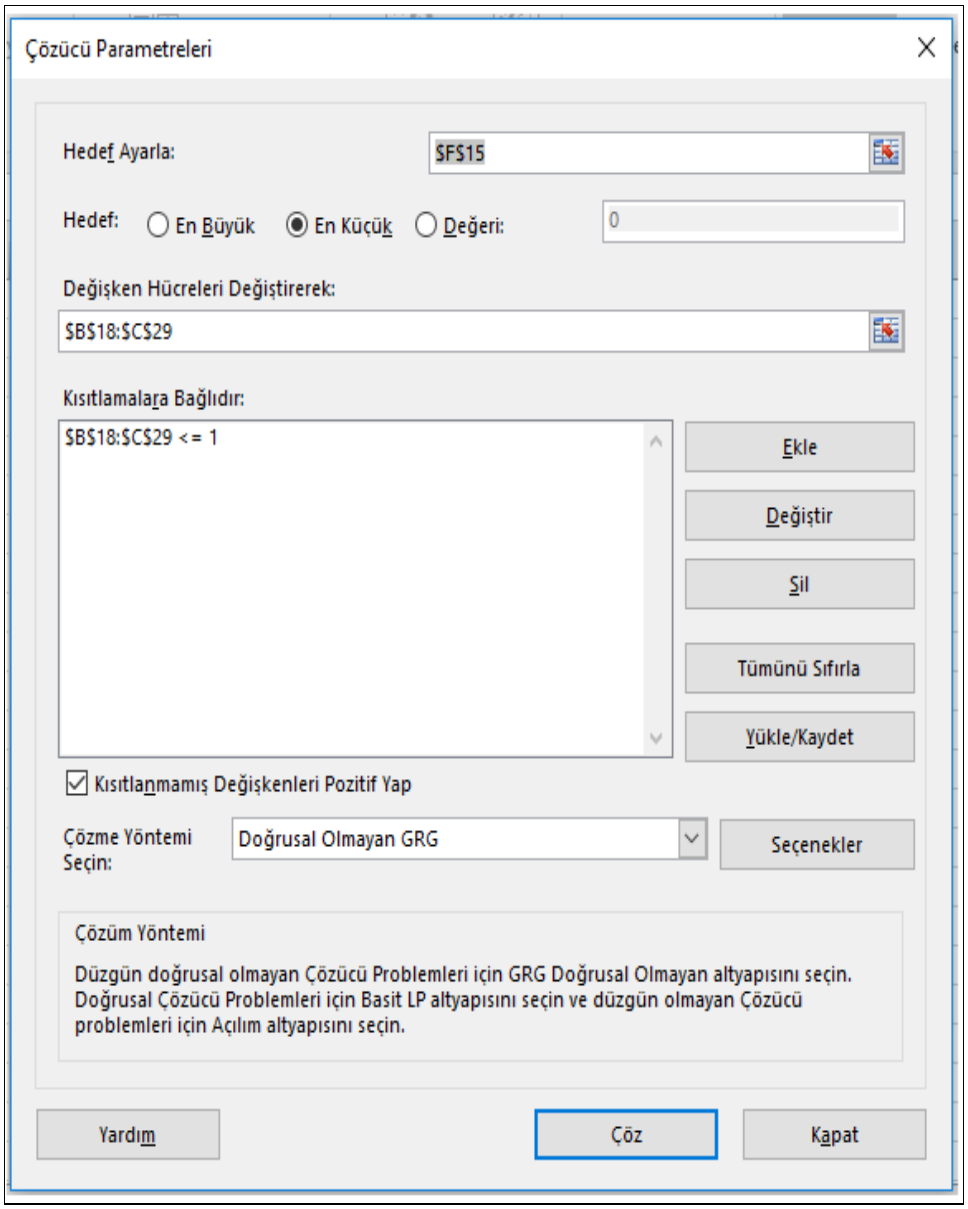
Ay	Seviye	Eğilim	Tahmin
1	α×66+(1-α)×(58,7-0,98)	β×(66-58,7)+(1-β)×-0,98	58,7-0,98
2	α×64+(1-α)×68,76	β×(64-66)+(1-β)×2,76	66+2,76
3	α×56+(1-α)×64,61	β×(56-64)+(1-β)×0,61	64+0,61
4	α×52+(1-α)×52,72	β×(52-56)+(1-β)×-3,28	56-3,28
5	α×50+(1-α)×48,39	β×(50-52)+(1-β)×-3,61	52-3,61
6	α×48+(1-α)×47,12	β×(48-50)+(1-β)×-2,88	50-2,88
7	α×44+(1-α)×45,52	β×(44-48)+(1-β)×-2,48	48-2,48
8	α×40+(1-α)×40,83	β×(40-44)+(1-β)×-3,17	44-3,17
9	α×45+(1-α)×36,46	β×(45-40)+(1-β)×-3,54	40-3,54
10	α×50+(1-α)×45,32	β×(50-45)+(1-β)×0,32	45+0,32
11	α×55+(1-α)×52,43	β×(55-50)+(1-β)×2,43	50+2,43
12	α×58+(1-α)×58,59	β×(58-55)+(1-β)×3,59	55+3,59



