

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Serap AKCAN

**HASTANE SİSTEMLERİNDE ÇOKLU MALZEME DURUMU İÇİN
SİMÜLASYON META-MODELLEMESİNE DAYALI STOK
OPTİMİZASYONU**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASTANE SİSTEMLERİNDE ÇOKLU MALZEME DURUMU İÇİN
SİMÜLASYON META-MODELLEMeye DAYALI STOK
OPTİMİZASYONU**

Serap AKCAN

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez/...../2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza.....
Doç.Dr. Ali KOKANGÜL
DANIŞMAN

İmza.....
Prof.Dr.Rızvan EROL
ÜYE

İmza.....
Prof.Dr.Necdet GEREN
ÜYE

İmza.....
Prof.Dr.Tahir KHANIYEV
ÜYE

İmza.....
Prof.Dr.Hamza EROL
ÜYE

**Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:**

**Prof. Dr.İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeler Birimi Tarafından
Desteklenmiştir.
Proje No:MMF2006D22**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

HASTANE SİSTEMLERİNDE ÇOKLU MALZEME DURUMU İÇİN SİMÜLASYON META-MODELLEMeye DAYALI STOK OPTİMİZASYONU

Serap AKCAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL

Yıl: 2010, Sayfa: 174

Jüri : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL

: Prof. Dr. Rızvan EROL

: Prof. Dr. Necdet GEREN

: Prof. Dr. Tahir KHANİYEV

: Prof. Dr. Hamza EROL

Çalışmanın ilk aşamasında hastane sistemlerinde tek malzemeli envanter sistemi sürekli kontrol envanter politikası (r, Q) kullanılarak çalışılmıştır. Bir hastanede herhangi bir malzemeye olan hastaların talebi ünitelerdeki rassal geliş oranına ve rassal yatış süresi oranına bağlıdır. Bu da malzemeye olan ihtiyaç miktarının stokastik bir süreç göstermesine neden olur. Bu stokastik süreç r ve Q düzeylerinin belirlenmesi problemini oldukça zorlaştırır. Bu çalışmada, ortalama elde bulundurulmuş malzeme miktarı ve ortalama yıllık sipariş sayısı fonksiyonlarının elde edilmesi amacıyla birim hasta için günlük malzeme tüketim, hasta geliş ve hasta yatış dağılımları kullanılarak simülasyon meta-model kurulmuştur. Daha sonra, toplam maliyeti minimize edecek optimum r ve Q düzeyleri tamsayı non-lineer matematiksel modelleme kullanılarak elde edilmiş ve bir örnek olay incelemesi sunulmuştur.

İkinci aşamada ise hastane sistemlerinde çoklu malzeme durumu için envanter problemi stokastik talep ve anlık tedarik süresi koşullarında sürekli ve periyodik kontrol politikalarının birleşimi ile incelenmiştir.

Çalışmada son olarak, stokastik talep ve stokastik tedarik süresi durumunda tedarik süresince oluşan talebin dağılımı hem analitik olarak hem de simülasyon modeli ile elde edilmiştir. Model, farklı servis düzeylerinde tekrar sipariş verme miktarlarının belirlenmesi ile zenginleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sağlık sistemleri, Envanter kontrol, (r, Q) politikası, Tamsayı non-lineer programlama, Simülasyon meta-modelleme

ABSTRACT

PhD THESIS

STOCK OPTIMIZATION BASED ON SIMULATION META-MODELING FOR MULTIPLE-ITEM CASE IN HOSPITAL SYSTEMS

Serap AKCAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Ali KOKANGÜL
Year: 2010, Pages: 174
Jury : Assoc. Prof. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Prof. Dr. Necdet GEREN
: Prof. Dr. Tahir KHANİYEV
: Prof. Dr. Hamza EROL

In first stage of this study, a single-item inventory system for hospital systems was studied using a continuous review (r, Q) policy. Demand for any material of patients in a hospital depends on random arrival rate and random length of stay in units. Therefore, the demand for any material is a stochastic process. This stochastic process makes determining optimal levels for r and Q more difficult. In this study, a simulation meta-model is constructed to obtain equations for the average on hand inventory and average number of orders per year. Then, the optimal levels of r and Q , which minimize the total cost, are obtained using an integer non-linear model and a case study is presented.

In second stage, inventory problem for multiple-item case in hospital systems was investigated by combining the continuous and periodic control policies under the stochastic demand and instantaneous lead time.

Finally, distribution of demand during lead time was obtained both using analytical approach and simulation model under stochastic demand and lead time. The model was enhanced to determine the reorder quantities of different service levels.

Key Words: Healthcare systems, Inventory control, (r, Q) policy, Integer non-linear programming, Simulation meta-modeling

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bana her konuda yardımcı olan ve tezin her aşamasında bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Ali KOKANGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Tez metnin iyileştirilmesi ve zenginleştirmesindeki katkılarından dolayı sayın hocalarım Prof. Dr. Rızvan Erol'a, Prof. Dr. Necdet Geren'e, Prof. Dr. Tahir Khaniyev'e ve Prof. Dr. Hamza Erol'a teşekkür ederim.

Çalışmanın uygulama aşamasında, gerekli verileri sağlayarak yardımcı olan Prof. Dr. Nejat Narlı'ya ve Balcalı Hastanesi Yeni Doğan Bakım Ünitesi personeline teşekkür ederim.

Çalışmama katkıları olan arkadaşlarım Metin Özşahin, Ayfer Özkan, Elif Ulusal ve Özgür Yalçinkaya'ya teşekkür ederim.

Çalışma süresince her konuda desteğini esirgemeyen aileme en içten sevgilerim ile çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı ve Önemi.....	3
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	6
1.3. Çalışmanın Adımları.....	8
1.4. Orijinal Katkıları.....	10
1.5. Tez Organizasyonu.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Üretim Sektöründe Envanter Yönetimi.....	13
2.2. Sağlık Sektöründe Envanter Yönetimi.....	25
2.3. Sağlık Sektöründe Simülasyon Çalışmaları.....	27
2.4. Literatürün Genel Değerlendirilmesi.....	29
3. MATERYAL VE METOD.....	31
3.1. Materyal.....	31
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler.....	31
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....	32
3.2. Metod.....	35
3.2.1. Çalışmada Kullanılan Metotlar.....	35
3.2.2. ABC Analizi.....	36
3.2.3. İstatistiksel Analiz.....	38
3.2.3.1. Olasılık Dağılımlarının Seçimi.....	38
3.2.3.2. Çalışmada Gerekli Olasılık Dağılımları.....	39
3.2.4. Envanter Modelleri.....	40

3.2.4.1. Envanter Maliyetleri ve İlgili Değişkenler.....	40
3.2.4.2. Deterministik Envanter Modelleri.....	42
3.2.4.3. Stokastik Envanter Modelleri.....	43
3.2.4.4. Çalışmada İncelenen Envanter Modelleme Politikası	44
3.2.5. Simülasyon Modelleme.....	45
3.2.6. Simülasyon Çıktılarının Analizi.....	46
3.2.6.1. Simülasyon Uzunluğu.....	46
3.2.6.2. Isınma Periyodu.....	46
3.2.6.3. Replikasyon Sayısının Belirlenmesi.....	47
3.2.6.4. Standart Hata.....	48
3.2.6.5. Simülasyon Modelinin Doğruluğu ve Geçerliliği	48
3.2.7. Tepki Yüzeyleri ve Simülasyon Meta-modelleme.....	49
3.2.7.1. Simülasyon Meta-modelleme Prosedürü ve Yapısı.....	50
3.2.7.2. Regresyon Analizi	51
3.2.8. Matematiksel Modelleme.....	52
3.2.9. Çalışmada Geliştirilen Yaklaşım.....	55
3.2.10. Simülasyon Optimizasyon.....	58
3.2.10.1. Metasezgiseller.....	58
3.2.10.1.(1). Yapay Sinir Ağları.....	58
3.2.10.1.(2). Serpme Arama (Scatter Search).....	60
3.2.10.1.(3). Tabu Arama (Tabu Search).....	61
3.2.11. Stokastik Talep İle Çoklu Malzeme Sipariş Verme Problemi.....	63
3.2.12. Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımının Bulunması.....	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67
4.1. Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi.....	67
4.2. Hasta Geliş Verilerinin Analizi.....	69
4.3. ABC Analizi İle Malzeme Seçimi.....	70
4.4. FloGard Filtre Pompa Setinin Hastaneye Alım Süreci.....	72
4.5. İstatistiksel Analiz.....	74
4.6. Simülasyon Modelleme.....	78
4.6.1. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi.....	79

4.6.2. Simülasyon Çıktılarının Analizi.....	80
4.7. Tepki Yüzeyleri ve Simülasyon Meta-modelleme.....	87
4.7.1. T_S ve T_D Değerlerine Bağlı Olarak r Değerinin Bulunması.....	87
4.7.2. r ve Q Değerlerine Bağlı Olarak $\bar{T}$ ve N_O Değerlerinin Bulunması.....	93
4.8. Meta-modellerin Doğruluğu ve Geçerliliği.....	98
4.9. Matematiksel Modelleme.....	99
4.10. Duyarlılık Analizi.....	106
4.11. T_S ve T_D Değişkenlerinin Dışardan Girilmesi Durumunda TDOP.....	121
4.12. Simülasyon Optimizasyon.....	122
4.12.1. Meta-model Kısıtları İle Çalıştırılan Model.....	122
4.12.2. Meta-model Kısıtları Olmadan Kurulan Model.....	125
4.12.3. Yatak Sayısı Optimizasyonu.....	130
4.12.4. Servis Düzeyi Kısıtları İle Kurulan Model.....	136
4.13. Stokastik Talep İle Çoklu Malzeme Sipariş Verme Problemi.....	141
4.14. Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımının Bulunması.....	147
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	149
5.1. Çalışmanın Özeti.....	149
5.2. Araştırma Sonuçları.....	150
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler.....	152
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	161
EKLER	163
EK-1 Envanter Modellerinin Sınıflandırılması.....	164
EK-2 Literatürün Genel Değerlendirmesi.....	165
EK-3 Düzey-1, Düzey-2, Düzey-3 Akış Şemaları.....	168
EK-4 Malzemenin Hastaneye Alım Süreci Akış Diyagramı.....	171
EK-5 İlk Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı.....	172
EK-6 İkinci Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı.....	173
EK-7 YSO İçin Veri Seti.....	174