Şekil C.1. KOBİ'nin Ciro Tahmini Holt Yöntemi ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği

Tablo C.3. Holt Yönteminin Tezde Önerilen Şekilde Geliştirilmiş Halinin KOBİ'nin Ciro Tahmini Problemine Uygulanmasının İşlem Ayrıntıları

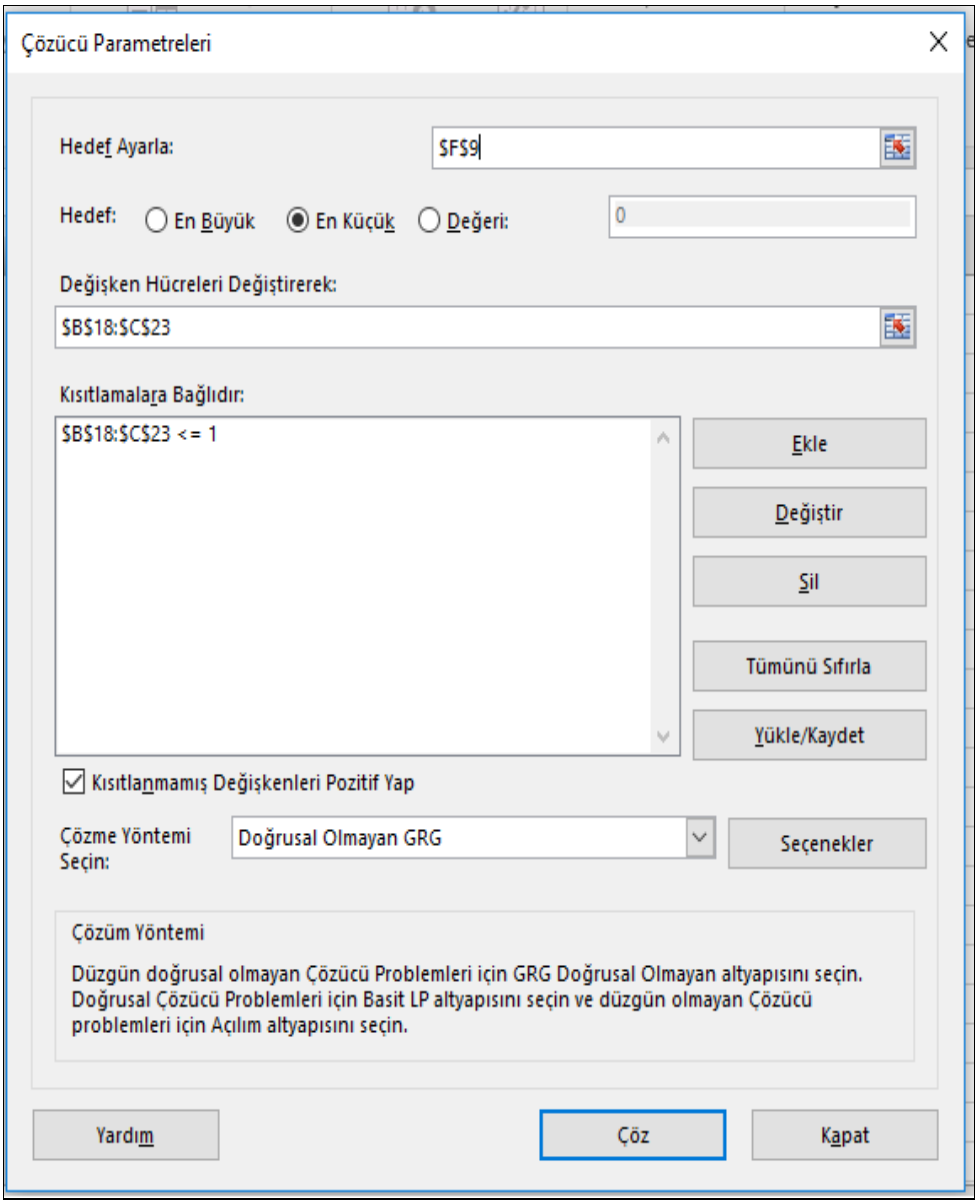
Ay	Seviye	Eğilim	Tahmin
1	α_1×66+(1-α_1)×(58,7-0,98)	β_1×(61,45-58,7)+(1-β_1)×-0,98	58,7-0,98
2	α_2×64+(1-α_2)×60,47	β_2×(60,47-61,45)+(1-β_2)×-0,98	61,45-0,98
3	α_3×56+(1-α_3)×59,49	β_3×(56-60,47)+(1-β_3)×-0,98	60,47-0,98
4	α_4×52+(1-α_4)×54,12	β_4×(52-56)+(1-β_4)×-1,88	56-1,88
5	α_5×50+(1-α_5)×50,12	β_5×(50-52)+(1-β_5)×-1,88	52-1,88
6	α_6×48+(1-α_6)×48,12	β_6×(48-50)+(1-β_6)×-1,88	50-1,88
7	α_7×44+(1-α_7)×46,12	β_7×(44,19-48)+(1-β_7)×-1,88	48-1,88
8	α_8×40+(1-α_8)×42,30	β_8×(42,3-44,19)+(1-β_8)×-1,88	44,19-1,88
9	α_9×45+(1-α_9)×40,42	β_9×(45-42,3)+(1-β_9)×-1,88	42,3-1,88
10	α_{10}×50+(1-α_{10})×47,70	β_{10}×(50-45)+(1-β_{10})×2,70	45+2,70
11	α_{11}×55+(1-α_{11})×54,07	β_{11}×(54,41-50)+(1-β_{11})×4,07	50+4,07
12	α_{12}×58+(1-α_{12})×58,48	β_{12}×(58,48-54,41)+(1-β_{12})×4,07	54,41+4,07



Şekil C.2. KOBİ'nin Ciro Tahmini Holt Yönteminin Geliştirilmiş Hali ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği

Tablo C.4. KOBİ'de Altı Aylık Talebin Tezde Önerilen Şekilde İyileştirilmiş Holt Yöntemi ile Tahmin Edilmesi Tablosunun İşlem Ayrıntıları

Ay	Seviye	Eğilim	Tahmin
1	α_1×6+(1-α_1)×(7,8-0,657)	(1-β_1)×(7,143-7,8)+(1-β_1)×-0,657	7,8-0,657
2	α_2×8+(1-α_2)×6,486	(1-β_2)×(6,495-7,143)+β_2×-0,657	7,143-0,657
3	α_3×7+(1-α_3)×5,84	(1-β_3)×(5,84-6,495)+β_3×-0,655	6,495-0,655
4	α_4×4+(1-α_4)×5,185	(1-β_4)×(4,983-5,84)+β_4×-0,655	5,84-0,655
5	α_5×3+(1-α_5)×4,328	(1-β_5)×(4,328-4,983)+β_5×-0,655	4,983-0,655
6	α_6×5+(1-α_6)×3,673	(1-β_6)×(4,336-4,328)+β_6×-0,655	4,328-0,655



Şekil C.3. KOBİ'nin Talep Tahmini Holt Yönteminin Geliştirilmiş Hali ile Yapılırken Excel Çözücüsünün İçeriği

KAYNAKÇA

Alawneh, F. & G. Zhang. "Dual-Channel Warehouse and Inventory Management with Stochastic Demand," **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 112: 84-106, Nisan 2018.

Alvarado, M. G., M. Paquet., A. Chaabane & L. Amodeo. "Inventory Management Under Joint Product Recovery and Cap-and-trade Constraints," **Journal of cleaner Production**. 167: 1499-1517, 2017.

Amara, F., K. Agbossou & Y. Dube. "Household Electricity Demand Forecasting Using Adaptive Conditional Density Estimation," **Energy and Buildings**. 156: 271-280, Aralık 2017.

Ancarani, A., C. D. Mauro & D. D'urso. "Measuring Overconfidence in Inventory Management Decisions," **Journal of Purchasing and Supply Management**. 22: 171-180, eylül 2016.

Askin, R. G. & C. R. Standridge. **Modelling and Analysis of Manufacturing Systems**. John Wiley & Sons, 1993

Baecke, P., S. D. Baets & K. Vanderheyden. "Investigating the Added Value of Integrating Human Judgement into Statistical Demand Forecasting Systems," **International Journal of Production Economics**. 191: 85-96, eylül 2017.