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
Çizelge 3.1. LINGO Versiyonları.....	34
Çizelge 4.1. A Grubunda Yer Alan 10 Malzeme.....	71
Çizelge 4.2. ABC Analizi İle Malzemelerin Sınıflandırılması.....	72
Çizelge 4.3. Her Bir Düzey İçin Hasta Gelişlerinin Olasılık Dağılımları.....	75
Çizelge 4.4. Her Bir Düzey İçin Reddedilen Hasta Gelişlerinin Olasılık Dağılımları.....	76
Çizelge 4.5. Her Bir Düzey İçin Hasta Yatış Sürelerinin Olasılık Dağılımları.....	76
Çizelge 4.6. Her Bir Düzey İçin Kullanılan Malzeme Miktarlarının Olasılık Dağılımları.....	77
Çizelge 4.7. Her Bir Düzey İçin Gerekli Replikasyon Sayısı.....	84
Çizelge 4.8. $\bar{T}$ ve N_O İçin Gerekli Replikasyon Sayısı.....	85
Çizelge 4.9. Her Bir Düzey İçin Standart Hata Değerleri.....	85
Çizelge 4.10. $\bar{T}$ ve N_O İçin Standart Hata Değerleri.....	86
Çizelge 4.11. T_S , T_D ve r Değerleri Veri Seti.....	89
Çizelge 4.12. r çıktı değişkeni için uygun model seçimi.....	91
Çizelge 4.13. r çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri.....	91
Çizelge 4.14. r çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu.....	92
Çizelge 4.15. r , Q , $\bar{T}$, N_O veri seti.....	94
Çizelge 4.16. $\bar{T}$ çıktı değişkeni için uygun model seçimi.....	95
Çizelge 4.17. $\bar{T}$ çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri.....	95
Çizelge 4.18. $\bar{T}$ çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu.....	96
Çizelge 4.19. N_O çıktı değişkeni için uygun model seçimi.....	96
Çizelge 4.20. N_O çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri.....	97
Çizelge 4.21. N_O çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu.....	97
Çizelge 4.22. r için MBH değerleri.....	99
Çizelge 4.23. Matematiksel modelin çözüm raporu.....	104
Çizelge 4.24. N_O , $\bar{T}$ ve C için MBH değerleri.....	106
Çizelge 4.25. Elde bulundurma maliyetinin değişimi ile oluşan farklılıklar.....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.26.	Sipariş maliyetinin değişimi ile oluşan farklılıklar.....	111
Çizelge 4.27.	Maksimum talep değerinin değişimi ile oluşan farklılıklar.....	115
Çizelge 4.28.	Hazırlık süresinin değişimi ile toplam maliyette oluşan farklılıklar.....	119
Çizelge 4.29.	Teslim süresinin değişimi ile toplam maliyette oluşan farklılıklar.....	120
Çizelge 4.30.	MKİÇM için kontrol değişkeni değerleri.....	123
Çizelge 4.31.	MKİÇM yer alan kısıtlar.....	123
Çizelge 4.32.	MKOKM için kontrol değişkeni başlangıç değerleri.....	126
Çizelge 4.33.	MKOKM için kısıtlar.....	126
Çizelge 4.34.	MKOKM için yeni kontrol değişkeni sınırları1.....	127
Çizelge 4.35.	MKOKM için yeni kontrol değişkeni sınırları2.....	129
Çizelge 4.36.	Mevcut sistem için YS ve SDO.....	131
Çizelge 4.37.	S_1 için MBH değerleri.....	133
Çizelge 4.38.	SDKKM için kontrol değişkeni başlangıç değerleri.....	136
Çizelge 4.39.	SDKKM için kısıtlar.....	137
Çizelge 4.40.	SDKKM için yeni kontrol değişkeni sınırları1.....	138
Çizelge 4.41.	SDKKM için yeni kontrol değişkeni sınırları2.....	139
Çizelge 4.42.	SDKKM için yeni kontrol değişkeni sınırları3.....	139
Çizelge 4.43.	SDKKM için yeni kontrol değişkeni sınırları4.....	140
Çizelge 4.44.	ÇMP için kontrol değişkeni başlangıç değerleri.....	143
Çizelge 4.45.	ÇMP için kısıtlar.....	143
Çizelge 4.46.	ÇMP için yeni kontrol değişkeni sınırları1.....	145
Çizelge 4.47.	ÇMP için yeni kontrol değişkeni sınırları2.....	145
Çizelge 4.48.	ÇMP için yeni kontrol değişkeni sınırları3.....	145
Çizelge 4.49.	ÇMP için yeni kontrol değişkeni sınırları4.....	146

ŞEKİLLER DİZİNİ**SAYFA**

Şekil 1.1.	Malzeme Yönetiminin Önemi.....	4
Şekil 1.2.	N Üniteden Oluşan Bir Araştırma Hastanesinde Hastaların Akışı.....	5
Şekil 3.1.	Çalışmada Kullanılan Metotlar.....	36
Şekil 3.2.	Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli.....	42
Şekil 3.3.	Geliştirilen Yaklaşımın Akış Diyagramı.....	57
Şekil 4.1.	YYBÜ'deki Hastaların Düzeyler Arası Geçişleri.....	68
Şekil 4.2.	Yıllara Göre Hasta Sayısı.....	70
Şekil 4.3.	Malzeme Seçimi İçin ABC Analizi.....	72
Şekil 4.4.	FloGard Filtre Pompa Setinin Hastaneye Alım Süreci.....	74
Şekil 4.5.	Düzey-1 İçin Isınma Periyodu.....	81
Şekil 4.6.	Düzey-2 İçin Isınma Periyodu.....	82
Şekil 4.7.	Düzey-3 İçin Isınma Periyodu.....	82
Şekil 4.8.	Hataların Normal Dağılım Grafiği.....	88
Şekil 4.9.	Değişken- Replikasyon Korelasyon Grafiği.....	90
Şekil 4.10.	Tedarik Süresi İle r Arasındaki İlişki.....	93
Şekil 4.11.	Matematiksel Modelin LINGO Çözümü.....	103
Şekil 4.12.	C_H Değerine Bağlı Olarak C Değerindeki Değişkenlik.....	108
Şekil 4.13.	C_H Değerine Bağlı Olarak N_O Değerindeki Değişkenlik.....	108
Şekil 4.14.	C_H Değerine Bağlı Olarak R Değerindeki Değişkenlik.....	109
Şekil 4.15.	C_H Değerine Bağlı Olarak Q Değerindeki Değişkenlik.....	109
Şekil 4.16.	C_H Değerine Bağlı Olarak $\bar{T}$ Değerindeki Değişkenlik.....	110
Şekil 4.17.	C_H Değerine Bağlı Olarak T_S Değerindeki Değişkenlik.....	110
Şekil 4.18.	C_H Değerine Bağlı Olarak T_D Değerindeki Değişkenlik.....	111
Şekil 4.19.	C_O Değerine Bağlı Olarak C Değerindeki Değişkenlik.....	112
Şekil 4.20.	C_O Değerine Bağlı Olarak N_O Değerindeki Değişkenlik.....	112
Şekil 4.21.	C_O Değerine Bağlı Olarak R Değerindeki Değişkenlik.....	113
Şekil 4.22.	C_O Değerine Bağlı Olarak Q Değerindeki Değişkenlik.....	113
Şekil 4.23.	C_O Değerine Bağlı Olarak $\bar{T}$ Değerindeki Değişkenlik.....	114
Şekil 4.24.	C_O Değerine Bağlı Olarak T_S Değerindeki Değişkenlik.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 4.25.	C_O Değerine Bağlı Olarak T_D Değerindeki Değişkenlik.....	115
Şekil 4.26.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak C Değerindeki Değişkenlik.....	116
Şekil 4.27.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak N_O Değerindeki Değişkenlik.....	116
Şekil 4.28.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak R Değerindeki Değişkenlik.....	117
Şekil 4.29.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak Q Değerindeki Değişkenlik.....	117
Şekil 4.30.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak $\bar{T}$ Değerindeki Değişkenlik.....	118
Şekil 4.31.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak T_S Değerindeki Değişkenlik.....	118
Şekil 4.32.	D_{max} Değerine Bağlı Olarak T_D Değerindeki Değişkenlik.....	119
Şekil 4.33.	T_S Değerine Bağlı Olarak C Değerindeki Değişkenlik.....	120
Şekil 4.34.	T_D Değerine Bağlı Olarak C Değerindeki Değişkenlik.....	121
Şekil 4.35.	MKİÇM İçin Çözüm Grafiği.....	125
Şekil 4.36.	MKOKM İçin Çözüm Grafiği.....	128
Şekil 4.37.	MKOKM İçin Final Çözüm Grafiği.....	130
Şekil 4.38.	OptQuest İle Yatak Sayısı Optimizasyonu.....	135
Şekil 4.39.	SDKKM İçin İlk Çözüm Grafiği.....	138
Şekil 4.40.	SDKKM İçin Final Çözüm Grafiği.....	141
Şekil 4.41.	ÇMP İçin İlk Çözüm Grafiği.....	144
Şekil 4.42.	ÇMP İçin Final Çözüm Grafiği.....	146
Şekil 4.43.	Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımı.....	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

YYBÜ	:Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi
r	:Tekrar Sipariş Verme Noktasının
Q	:Optimum Sipariş Miktarı
T_s	:Hazırlık Süresi
T_D	:Teslim Süresine
$\bar{I}$	:Elde Bulundurulan Ortalama Malzeme Miktarı
N_o	:Yıllık Ortalama Sipariş Sayısı
TSSK	:Tüm Siparişlerin Bir Sonraki Siparişten Karşılanması
MKT	:Merkez Kompozit Tasarım
MBH	:Mutlak Bağıl Hata
TDOP	:Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
MKİÇM	:Metamodel Kısıtları İle Çalıştırılan Model
MKOKM	:Metamodel Kısıtları Olmadan Kurulan Model
YSO	:Yatak Sayısı Optimizasyonu
YS	:Yatak Sayısı
SDK	:Servis Düzeyi Kısıtı
SDO	:Servis Düzeyi Oranı
ESM	:Ekonomik Sipariş Miktarı
TYM	:Tepki Yüzeyleri Metodu
DP	:Doğrusal Programlama
TDP	:Tamsayılı Doğrusal Programlama
DOP	:Doğrusal Olmayan Programlama
YSA	:Yapay Sinir Ağları
TA	:Tabu Arama
SDKKM	:Servis Düzeyi Kısıtları İle Kurulan Model
(s,S)	:Envanter pozisyonu tekrar sipariş verme noktası s 'ye ulaştığında ya da altına düştüğünde, sipariş düzeyi S noktasına ulaşılana kadar sipariş verilen envanter kontrol sistemidir. Sipariş miktarı: $Q = S - s$
ÇMP	:Çoklu Malzeme Problemi

1. GİRİŞ

Tekelleşmenin olumsuz etkilerini ve piyasadaki yapay fiyat artışlarını önlemek için hükümetler halkın temel gereksinme duyduğu mallarda stoklamaya giderler. Öte yandan tüm kuruluşlar kendi gereksinimleri için veya kuruluşun dışındaki müşterilerine sunmak üzere malzeme envanterlerini bulundurmaya gerekli görürler. Elde ne kadar envanter bulundurmanın gerektiği konusundaki politikalar yeni değildir. Kuramcılar ve uygulamacıların geliştirdikleri nicel nitelikler ile envanter politikası daha da bilimsellik kazanmıştır. Envanter politikasının temel amacı envanteri kullananlara en uygun yararlı hizmeti sağlamak veya bir anlamda istenen hizmet düzeyi için en düşük maliyeti gerçekleştirmektir. Bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere, envanterin elde bulundurulması yararlar sağladığı gibi maliyeti de arttırmaktadır. İşte ele alınacak envanter modelleri, sipariş verilecek envanter miktarının ne olması gerektiğini ve de siparişlerin ne zaman yapılması gerektiğini belirlemede yardımcı olmaktadır (Öztürk, 2005).