Balçık, B., C. D. C. Bozkır & O. E. Kundakçıoğlu. "A Litterature Review on Inventory Management in Humanitarian Supply Chains," **Surveys in Operations Research and Mangement Sciense**. 21: 101-116, aralık 2016.

Bazaraa, M. S., C. C. Jarvis & H. D. Sherali. **Lineer Programming and Network Flows**. 4. Wiley, 2010

Bazaraa, S. B., H. D. Sherali & C. M. Shetty. **Nonlinear Programming Theory and Algorithms**. üçüncü. Wiley, 2006

Bergman, J. J., J. S. Noble, R. G. McGarvey & R. L. Bradley. "A Bayesian Approach to Demand Forecasting for New Equipment Programs," **Robotics and Computer Integrated Manufactoring**. 47: 17-21, ekim 2017.

Bertsekas, D. P. **Nonlinear Programming**. ikinci. Athena Scientific, 1999

Bitran, G. R. & H. H. Yanasse. "Computational Complexity of the Capacitated Lot Size Problem," **Management Sciense**. 28: 1174-1186, 1982.

Brentan, B. M., E. Luvizotto & M. Herrera. "Hybrid Regression Model for Near Real-Time Urban Water Demand Forecasting," **Journal of Computational and Applied Mathematics**. 309: 532-541, ocak 2017.

Chandra, S., M. Christiansen & K. Fagerholt. "Combined Fleet Deployment and Inventory Management in Roll-on/roll-off Shipping," **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 92: 43-55, ağustos 2016.

Dabiri, N., M. J. Tarokh & M. Alinaghian. "New Mathematical Model for the Bi-Objective Inventory Routing Problem with a Step Cost Function: A multi-objective

Particle Swarm Optimization Solution Approach," **Applied Mathematical Modelling**. 49: 302-318, 2017.

Dai, Z., F. Aqlan & K. Gao. "Optimizing Multi-echelon Inventory with Three types of Demand in Supply Chain ," **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 107: 141-177, 2017.

Fiestras-Janeiro, M. G., I. Garcia-Jurado, A. Meca & M. A. Mosquera. "Cooperative Game Theory and Inventory Management," **European Journal of Operational Research**. 210: 459-466, mayıs 2011.

Florian, M., J. K. Lenstra & A. H. G. Rinnoy Kan. "Deterministic Production Planning: Algorithms and Complexity," **Management Sciense**. 26, 7: 669-679, 1980.

Ghanbari, A., S. M. R. Kazemi, F. Mehmanpazir & M. M. Nakhostin. "A Cooperative Ant Colony Optimization Genetic Algorithm Approach for Construction of Energy Demand Forecasting Knowledge Based Expert Systems," **Knowledge Based Systems**. 39: 194-206, şubat 2013.

Guo, F., J. Diao, Q. Zhao, D. Wang & Q. Sun. "A Double-Level Combination Approach for Demand Forecasting of Repairable Airplane Spare Parts Based on Turnover Data," **Computers & Industrial Engineering**. 110: 92-108, ağustos 2017.

Hax, A. C. & D. Candea. **Production and Inventory Management**. New Jersey: Prentice Hall, 1984

Hillier, F. S. & G. J. Lieberman. **Introduction to Operations Research**. 9. New York: Mc Graw Hill, 2010

Holt, C. C. *Forecasting Trends and Seasonals by Exponentially Weighed Averages*. ONR memorandum. Pittsburgh: 1957.

Huber, J., A. Gossmann & H. Stuckenschmidt. "Cluster-based Hierarchical Demand Forecasting for Perishable Goods," **Expert Systems with Applications**. 76: 140-151, haziran 2017.

Jha, A., K. Fernandes, Y. Xiong, J. Nie & N. Agarwal. "Effects of Demand Forecast and Resource Sharing on Collaborative New Product Development in Supply Chain," **International Journal of Production Economics**. 193: 207-221, kasım 2017.

Karadede, Y., G. Özdemir & E. Aydemir. "Breeder Hybrid Algorithm Approach for Natural Gas Demand Forecasting Model," **Energy**. 141: 1269-1284, aralık 2017.

Kim, T. Y., R. Dekker & C. Heij. "Spare Part Demand Forecasting for Consumer Goods Using Installed Base Information," **Computers & Industrial Engineering**. 103: 201-215, ocak 2017.