Envanter, gelecekteki üretim ve satışlar için elde tutulan malzemeler olarak tanımlanır. Eldeki envanter düzeyinin yüksek veya çok az olmasının yarar ve zararları da vardır. Eldeki envanter az olursa, firma veya işletme her zaman stok tükenmesi ile karşı karşıya gelebilir. Stokların tükenmesinin getireceği zarar, tüketici doyumsuzluğu veya satışlarda kayıplar şeklinde ortaya çıkar. Ayrıca eldeki stok az ise hammadde siparişlerinin işletmeye geç ulaşması da üretimin duraklamasına neden olur. Stokların elde bulundurulması da belirli bir maliyete neden olabilir. Stoklara yatırılan nakitin bir başka alana yatırılması kar getirebilir yani fazla stok bulundurulması fırsat kaybına neden olabilir. İşte tüm bu karşılaşılabilecek sorunların en uygun şekilde çözümü envanter modelleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır (Öztürk, 2005).

Geleneksel envanter modelleri deterministik ve stokastik olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Deterministik modellerde bütün girdi değerlerinin bilindiği kabul edilir. Bilinen verilere dayanan matematiksel model, en az toplam maliyet ile talepleri karşılayan sipariş büyüklüklerini belirler. Stokastik modellerde, girdi

verilerinin dağılımı olasılık olarak belirlenir ve matematiksel model beklenen toplam maliyeti en aza indirmeye çalışır.

İşletmelerin faaliyetlerini düzgün bir şekilde yürütebilmeleri için envanter düzeylerini uygun bir seviyede bulundurmaları gerekmektedir. Envanter düzeyinin kontrolünde genel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar; sürekli kontrol sistemi ve periyodik kontrol sistemidir.

Envanter yönetimi birçok sektörde birinci ya da ikinci en büyük öneme sahiptir (Coyle ve ark., 1996). Envanter kontrolü literatürde geniş olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunluğu envanter kontrolünün teorik olarak model gelişimi ile ilgilidir. Pratik uygulamalar büyük çapta üretim sektöründe bulunmaktadır. Envanter kontrolü, hizmet sektöründe de başta gelen temel konulardandır. Hizmet sektöründe yer alan sağlık sistemlerinde tıbbi malzemeler ve diğer medikal tedariklerin stok düzeylerinin yeterli kontrolü düzgün bir biçimde işlev görmemesine rağmen hastalara hizmet verilmektedir. Stok düzeylerinin kontrolündeki olumsuzluk ölüm ile sonuçlanabilmektedir (Şatır ve Cengiz, 1987).

Duclos (1993), hastane bütçesinin %16-28'inin malzeme tüketimine harcandığını, diğer yazarlar ise bu oranın %20-45 gibi daha büyük bir miktara sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Kowalski, 1991). Sağlık endüstrisinin verimliliği için temel nokta hastanelerin malzeme yönetim fonksiyonudur (Kowalski, 1991 ve 1998). Ancak literatürde bu konuda yapılan araştırmalar yok denecek kadar azdır (Sees, 1999).

Literatürde sürekli kontrol envanter sistemi ile ilgili birçok çalışmaya yer verilmiştir. Ancak, yapılan çalışmaların çoğu üretim sektöründe ele alınmıştır ve üretim sektöründe ele alındığı için talebin bir sonraki sipariştten karşılanması (backorder) ve elde bulundurmama (shortage) durumlarına izin verilmiştir. Sağlık sektöründe envanter yönetimi ile ilgili çalışmalarda büyük bir eksiklik söz konusudur (Sees, 1999). Ayrıca, literatürde yer alan çalışmaları incelediğimiz kadarı ile stokastik envanter modellerinde ya talebin ya da tedarik süresinin rassal olduğu modeller çalışılmıştır.

Bu çalışmada sürekli kontrol sistemi ile talebin ve tedarik süresinin rassal olduğu durum, farklı stok politikaları ile sağlık sektöründe uygulamalı olarak ele alınmıştır.

1.1. Problemin Tanımı ve Önemi

Malzeme, üretim boyunca kullanılan bütün fiziksel varlıklardır.

Malzeme yönetiminin amacı;

- Ekonomik üretim ve ucuza satın alma,
- Belirsizliğe karşı koruma,
- Talep ve arzın değişimini tahmin ederek karşılama ve
- Bölümler arası geçici stok seviyelerini belirlemektir.

Malzeme stokuna duyulan ihtiyaç aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Makine kapasitesinin optimum kullanılması,
- İş yüklerinin dengelenmesi,
- Müşteri isteklerinin kısa zamanda karşılanması ve
- Hazırlık maliyetlerinin düşürülmesidir.

Malzeme yönetimi; tedarikçi firmalar, üretim seviyesi ve dağıtım ile ilgili kısa dönemli kararlar ile ilgilenir. Bu kararlar stratejik olmaktan çok taktik olmaktadır. Böyle olmasının iki önemli nedeni vardır (Krajewski ve Ritzman, 1996);

i. Malzeme yönetimi ekonomide merkezi rol oynar: Amerika ve Avrupa'daki firmaların gelirinin %45-65'ini malzeme , %15- 20'si işçilik, kalan kısmını ise diğer masraflar ve kar oluşturmaktadır. Bu da malzeme maliyetindeki küçük bir düşmenin karda büyük değişimlere neden olacağını gösterir.

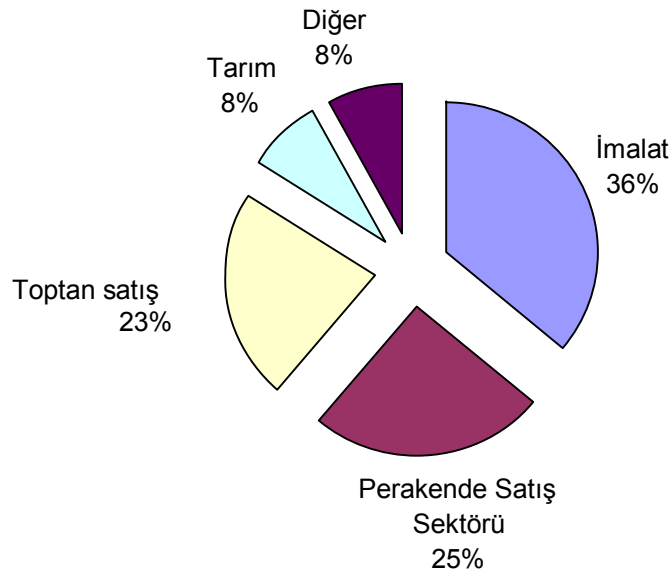
Örneğin, bir firmanın bir yıl ki satış geliri \$100 000 000 olsun, bu gelirin %60'ı malzeme, %15'i işçilik ve kalan kısım ise kar ve diğer masraflardan oluşmaktadır. Firmada bu yıl için beklenen brüt kar (vergi dahil) \$10 000 000. Bu durumda gelecek yıl ki kar \$11 000 000'a nasıl çıkarılır?

- Satışları \$10 milyon artırmak için gerekli değişim %10 olacaktır.
- İşçi maliyetini \$1 milyon azaltmak için gerekli değişim %7 olacaktır.

- Malzeme maliyetini \$1 milyon azaltmak için gerekli değişim yaklaşık %2 olacaktır.

Firmalarda değişime karşı her zaman bir direnç vardır. Buradan da görüldüğü gibi hedefe ulaşmanın en kolay yolu minimum değişimin oluşacağı malzeme maliyetlerinin azaltılmasıdır.

ii. Malzeme yönetimi işletmelerin karlılığında da önemli rol oynamaktadır: Malzeme sermayeyi bağladığından yeni ürün veya servis geliştirmeyi, teknik gelişmeyi veya kapasite artırımını engeller. Bu da fırsat kaybına neden olur. Şekil 1.1.'de belirtilen yüzdeler bütün sektörlerin neden malzeme yönetimine önem verdiğini göstermektedir.



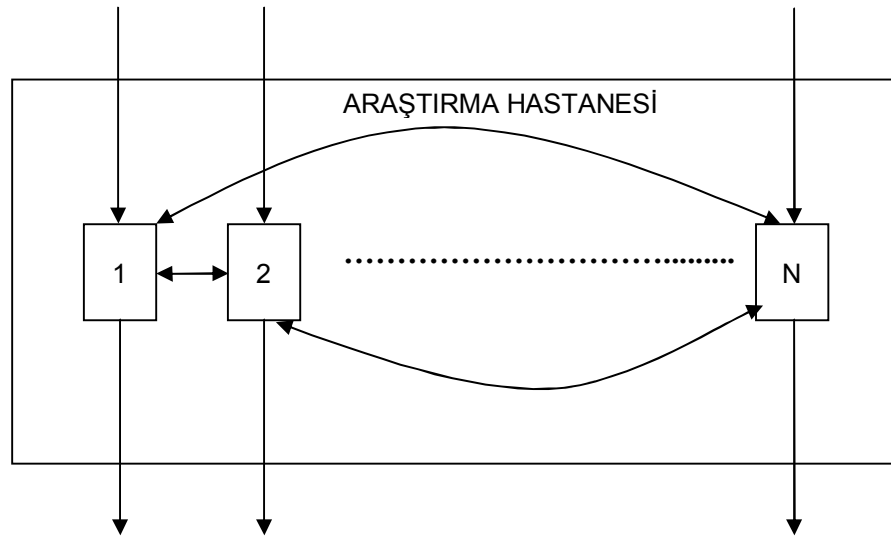
Şekil 1.1. Malzeme yönetiminin önemi (Krajewski ve Ritzman, 1996).