Kobu, B. **Üretim Yönetimi**. 16. Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., 2013

Kozlowski, E., B. Kowalska, D. Kowalski & D. Mazurkiewics. "Water Demand Forecasting by Trend and Harmonic Analysis," **Archives of Civil and Mechanical Engineering**. 18: 140-148, ocak 2018.

Laouafi, A., M. Mardjaoui & S. Haddad. "Online Electricity Demand Forecasting Based on Effective Forecast Combination Methodology," **Electric Power Systems Research**. 148: 35-47, temmuz 2017.

Lee, M. "Modeling and Forecasting Hotel Room Demand Based on Advance Booking Information," **Tourism Management**. 66: 62-71, haziran 2018.

Lida, T. "Benefits of Leadtime Information and of its Combination with Demand Forecast Information," **International Journal of Production Economics**. 163: 146-156, mayıs 2015.

Li, Z. & Q. Fu. "Robust Inventory Management with Stock-out Substitution," **International Journal of Production Economics**. 193: 813-826, kasım 2017.

Lourenço, A. S., A. A. Campos & M. S. Oliveira. "Increased Performance in the Short Term Water Demand Forecasting Through the Use of a Parallel Adaptive Weighing Strategy," **Journal of Hydrology**. 558: 392-404, mart 2018.

Moradi, S. & S. A. Mirhassani. "Transportation Planning for Petroleum Products and Integrated Inventory Management," **Applied Mathematical Modelling**. 39: 7630-7642, aralık 2015.

Murray, P. W., B. Agard & M. A. Barajas. "Forecast of Individual Customer's Demand from a Large and Noisy Dataset," **Computers and Industrial Engineering**. 118: 33-43, nisan 2018.

Piltan, M., H. Shiri & S. F. Ghaderi. "Energy Demand Forecasting in Iranian Metal Industry Using Linear and Nonlinear Models Based on Evolutionary Algorithms," **Energy Conversion and Management**. 58: 1-9, haziran 2012.

Poppe, J., R. J. I. Basten, R. N. Boute & M. R. Lambrecht. "Numerical Study of Inventory Management Under Various Maintenance Policies," **Reliability Engineering and System Safety**. 168: 262-273, aralık 2017.

Prak, D., R. Teunter & A. Syntetos. "On the Calculation of Safety Stocks when Demand is Forecasted," **European Journal of Operational Research**. 256: 454-461, ocak 2017.

Qiu, Y., J. Qiao & P. M. Pardalos. "Optimal Production, Replenishment, Delivery, Routing and Inventory Management Policies for Products with Perishable Inventory," **Omega**. ocak 2018.

Rahdar, M., L. Wang & G. Hu. "A tri-level Optimization Model for Inventory Control with Uncertain Demand and Lead Time," **International Journal of Production Economics**. 195: 96-105, 2018.

Siddiqui, A., M. Verma & V. Verter. "An Integrated Framework for Inventory Management and Transportation of Refined Petroleum Products: Pipeline or Marine," **Applied Mathematical Modelling**. 55: 224-247, mart 2018.

Silver, E. A. & R. Peterson. **Decision Systems for Inventory Management and Production Planning**. New York: John Wiley and Sons, 1985

Taha, H. A. **Operations Research an Introduction**. 9. Pearson, 2011

Tersine, R. J. **Principles of Inventory and Materials Management**. New Jersey: Prentice Hall, 1994

Tompkins, J. A., J. A. White, Y. A. Bozer & J. M. Tanchoco. **Facilities Planning**. 4. John Wiley & Sons, 2010

Torkul, O., R. Yılmaz, İ. H. Selvi & M. R. Cesur. "A Real-time Inventory Model to Manage Variance of Demand for Decreasing Inventory Holding Cost," **Computers & Industrial Engineering**. 102: 435-439, 2016.

Tratar, L. F., B. Mojkerc & A. Toman. "Demand Forecasting with Four-parameter Exponential Smoothing," **International Journal of Production Economics**. 181: 162-173, kasım 2016.

Valencia, J. A., L. H. Barrero, D. Önkal & J. T. Dennerlein. "Expertise, Credibility of System Forecasts and Integration Methods in Judgmental Demand Forecasting," **International Journal of Forecasting**. 33: 298-313, mart 2017.

Williams, H. P. **Model Building in Mathematical Programming**. üçüncü. John Wiley & Sons, 1993

Wolsey, L. A. & G. L. Nemhauser. **Integer and Combinatorial Optimization**. Wiley, 1999

Ye, T. "Inventory Management with simultaneously Horizontal and Vertical Substitution," **International Journal of Production Economics**. 156: 316-324, ekim 2014.