Sağlık sektöründe malzeme yönetim fonksiyonu 6 temel alanı kapsamaktadır. Bu alanlar: satın alma, üretim kontrol, envanter kontrol, malzeme taşıma, trafik ve fiziksel dağıtımdır. Bu alanların koordinasyonu maliyet minimizasyonunda önem kazanmaktadır (Nicholsan, 2000).

Malzeme yönetimi hastane yönetiminde önemli bir unsurdur ve kritik bir öneme sahiptir (Kowalski-Dickow Associates, Inc., 1994):

“2000’li yıllarda malzeme yönetimi; hastanede olgunluk, ustalık ve performansın daha iyi bir düzeyinde başarılmasına ihtiyaç duyacaktır. Sağlık organizasyonları, gelecekte sağlık hizmetleri sağlamada ihtiyaç duyulacak maliyetli, sınırlı ve israf edilen kaynakların riskinden kaçınmalıdırlar” (Kowalski-Dickow Associates, Inc., 1994).

Hastanedeki toplam bütçenin yaklaşık %45’inin malzeme yönetimi ile ilgili olduğu göz önüne alındığında hastanede malzeme yönetiminin ne derece önemli olduğu daha çok ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.2. N ünitenden oluşan bir araştırma hastanesinde hastaların akışı

Sağlık kuruluşları genel olarak şekil 1.2’de görüldüğü gibi N adet ünitenden oluşurlar. Sağlık kuruluşunda her bir üniteye hasta gelişleri rassal olmaktadır. Hastalar giriş yaptıkları ünitenden hastaneyi terk edebildikleri gibi, ünitelerarası hasta geçişleri olabildiğinden başka bir ünitenden de hastaneyi terk edebilirler.

Çalışmada, hastanenin her ünitesinde kullanılmakta olan tıbbi malzeme ve ilaçlar içerisinde ABC analizi ile belirlenen ve A sınıfında yer alan malzemeler için

stok optimizasyonu yapılması amaçlanmaktadır. Belirlenen malzemelerin kullanım oranı birim hasta yatış gün için rassaldır.

Optimum stok politikalarının belirlenmesinde etkili olan değişkenler; hastaların geliş oranı, hastaların yatış süresi, hastaların üniteler arası geçiş oranı ve her hasta-gün için malzeme kullanım oranıdır.

Hastaneye malzeme alımı devlet ihale usulüne göre yapılmaktadır. İhale süreci; her bir üniteden taleplerin toplanması, ihaleye çıkacak uzman ekiplerin oluşturulması, hazırlanan belgelerin onaylanması, ihalenin duyurulması ve gerçekleştirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır. Malzemeyi sipariş etmek için gerekli olan ve hazırlık süresi olarak alınan bu ihale süreci rassal bir değişim göstermektedir. Bu rassallık ya fazla stok bulundurmaya ya da stok kesilmesine sebep olabilmektedir.

Hasta gelişlerinin, hasta yatış sürelerinin ve her bir ünite de hastanın kullandığı malzeme miktarının rassal olması ve bunlara ilave olarak malzemenin siparişi için gerekli hazırlık süresi ve malzemenin teslim süresinin toplamından oluşan tedarik süresinin de rassal olması optimum stok politikasının belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Çalışmada bu belirsizlikler altında sürekli kontrol sistemi, istatistiksel teknikler, simülasyon meta-modelleme, stokastik ve deterministik yöntemleri içeren bir yaklaşım kullanılarak toplam malzeme maliyetini minimum yapacak optimum sipariş miktarı (Q) ve optimum tekrar sipariş verme noktası (r) belirlenmeye çalışılacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada sürekli kontrol sistemi ile talebin ve tedarik süresinin rassal olduğu durum farklı stok politikaları ile sağlık sektöründe uygulamalı olarak ele alınmıştır.

Çalışmada tedarik süresince oluşan talep hastanede tedavi gören hasta sayısına bağlıdır. Hasta gelişlerinin, hasta yatış sürelerinin ve hastaların ünitelerarası geçiş oranlarının rassal olması her bir ünite de ki hasta sayısının stokastik bir süreç gibi davranmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, her bir hasta-gün için ABC analizi ile seçilen malzemenin kullanımı günden güne değişim göstermektedir. Böylece, ihtiyaç

duyulan malzeme miktarı hastanedeki hasta sayısına bağlı olmaktadır. Tüm bu rassallıklar dikkate alınarak ortalama elde bulundurulacak malzeme miktarı ve her yıl için ortalama sipariş sayısı fonksiyonlarını elde etmek için bir simülasyon meta-model kurulmuştur. Daha sonra, beklenen yıllık toplam maliyeti minimum yapacak r ve Q düzeylerini belirlemek için tamsayıli non-lineer bir matematiksel model kurulmuştur.

Bu kapsamda çalışmanın amacı;

- i) Bir araştırma hastanesinin her bir ünitesinde oluşan ve/veya oluşacak olan hasta taleplerinin belirlenmesi,
- ii) Hasta gelişlerinin olasılık dağılımının belirlenmesi,
- iii) Hastaların üniteler arası geçiş olasılıklarının belirlenmesi,
- iv) Hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımının belirlenmesi,
- v) Hastaların tedavi sürecinde kullandıkları tıbbi malzemelerin ve ilaçların belirlenmesi,
- vi) Bu malzemeler içerisinde en çok kullanılan malzemelerin seçilmesi,
- vii) Seçilen malzemelerin kullanım sıklığının günlük hasta yatış süresine bağlı olasılık dağılımının belirlenmesi,
- viii) Seçilen malzemelerin mevcut sipariş sürecinin belirlenmesi,
- ix) Seçilen malzemelerin mevcut veya oluşacak talebi karşılayabilmesi için optimum sipariş miktarının ve sipariş verme noktasını belirlemeye yönelik mevcut politikaların incelenmesi ve yeni politikaların ortaya konması,
- x) Belirlenen hasta geliş, hasta yatış ve malzeme kullanım sıklığı dağılımlarını kullanarak ortaya konulan politikalara yönelik simülasyon modelinin oluşturulması,
- xi) Simülasyon modeli yardımıyla dikkate alınan malzeme ihtiyaçlarının zamanla değişiminin belirlenmesi,
- xii) Kurulan simülasyon modeli yardımıyla yıllık ortalama maksimum malzeme ihtiyacının belirlenmesi,
- xiii) Farklı Q ve r için oluşturulan simülasyon modelini kullanarak $Q \geq r$ için oluşabilecek yıllık ortalama sipariş sayısı ve ortalama elde bulundurma miktarlarının belirlenmesi,

- xiv) Farklı Q ve r seviyeleri için simülasyon modeli sonucunda elde edilen değerlere regresyon analizi uygulayarak ortalama elde bulundurulacak miktar ve yıllık ortalama sipariş sayısının Q ve r 'ye bağlı olarak matematiksel fonksiyonlarının elde edilmesi,
- xv) Toplam malzeme maliyetini minimum yapacak matematiksel modelin çeşitli kısıtlar altında oluşturulması,
- xvi) Oluşturulan matematiksel modelin mevcut optimizasyon paket programlarından birinin yardımıyla çözümü ve çözümün geçerliliğinin test edilmesidir.

Çalışmanın ilk aşamasında; simülasyon meta-modelleme ve tamsayılı non-linear matematiksel programlama teknikleri kullanılarak sürekli kontrol politikası ile tek malzemeli envanter optimizasyonu için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım matematiksel modelde kısıtlarda oluşabilecek farklı durumlar için de dikkate alınmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; mevcut problem simülasyon optimizasyon tekniği kullanılarak farklı politikalar altında incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise; hastane sistemlerinde çoklu malzeme durumu için envanter problemi stokastik talep ve anlık tedarik süresi koşullarında sürekli ve periyodik kontrol politikalarının birleşimi ile incelenmiştir. Beklenen yıllık toplam maliyeti minimum yapacak Q düzeyleri ve siparişler arası süre uzunluğu (T), belirlenmiştir.

Çalışmada son olarak da stokastik talep ve stokastik tedarik süresi durumunda tedarik süresince oluşan talebin dağılımı hem analitik olarak hem de simülasyon modeli ile elde edilmiştir. Model, farklı servis düzeylerinde tekrar sipariş verme miktarlarının belirlenmesi ile zenginleştirilmiştir.

1.3. Çalışmanın Adımları

Yapılan tez çalışmasında izlenen adımlar;

- 1) Araştırma hastanelerinin malzeme stok sistemlerinin incelenmesi,
- 2) Hastanede kullanılmakta olan malzemelerin ABC analizi ile sınıflandırılması,

- 3) A gurubunda yer alan malzemelerin seçimi ve bu malzemelere ait ayrıntılı mevcut satın alma politikalarının incelenmesi,
- 4) A gurubunda yer alan ve seçilen malzemelere yönelik verilerin toplanması;
 - i) Malzeme kullanım verileri: Seçilen malzemeyi kullanan ünitelerin belirlenmesi, birim hasta-gün için kullanım oranının olasılık dağılımının bulunması.
 - ii) Maliyet verileri: Birim sipariş maliyeti, birim elde bulundurma maliyeti ve taşıma maliyetinin belirlenmesi.
- 5) Malzemeye yönelik rassal olan talebi belirlemek amacı ile hastanede bulunan ve malzemenin kullanıldığı her bir ünite için günlük bazda hasta geliş sıklığı, hasta yatış süresi ve birimler arasındaki geçiş oranlarına yönelik istatistikî verilerin toplanması,
- 6) Elde edilen istatistikî verilerin istatistiksel paket programlar yardımı ile her bir ünite için geliş sıklığı ve yatış süresi olasılık dağılımlarının belirlenmesi,
- 7) Ünitelerarası geçiş olasılıklarının belirlenmesi,
- 8) Elde edilen olasılık dağılımlarını ve ünitelerarası geçiş olasılıklarını kullanarak hasta akışı simülasyon modelinin oluşturulması,
- 9) Oluşturulan simülasyon modeli ile farklı tedarik sürelerinde seçilen malzemeye olan olası maksimum taleplerin belirlenmesi,
- 10) Belirlenen maksimum talepleri dikkate alarak simülasyon modelinde farklı Q ve r değerleri için olası ortalama elde bulundurma miktarının ve yıllık ortalama sipariş sayısının belirlenmesi,
- 11) Söz konusu malzemeye yönelik satın alma politikalarının belirlenmesi,
- 12) Farklı Q ve r değerleri için belirlenen ortalama elde bulundurma miktarlarını ve yıllık ortalama sipariş sayılarını kullanarak regresyon analizi yapmak. Yapılan regresyon analizi yardımı ile ortalama elde bulundurulan miktarın ve ortalama yıllık sipariş sayısının, Q ve r 'ye bağımlı fonksiyonel ilişkiler şeklinde ifade edilmesi,
- 13) Non-lineer matematiksel programlama tekniğini kullanarak çeşitli kısıtlar altında söz konusu malzemeye yönelik beklenen yıllık toplam maliyeti (elde bulundurma

maliyeti + sipariş maliyeti) minimum yapacak matematiksel modellerin politikalar altında kurulması,

- 14) Non-lineer modelleri çözmeye yönelik mevcut optimizasyon paket programlarının incelenmesi ve en uygun olanının seçilmesi,
- 15) Kurulan modellerden çözüm türetmek, elde edilen çözümün test edilmesi ve
- 16) Duyarlılık analizinin yapılması,
- 17) Simülasyon optimizasyon tekniği ile olası farklı stok problemlerinin incelenmesi,
- 18) Çoklu malzeme probleminin farklı politikalar altında incelenmesi,
- 19) Hem tedarik süresinin hem de talebin rassal olduğu durumda tedarik süresince oluşacak talebin dağılımının analitik yaklaşımla ve simülasyon modeli ile belirlenmesi,
- 20) Farklı servis düzeyleri için tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesidir.

1.4. Orijinal Katkılar

Çalışma ile hedeflenen orijinal katkılar;

- i) Sipariş miktarının belirlenmesinde hastanedeki birimlerin kapasite doluluk oranları dikkate alınmıştır.
- ii) Sipariş miktarının belirlenmesinde hasta geliş sıklığı, hasta yatış süreleri ve her bir hastanın günlük malzeme kullanım miktarı dağılımları dikkate alınmıştır.
- iii) Malzeme stok yönetimine yönelik stokastik ve deterministik yöntemleri içeren bir yaklaşım geliştirilmiştir.
- iv) Geliştirilen yaklaşımın uygulaması gerçek veriler kullanılarak ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.
- v) Tedarik süresinin; ihtiyaç duyulan malzemenin siparişinin verilebilmesi için gerekli işlemlerin yapılması aşamasında geçen *hazırlık süresi* ve siparişi verilen malzemenin stoklarda yerini alıncaya kadar geçen süre olarak tanımlanan *teslim süresi* değişkenlerinden oluştuğu kabul edilmiş ve matematiksel modelde karar değişkeni olarak ele alınmıştır.

- vi) Servis düzeyi kısıtı hasta sayısına bağlı olarak ele alınmış ve $\frac{\text{Kabul edilen hasta sayısı}}{\text{Toplam başvuran hasta sayısı}}$ olarak hesaplanmıştır.
- vii) Çoklu malzeme problemi sürekli ve periyodik kontrol sistemlerinin birleşimi ile hastane sistemi için incelenmiştir.
- viii) Tedarik süresince oluşan talebin dağılımı hem analitik yaklaşımla hem de simülasyon modelleme yaklaşımı ile belirlenmiştir.

1.5. Tez Organizasyonu

Tezin bundan sonraki bölümleri şu şekilde planlanmıştır;

- i. İkinci bölümde, bu konuda ve benzer konularda yapılan önceki çalışmalar ve genel değerlendirilmesi anlatılmıştır.
- ii. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veriler ve çalışmanın amaçlarını gerçekleştirmek için kullanılacak yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışmanın incelendiği sistemin karakteristik özellikleri incelenerek detaylı açıklamalarda bulunulmuştur. Metot olarak simülasyon modelleme, regresyon analizi ve matematiksel modellemeye dayalı simülasyon meta-modelleme ve simülasyon optimizasyon teknikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.
- iii. Dördüncü bölümde, seçilen metotların probleme uygulandığında elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.
- iv. Beşinci ve son bölümde ise araştırmanın en önemli sonuçları sıralanmış ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Üretim Sektöründe Envanter Yönetimi**

Güllü (1998) çalışmasında, belirsiz kabul edilen herhangi bir zaman periyodunda üretilebilecek ya da sipariş verilebilecek maksimum miktarın olduğu stokastik talepli üretim/envanter probleminde tek-malzeme düşünmüştür. Envanter düzeyi periyodik olarak incelenmiştir. Sistem, durağan bir stok politikası altında çalıştırılmıştır. Çalışmanın amacı, her bir periyot kriteri için beklenen ortalama maliyet altında bu politikanın optimum temel stok düzeyini hesaplamak için bir prosedür sunmaktır. Bu prosedür, stokastik talep ve belirsiz kapasitede envanter stok kapasitesi miktarını tahsis etmek için yardım sağlayacaktır. Bu hedefin başarılması ile çalışmanın temel katkısı, belirsiz talep/kapasite altında çalışan, temel stok üretim/envanter politikaları ile G/G/1 kuyukları arasında benzerlik kurmaktır. Çalışmada ayrıca bazı önemli kapasite dağıtımları için örnek türetmeler sunulmuştur.

Bashyam ve Fu (1998), çalışmalarında servis düzeyi kısıtı altında toplam maliyeti (hazırlık maliyeti + elde bulundurma maliyeti) minimum yapacak (s,S) çiftini belirlemeyi amaçlamışlardır. Stokastik tedarik süresi ile (s,S) envanter sistemlerinin analizindeki asıl varsayım, siparişlerin aynı sırada kabul edildiğidir. Ancak Bashyam ve Fu çalışmalarında sipariş kabullerinin çapraz olmasına izin vermişlerdir. Problem çözümünde simülasyon temelli feasible directions search kullanılmıştır. Çalışmada incelenen envanter modelinde; talebin sürekli bir dağılıma uygun olduğu, tedarik süresinin tamsayı kabul edildiği, full backlogginge izin verildiği ve periyodik kontrol politikası uygulandığı bildirilmiştir. Geliştirilen envanter modeli sayısal örneklerle gösterilmiştir. Sayısal örneklerde talep; üstel, 2-erlang, normal ve düzgün dağılımları için, tedarik süresi; kesikli düzgün ve poisson dağılımları için, servis düzeyi kısıtları da $\gamma = 0.10$, $\gamma = 0.05$ ve $\gamma = 0.01$ için incelenmiştir.

Hung ve Chang (1999) çalışmalarında belirsiz üretim için emniyet stok düzeylerini hesaplayacak bir model sunmuşlardır. Yapılan çalışma, karmaşık üretim rotaları ve yarı iletken üretimindeki güvenilirlik makineler üzerine

temellendirilmiştir. Modelde uzun akış zamanları ve verim oranlarının belirsiz olduğu söylenmiştir. Emniyet stok düzeylerinin belirlenmesi için bu iki belirsizlik dikkate alınmıştır. Bu metodun kullanılabilmesi için her bir ürün tipinin standart akış süresi tahmin edilmelidir. Ancak, akış zamanı rasgele değişkenleri zaman bağımlı olduğundan bunları tahmin etmek zordur. Bu nedenle çalışmada, var olan veri tabanından ardışık her 6 parti büyüklüğünün örnek standart sapmasının hesaplanmasıyla akış zamanının standart sapması tahmin edilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen bu yaklaşım, değiştirilmiş ürün karışım şeması ile sabit ürün karışım şemasının test sonuçlarının karşılaştırılması ile geçerli kılınmıştır.

Güllü, Önoğlu ve Erkip (1999), tedarik belirsizliği altında tek-malzemeli envanter modeli için periyodik kontrol analizi yapmışlardır. Tedarik kısıtları altında sonlu bir planlama ufkunun ötesinde beklenen elde bulundurma ve talebin bir sonraki sipariştten karşılanma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Tedarikteki belirsizlik üç-noktalı olasılık kütle fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir. Tedarik ya tamamen kullanılabilir, ya kısmen kullanılabilir ya da tedarik kullanılamaz. Makine bozulmaları, tedarikçinin kapasite kısıtlılığı, grevler vs. tedarikteki belirsizliğin olası sebepleridir. Çalışmada, beklenen maliyet fonksiyonunun çeşitli özellikleri gösterilmiştir ve stokastik bir dinamik programlama formülasyonu kullanımıyla tipe göre sipariş (order-up-to type) politikalarının optimallliği gösterilmiştir. Bernoulli tipi tedarik sürecinin varsayımı altında, newsboy-like formülasyonu verilmiştir. Planlama ufkunun ötesinde optimum envanter düzeylerini hesaplayan bir algoritma verilmiştir.

Çakanyıldırım ve ark. (2000), bazı endüstrilerde büyük siparişlerin işlem zamanı küçük siparişlerinkinden daha uzun sürmektedir. Bu durum özellikle tedarik süresi rassal kabul edilen var olan envanter kontrol modellerine yansıtılamıyor. Çakanyıldırım ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bu durumun düzeltilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada her birimin her birim zamanda elde bulundurmama cezasına maruz kaldığı talebin bir sonraki sipariştten karşılanması ile sipariş miktarı/yeniden sipariş verme noktası modeli sunulmuştur. Modelde her bir birimin işlem zamanı rassaldır. Bir partinin (lotun) işlem zamanı parti büyüklüğü ile ilişkilidir. Talep sabit kabul edilmiştir. Çakanyıldırım ve arkadaşları tedarik süresinin parti büyüklüğü ile orantılı olduğu ve sürekli kontrolün yapıldığı durum için kapalı-

şekilde bir çözüm elde etmişlerdir. Bunun, tedarik süresinin parti büyüklüğünden bağımsız olduğu klasik (Q,r) modellerinden farklı olduğunu söylemişlerdir. Burada iterasyona gerek duyulmaktadır. İşlem zamanının parti büyüklüğündeki ekonomi skalasında gösterildiği durumu da çalışmada incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda tedarikçinin üretim yeteneğine bağlı olarak rezerve edilen kapasite miktarı ile bir müşterinin daha kısa işlem zamanlarında güvende olabileceği durum incelenmiştir.

Argon, Güllü ve Erkip (2001) çalışmalarında, stok kesilmesinden sonra meydana gelen talep sürecindeki değişikliklerin etkilerini araştıran tek-malzemeli periyodik kontrol modeli sunmuşlardır. Birbirini izleyen periyotlardaki taleplerin deterministik fakat talebin bir sonraki sipariştten karşılanmasından etkilenen bir sistemi araştırmışlardır. Talep sürecindeki değişimlerin etkilerini ele geçirmek için geometrik tipi bir tedarik elde edilebilirliği kullanmışlardır. Performans ölçümleriyle elde edilen kar için gerekli unsurlar analitik olarak türetilmiştir.

Hoshino (2001), Her ne zaman mevcut envanter için yeniden sipariş noktası durumu oluşursa, sabit büyüklüğe sahip sipariş sistemlerinde sipariş sürekli bir ekonomik parti büyüklüğü ile karşılanır. Diğer yandan, sabit aralıklarla siparişleme sisteminde ihtiyaç duyulan miktar periyodik olarak sipariş edilir. Hoshino çalışmasında, bu iki politika arasındaki kriter seçimini göstermiştir. Daha sonra, her iki siparişleme sisteminin elemanları için karışık bir siparişleme politikası geliştirmiştir. Teoriksel kriter, sabit aralıklarla siparişleme politikasının, tahmin hatası küçük olduğunda tercih edilir olduğunu söylemektedir. Öte yandan, sabit büyüklükte siparişleme politikası daha iyidir. Böylece karışık siparişleme politikası, tahmin hatasının görüntülenmesi ile bu iki politika arasında dinamik olarak değiş-tokuş yapılması üzerine temellendirilmiştir.

Salameh ve ark. (2003), çalışmalarında ödemelerdeki gecikmeler altında sürekli kontrol envanter modelini ele almışlardır. Modelde tedarikçiye ürünler için ya hemen ödeme yapılır ya da ödeme bir sonraki siparişe kadar geciktirilir. Beklenen talebin sabit olduğu ve tedarik süresinin rassal olduğu kabul edilmektedir. Amaç; ödemeler geciktirildiği zaman satıcının her birim için toplam beklenen karını maksimum yapacak tekrar sipariş verme noktasını ve optimum sipariş miktarını belirlemektir.

Mitra ve Chatterjee (2004) çalışmalarında hızlı tüketilen mallar için De Bodd ve Graves tarafından geliştirilen kademeli stok temelli sürekli kontrol modelini iki-aşamalı seri sistem için ele almışlardır. Literatür incelendiğinde envanter kontrollerinin ya düzenli stok ya da kademeli stok temelli politikalarla ve sipariş politikalarının ya kümeli (nested) ya da kümesiz (non-nested) olduğunun görüleceğini söylemişlerdir. Kümeli ve kademeli stok politikası düzenli ve kümesiz stok politikalarına tercih edilmektedir. Çünkü maliyet ve hesaplama kolaylığı açısından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Duran ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada sürekli kontrol envanter sistemini ele almışlardır. Sistemde; tedarik süresi L , T sabit süresinin bir kısmını ve $T_a > T_e$ (T_a : her siparişin sabit süresi, T_e : her siparişin hızlandırılma/öne alınma süresi) olduğu durumda T_a ya da T_e olabilecek sürelerin bir kısmını içerdiğini düşünmüşlerdir. Net envanter yeniden sipariş verme noktası r 'ye ulaştığı zaman, Q kadar bir sipariş verilmektedir. Sipariş verildikten sonraki T zamanda net envanter r_e değerine eşit ya da küçükse, her birimin maliyetini ve sabit maliyeti içerdiğinde tedarik süresi $L = T + T_e$ olduğunda sipariş hızlandırılır (expediting) aksi takdirde $L = T + T_a$ olmaktadır. Böylece düşünülen karar değişkenleri sipariş miktarı Q , yeniden sipariş verme noktası r ve siparişi hızlandırma noktası r_e 'dir. Çalışmadaki amaç Q , r ve r_e envanter politika değişkenleri ile ortalama maliyet oranını minimum bulmaktır. Çalışmada envanter politika değişkenleri tamsayı olduğunda global minimal maliyetler ile politika değişkenlerini elde etmek için bir algoritma sunmuşlardır. Karar değişkenlerinin gerçek değerleri aldığı durumu da tartışmışlardır.

Jeddi ve ark. (2004), Mevcut modellerde satın alma maliyetlerinin sipariş verildiği zaman ödendiği varsayılmaktadır. Fakat bazı sistemlerde satın alma maliyetleri sipariş teslim edildiği zaman ödenmektedir. İkinci durumda envanterdeki maksimum yatırım, sipariş varışları rassal değişken olduğu zamanki envanter düzeyinden dolayı rassaldır. Böylece, dağıtımda satın alma maliyetleri ödemesi envanter için stokastik bütçe kısıdı vermektedir. Jeddi ve arkadaşları çalışmalarında backorder ile çok-malzemeli stokastik envanter sistemine odaklanmışlardır. Bütçe kısıdı kolay bir şekilde elde bulundurmama kısıdına çevrilebilmektedir. Amaçları beklenen tahmini toplam yıllık maliyet değerini minimize etmektir. Geliştirdikleri

yeni modelde satın alma maliyetlerinin ürünlerin tesliminde ödendiği ve toplam envanter yatırımı belirli bir değeri geçtiğindeki olasılık kısıtlarının olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca tedarik süresince oluşan talebin Normal dağılıma uyduğu farz edilmiştir. Lagrange multipliers tekniği ile problem çözülmüştür.

Haksever, Moussourakis (2005), çalışmalarında çeşitli kısıtlar ile çoklu-ürün envanter sisteminin optimizasyonu için bir model geliştirmişlerdir. Envanter sisteminde “ne zaman” ve “ne kadar” sipariş verileceği yöneticiler için temel iki kavramdır. Envanter sisteminde bu kararları çoklu ürün için almak, yöneticiler için mücadele vermeleri gereken bir iştir. Çünkü bütçe, alan, depolanacak ürünlerin maksimum ağırlığı gibi sınırlı kaynaklardan dolayı birçok kısıt için bu kararlar subjektif olacaktır. Çalışmada, bu iki temel kararı optimize etmek için karışık tamsayılı programlama modeli kurulmuştur. Model ayrıca, tüm ürünler için sabit bir çevrimin ya da düşük toplam maliyet için kullanılması gereken her bir bağımsız çevrimin olup-olmadığına karar vermektedir.

Sucky (2005) çalışmasında envanter yönetimi açısından tedarik zinciri yönetimine odaklanmıştır. Tedarik zincirinde, tedarikçiler ve alıcılar arasındaki sipariş ve üretim politikalarının koordinasyonu önemlidir. Ortak bir sipariş ve üretim politikası toplam maliyeti önemli düzeyde azaltabilir. Sipariş için ortak bir politika seçiminde şirketin ekonomik sipariş miktarı (ESM) önemlidir. Bu çalışmada, alıcının baskın olduğu varsayımı altında ortak bir sipariş ve üretim politikası pazarlık etme (bargaining) çözümü olarak geliştirilmiştir ve birkaç pazarlık etme (bargaining) modeli tedarikçinin alternatif üretim politikalarına bağımlı olarak sunulmuştur. Bu pazarlık etme modelleri ile önerilen ortak politika ve önerilen ödeme şekli elde edilebilmektedir. Makalede, tedarikçi merkezli optimal ödeme şemasının dönemlerine karar vermek için analitik bir yaklaşım sunulmuştur.

Jose, Sicilia ve Laguna (2006) belirli talep ile sürekli gözden geçirilen bir envanter modeli üzerinde çalışmışlardır. Elde bulundurmamaya izin verilmiş ve bunlar kısmen gecikmiş işler olarak kabul edilmiştir. Müşteri sabırsızlığına göre bu gecikmiş işler analiz edilmiştir. Bu yaklaşım literatürde ilk olarak Abad (1966) tarafından amaçlanmıştır. Bu çalışmada, amaç fonksiyon envanter ile ilgili toplam maliyet düşünülerek oluşturulmuştur. Toplam maliyet; taşıma maliyeti, sipariş

maliyeti ve elde bulundurmama maliyetlerinden oluşmaktadır. Burada 3 önemli elde bulundurmama maliyeti olduğu varsayılmıştır. Bunlar; ard arda sipariş edilen birimlerin maliyeti (elde bulundurmama zamanına bağlı olarak), iyi niyet maliyeti (sürekli) ve fırsat maliyetidir. Çalışmada, ekonomik parti büyüklüğü, yeniden sipariş düzeyi ve minimum toplam envanter maliyetine karar verecek bir model üzerine odaklanılmıştır.

Seifbarghy ve Jokar (2006) çalışmalarında merkezi bir ambar ve birçok perakendeciden oluşan ve sürekli kontrol politikası (R, Q) ile kontrol edilen bir envanter sistemini ele almışlardır. Perakendeciler için talebin bağımsız Poisson olduğunu ve nakliye zamanının sabit olduğunu kabul etmişlerdir. Ambardaki stok yenilemeleri dışardan bir tedarikçi tarafından yapılmakta ve tedarik süresi sabit kabul edilmektedir. Kayıp satışlar ve talebin bir sonraki sipariştten karşılanması söz konusu olabilmektedir. Her durumda parti büyüklüklerini veren optimum tekrar sipariş verme noktalarını bulan yaklaşık bir maliyet fonksiyonu geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin doğruluğunu simülasyon ile göstermişlerdir.

Hoque, Goyal (2006) alıcı ve tedarikçi arasında kontrol edilebilir tedarik süresi yaklaşımı ile bütünleşik envanter sistemi için tedarik süresi, envanter taşıma ve siparişleme ya da kurulumun toplam maliyetini minimum yapacak bir sezgisel çözüm süreci geliştirmişlerdir. Bu sistem, yıl içerisinde ekstra emniyet stoku ile çalıştırılmış ve minimum maliyet çözümünü atayacak bir teknik geliştirilmiştir. Bununla beraber, tedarikçiden alıcıya eşit ve eşit olmayan büyüklükteki parti dağıtımı için alternatif bir genel model geliştirilmiştir. Parti büyüklüğü tarafından memnun edici talep zamanı için kısıtlı emniyet stoku, optimal çözümü verecek bir dizi özellik ile geliştirilmiştir. Bu özelliklere bağlı olarak bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Teorik olarak talep için üretim oranı, en yüksek tedarik süresinin en düşük tedarik süresine oranından daha yüksek ise problemin parametre değerleri eşit olmayan parti büyüklüğü kullanımını garanti edemez. Öte yandan, eşit olmayan büyüklükteki parti transferi etkili olabilmektedir.

Geliştirilen modelde nakliye maliyeti ihmal edilmiştir. Toplam maliyeti etkilemesine rağmen modelde nakliye araçlarının kapasite kısıtı, kurulum ve nakliye

zamanları göz önünde bulundurulmamış, modelde sadece emniyet stoğu maliyetine odaklanılmıştır.

Riezebos (2006) çalışmasında tedarik zincirlerindeki ve pazarlardaki değişimden dolayı, envanter yönetim sistemlerinde kullanılan kontrol politikalarının (bu kontrol politikalarında siparişi verilen malzemelerin varışlarının aynı sırada oldukları varsayılmaktadır) artık geçerli olmadığını söylemiştir. Riezebos bu çalışmada; sipariş çaprazlamalarının (order crossovers) ve sipariş çaprazlamalarının koşullarının anlaşılabilirliğini ilerletmeyi sağlamayı amaçlamıştır.

Sipariş çaprazlamaları, tedarik süresindeki ve iki sipariş arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada karşılaşılan farklılıkların kaynaklarına göre sipariş çaprazlamalarının üç tipi gösterilmiştir. Tedarik süresinin dalgalanmalarının karakteristikleri kombinasyonu ile dört kategori elde etmişlerdir. Tedarik süresindeki dalgalanmaların karakteristikleri önce statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmıştır. Statik ve dinamik durumlar da kendi içinde deterministik ve stokastik karakteristikler olarak ikiye ayrılmıştır. Statik durumun deterministik karakteristiği: Sipariş çaprazlamaları yok kategorisidir. Stokastik kategorisi ise: Rassal sipariş çaprazlamaları kategorisidir. Dinamik durumun deterministik karakteristiği: Beklenen sipariş çaprazlamaları kategorisi ve stokastik karakteristiği ise: Genel sipariş çaprazlamaları kategorisidir.

Çalışmada detaylı analizlerden sonra, sipariş çaprazlamalarının envanter politikalarında dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır. Firmaların sıklıkla karşılaştığı sipariş çaprazlamaları tipi beklenen sipariş çaprazlamaları ve genel sipariş çaprazlamalarıdır. Çalışma bir bütün firmasında uygulanmış ve beklenen sipariş çaprazlamaları ile elde edilen potansiyel maliyet korumalarının %30 olduğunu bulmuştur.

Axsäter (2006), çalışmasında stokastik talep ve sipariş biriktirme (backlogging) ile standart bir tek-kademeli envanter sistemini ele almıştır. Tedarik süresince oluşan talebin Normal dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Sistem sürekli kontrol politikası (R,Q) ile kontrol edilmektedir. Sistemde standart sipariş ve elde tutma maliyetleri ve doluluk oranı kısıtı mevcuttur. Problem tekrar sipariş verme

noktası R ve sipariş miktarı Q 'yu belirlemektedir. Böylece doluluk oranı kısıtı altında toplam beklenen maliyet minimum olmaktadır.

Bu problem birçok endüstrideki envanter kontrol sistemleri için basittir. Birçok uygulamada basit yaklaşım kullanılmıştır; standart ESM modeline göre belirlenen sipariş miktarı, optimum sipariş miktarı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada sipariş miktarlarının belirlenmesi için alternatif bir yaklaşım sunulmuştur.

Chen ve Levi (2006), çalışmalarında sonsuz bir ufukta periyodik kontrol modelini geliştirerek sürekli kontrol modeli oluşturmuşlardır. Kesikli zaman periyodunda talep varışları rassal; fiyatlama ve siparişi yenileme (replenishment) kararları talebe hizmet ettikten sonra gerçekleştirilmektedir. Varışlar arası (inter-arrival) sürenin dağılımı ve talep büyüklüğü önceki karar dönemindeki satış fiyatlarına bağlıdır. Siparişleme maliyeti hem sabit maliyeti hem de değişken maliyeti içermektedir. Çalışmada amaç; tüm planlama ufku ötesinde beklenen ıskontoyu ya da ortalama karı maksimize edecek envanter politikasını ve fiyatlama stratejisini bulmaktır. Genel koşullar altında beklenen ortalama karı ya da beklenen ıskontoyu maksimize eden durağan bir (s,S) envanter politikasının en iyi sonucu verdiğini ispatlamışlardır.

Mohebbi ve Hao (2006), çalışmalarında Poisson talep, Erlang-dağılımlı tedarik süresi, kayıp satışlar ve rassal tedarik kesilmeleri bileşimi ile sürekli kontrol envanter sistemini incelemişlerdir. Literatürdeki mevcut çalışmaların aksine tekrarlanan bir siparişin tedarik zamanında tedarikçinin elde edilebilirliğini dikkate almışlardır. Tedarikçinin elde edilebilirliğini sürekli-zaman homojen Markov zinciri ile iki durum (on ve off) şeklinde tanımlamışlardır. Envanter düzeyinin (eldeki stok miktarı) sabit dağılımını (s,Q) tipi kontrol politikası altında ele almışlardır.

Hill ve ark. (2007), çalışmalarında tek-malzeme, iki kademe ve sürekli kontrol envanter modelini ele almışlardır. Perakendeciler merkezi bir ambardan stoklarını yenilemektedirler. Ambardaki stok da dışarıdaki bir tedarikçiden yenilenmektedir. Perakendecilerin talep süreci Poisson dağılımına uymaktadır. Kayıp satışlar söz konusu olmaktadır. Ambardaki her bir perakendecinin sipariş miktarı ve tedarikçinin karşıladığı ambardaki sipariş miktarı aynı sabit Q değeridir. Sistem dışı bir değişken, paketleme ve taşıma kısıtları tarafından belirlenmektedir. i-inci

perakendeci (Q, R_i) kontrol politikasını izlemektedir. Ambar, negatif olmayan tamsayı S ile $(SQ, (S-1)Q)$ politikası ile çalışmaktadır. Ambarda stok varsa i-inci perakendeci için tedarik süresi, ambardan perakendeciye, sabit nakliye zamanı L_i olmaktadır. Aksi takdirde gecikmeden sonra, perakendecinin talepleri ilk-gelen ilk-karşılanır (first-come first-served) temeli ile toplanmaktadır. Ambardaki sipariş için tedarik süresi sabit olmaktadır. Çalışmada iki varsayım oluşturulmuştur: her bir perakendeci herhangi bir zamanda sadece bir sipariş seçebilir ve ambardan perakendeciye nakliye süresi ambarın tedarik süresinden daha az olmamaktadır. İlgilenilen performans ölçüleri; sistemdeki ortalama toplam stok ve perakendecilerden toplanan talep parçalarıdır. Çalışmada bu performans ölçülerini belirlemek için süreçler ve sistem davranışı geliştirilmiştir.

Hill (2007), bu çalışmada sürekli kontrol kayıp-satışlar envanter modelleri, sabit sipariş maliyeti olmaksızın taleplerin Poisson dağılıma uyduğu ve tedarik süresinin sabit olduğu durum altında ele alınmıştır. Modelde iki ya da daha fazla siparişin herhangi bir zamanda işlem görüyor (outstanding) olması için sipariş yenilemedeki tedarik süresinin yeterince uzun olduğu varsayılmıştır. Her birim zamanda her birim için elde bulundurma maliyeti ve her birim için satış kayıpları maliyeti mevcuttur. Amaç, toplam maliyeti minimum yapmaktır. Temel stok politikaları kayıp satışlar altında optimale yakındır (sub-optimal). Optimal politika, tüm siparişlerin mevcut tedarik sürelerinin tam hesabını dikkate almak zorundadır. Bu çalışmada, peş peşe siparişlerin yerleştirilmesi arasındaki gecikme ile kayıp satış modellerinin, temel stok politikalarının iyileştirebileceği söylenmiştir. Çalışmada 3 politika sunulmuştur. Bunlardan ikisi peş peşe yer alan siparişler arasındaki gecikme ile optimal temel stok politikasının değiştirilmiş olmasını içermektedir. ‘Tam gecikmeli (full delay)’ politika kompleks olmasına rağmen, ihtiyaç duyulan kararı her zaman hesaplamak zorundadır ve gecikme değişken olduğundan dolayı daha az kabul edilebilirdir. ‘Basit gecikmeli’ politikada tüm siparişleri etkileyen sabit gecikmeye karar vermek için birim maliyetler üzerinde çok basit hesaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır ve böylece bu politika analitik, hesaplanabilir ve operasyoneldir. Gecikme politikalarından kazanılan maliyet karları çok büyük değildir, fakat önemsenmeyecek kadar da değildir. Üçüncü politika (saf politika-

naive policy) önceden belirlenmiş sabit ve düzenli aralıklarla yer alan siparişler için düşünülmüştür. Bu politikada sipariş varış oranı ortalama talep oranından daha küçük olduğu sürece kayıp satışlarda durağan olmaktadır. Fakat talebin bir sonraki sipariştten karşılanması durumunda durağan olmayacağı söylenmiştir. Sunulan politikaların performansı temel stok politikası ve sabit ve düzenli varış zamanlarındaki sipariş politikası ile karşılaştırılmıştır.

Dutta ve ark. (2007), çalışmalarında optimizasyonda eş zamanlı ortaya çıkan bulanıklılığın ve rassallığın olduğu sürekli kontrol envanter sistemini ele almışlardır. Bazı envanter modellerinde talebin önemli bir rol oynamasından dolayı, Dutta ve ark. müşteri talebi gibi birleştirilen bulanık rassal değişken ile karıştırılmış (mixed) bir çevrede bir model geliştirmişlerdir. Rassal tedarik süresindeki talep bulanıklaştırıldıktan sonra, bulanık rassal değişken olarak yıllık ortalama talep düşünülmüştür. Tekrar sipariş verme noktası ve optimal sipariş büyüklüğünü belirleyen mükemmel bir metodoloji sunduklarını söylemişlerdir; şöyle ki bulanıklıkta toplam beklenen yıllık maliyet minimum değere sahip olmaktadır. Bulanık rassal değişkenin beklenen değerinin bulanık miktar olmasından dolayı, optimal çözümü başarmak için olasılıklandırılabilir ortalama değer kullanılarak sıralandırılmış bulanık metod benimsenmiştir. Makalede sayısal bir örnek sunulmuştur.

Kopytov ve ark. (2007), çalışmalarında rassal parametrelerle tek-ürünlü iki farklı envanter kontrol modeli sunmuşlardır. Modellerindeki temel amaç, nakliye şirketleri için her bir birim ürünün birim zamanda elde bulundurma, sipariş ve sipariş kayıpları için minimum harcamayı sağlayacak sipariş miktarı ve sipariş işlemi zamanını belirlemektir. İlk modelde sabit tekrar sipariş verme noktası ve sabit sipariş miktarı kontrol parametreleri ile ortalama elde bulundurulan miktar, sipariş miktarı ve ortalama kaybedilen sipariş miktarı hesaplatılmış. İkinci modelde, siparişler arası süre sabit alınmış ve sipariş miktarı sabit stok düzeyi ile sipariş işleminin gerçekleştirildiği andaki ürün miktarı arasındaki fark olarak hesaplanmıştır. Modellerin çözümünde hem analitik hem de simülasyon modeli yaklaşımlarından faydalanmışlardır ve problem çözümü için sayısal örnekler sunmuşlardır.

Kleijnen ve Wan (2007), çalışmalarında beklenen envanter maliyeti değerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Servis düzeyi ya da doluluk oranı kısıtları (rassal simülasyon çıktıları) ve $s \leq S$ kısıtını (deterministik simülasyon girdileri) dikkate almışlardır. Sonuçları 3 optimizasyon metodu ile sunmuşlardır; OptQuest, Karush-Kuhn-Tucker (KKT) ve Brute Force. Sayısal örneklerinde talebin üstel dağılıma, tedariksüresinin poisson dağılımına uyduğunu kabul etmişlerdir. Geliştirdikleri envanter modelinde sürekli kontrol politikasının uygulandığı ve full backlogging söz konusu olduğu söylenmiştir. Sonuçlarını Bashyam ve Fu (1998) çalışmasında geliştirdikleri modelin sonuçları ile karşılaştırmışlar ve kendi sonuçlarının daha iyi olduğunu iddia etmişlerdir. Ayrıca, çoğu yazarın çalışmalarında (Bashyam ve Fu dahil) brute force metotlarını kullandıklarını ve bu metotun gerçek yaşam problemlerine uygulanamayacağını söylemişlerdir. Dolayısı ile kendi geliştirdikleri modelin gerçek yaşamda envanter sistemlerini optimize etmek için kullanabileceğini göstermişlerdir.

Kleijnen, Beers ve Nieuwenhuyse (2008), çalışmalarında stokastik simülasyon modellerinin kısıtlı optimizasyonu için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Simülasyon çıktılarından biri amaç fonksiyon olarak tanımlanmış ve minimize edilmesi amaçlanmıştır. Diğer simülasyon çıktıları ise önceden belirlenen hedef değerleri sağlamalıdır. Geliştirdikleri sezgisel algoritmada, deterministik simülasyon girdileri önceden belirlenmeli ve tamsayı olmalıdır. Sezgisel algoritma; i. Deney tasarımı, ii. Kriging metamodelleme (girdi/çıkıtı fonksiyonlarını belirlemek için), iii. Tamsayılı non-lineer programlama (INLP) adımlarından oluşmaktadır. Geliştirdikleri sezgisel algoritmayı (s,S) envanter sisteminde ve çağrı merkezi sisteminde uygulamışlardır. Ayrıca geliştirdikleri algoritmayı OptQuest ile karşılaştırmışlardır.

Darwish (2008), Stokastik envanter modellerinde ulaşım maliyetinin sabit maliyetin bir parçası olarak ele alındığını ve böylece gönderilen malın büyüklüğünden bağımsız olarak düşünüldüğünü söylemiştir. Darwish çalışmasında ulaşım ve satın alma maliyetlerini sürekli kontrol envanter modeli ile bütünleştirmiştir. Modelde amaç; her birim zaman için beklenen toplam maliyeti minimum yapacak tekrar sipariş verme noktasını ve parti büyüklüğünü bulmaktır.

Modelde miktar ve nakliye ıskontoları dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonunda sayısal bir örnek sunulmuştur ve örnek ulaşım ve satın alma maliyetleri talep stokastik olduğunda parti büyüklüğü ile bütünleştirildiğinde %17.15 kazanç elde edildiğini göstermiştir. Sonuçlar ayrıca, parti büyüklüğü ve emniyet stoğunun ulaşım ve satın alma maliyetlerinden etkilendiğini de göstermiştir.

Darwish çalışmasında geniş çaplı bir literatür taramasına yer vermiştir. Bunlardan bazıları;

Johansen ve Thorstenson (1998) çalışmalarında talep belirsizliğine karşı acil durumda tedarik modunu korumak için fırsatlardan yararlanmayı ele almışlardır. Modellerinde, normal siparişler (r, Q) politikası ile kontrol edilmektedir. Acil siparişler, normal bir sipariş için mevcut dağıtım zamanına bağlıdır. En çok bir normal siparişin işlemde olduğunu ve acil siparişlerin kısa tedarik süresine sahip olduklarını varsaymışlardır.

Axsäter (2007) çalışmasında, Johansen ve Thorstenson'un modelini işlem gören birkaç normal siparişin olmasına izin veren ve acil siparişlerin tedarik süresinin kısa olmasına gerek duymayan bir model ile genelleştirmiştir.

Lee ve Schwarz (2007), acente bakışıyla sürekli kontrol (r, Q) envanter sistemi problemini tasarlamaya ve uygulamaya çalışmışlardır.

Kukreja ve Schmidt (2004), lokasyonlar arasında tamamen stok birleştirilmesine izin veren sürekli kontrol envanter sistemini incelemişlerdir. Modelleri yavaş akan ve pahalı malzemeler için uygundur.

Wang ve Gerchhak (1996), sürekli kontrol envanter sistemi kullanan çevrelerde optimal parti büyüklüğü üzerinde değişken kapasitenin etkilerini analiz etmişlerdir. İki model düşünmüşlerdir; temel ESM modeli ve birikmiş siparişler ile (r, Q) modeli.

Axsäter (1996), stokastik envanter modellerinde çok iyi bir sezgisel olarak hizmet edebilecek normal koşullar altında deterministik ESM formülünü ispatlamıştır.

Song (1994), tedarik süresinin etkisi ve tedarik süresinin optimal envanter kararlarında ve sistem performansındaki değişkenliğini incelemiştir.

Federgruen ve Zheng (1992), optimal (r, Q) envanter kontrol politikalarını hesaplamak için etkili ve basit bir algoritma geliştirmişlerdir.

Browne ve Zipkin (1990), talep birikimlerinin sürekli olduğu fakat her dakikadaki talep oranının stokastik süreç ile bulunduğu (r, Q) envanter modelini incelemişlerdir.

2.2. Sağlık Sektöründe Envanter Yönetimi

Van ve Malstrom (1984), sağlık sektöründe sipariş maliyetinin, depolama alanının ve tedarik dağıtımının azaltılması için bir bütünleştirilmiş malzeme yönetim sistemi tanımlamışlardır. Çalışma 210 yataklı akut tedavi yapan bir devlet hastanesinde gerçekleştirilmiştir. Ekonomik sipariş miktarları, tekrar sipariş verme noktaları ve optimal depolama ve dağıtım stratejileri olarak sınıflandırılma yapılarak üç alt sınıf geliştirilmiştir. Amaçlanan sistemin uygulaması ile hem tedarik hem de envanter maliyetlerinde azalma görüleceği söylenmiştir.

Şatır ve Cengiz (1987) çalışmalarında, bir üniversite sağlık merkezindeki tıbbi envanterlerin kontrolü için stokastik periyodik kontrollü bir model geliştirmişlerdir. Üniversitenin sağlık merkezinden 2000 öğrenci yararlanmaktadır ve merkezde 47 farklı ilaç kullanılmaktadır. İlaçlar genellikle aynı tedarikçiden satın alınmakta ve aynı nakliye yöntemi ile merkeze ulaştırılmaktadır. Tüm prosedür çevrimi 2-3 haftayı bulmaktadır. Problem, amaç fonksiyon stoksuz kalma minimizasyonu ve bütçesel kısıt göz önüne alınarak formüle edilmiştir. Periyodik kontrol modelleri ve elde edilebilir nümerik teknikler içerisinde, (S,T) modeli problemin tanımlanması için kullanılmıştır. Talep ve maliyet verileri, elde edilen üç tıbbi grup (yara ilaçları, soğuk algınlığı ilaçları ve diğer ağrı kesiciler) için kullanılmıştır. Performans kriteri olarak alınan çalışmadaki tıbbi gruplar için stoksuz kalma düzeyleri sonuçları duyarlılık analizi ile analiz edilmiştir.

Kapur ve Moberg (1987) geleneksel ESM modelini biraz değiştirerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Georgetown Üniversite Hastanesinin yıllık envanter dönüşlerini kullanarak, Georgetown Üniversite Hastanesindeki depolar için optimal alan ihtiyaçlarını belirlemişlerdir. Dağıtılan malzeme verilerini malzeme maliyeti ve

büyüklüğü ile beraber 6 ay boyunca analiz etmişler ve bu analizin sonucunda ekonomik sipariş miktarı, tekrar sipariş verme noktası, emniyet stoğu, hacim ihtiyacı ve yıllık dönüşleri belirlemişlerdir. Geliştirdikleri metodolojinin avantajı harici ambar veya dahili tesis inşasından kaçınarak, azaltılabilir alan ihtiyacı gibi kabul edilebilir yıllık dönüşler için malzeme yönetim sisteminin düzenlenebilir olmasıdır.

Kwak ve ark. (1991), envanter kontrol kavramlarını kullanarak hastaneler için damar-içi akışkanların optimal düzeyde satın alımına karar verilmesi ile ilgilenmişlerdir. Ekonomik sipariş miktarının (ESM) kavramsal çatısı kullanarak hastane yöneticilerinin malzeme yönetimini daha verimli bir şekilde gerçekleştirebileceğini söylemişlerdir. Satın almayı optimize eden bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Sonuçta, hastanelerin hizmet kalitesinden ödün vermeden hem depo alanını hem de maliyeti azaltabileceğini bildirmişler ve geliştirdikleri modeli Amerika’da bir çocuk hastanesinin verilerini kullanarak uygulama yapmışlardır.

Dellaert ve Poel (1996), akademik bir hastanede global envanter kontrolü ile ilgili yapılan çalışmaları incelemişler ve hastane yönetiminin iyi bir performans ile çalışan basit bir envanter kontrol modeline ihtiyaç duyulduğunu fark etmişlerdir. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için hastanenin satın alma departmanındaki kişilerin modeli anlayabilmeleri gerekmektedir. Ayrıca, envanter kontrol sisteminin veritabanı çevresinden dolayı modelin kontrol parametrelerinin çok basit bir yolla belirlenmesi gerekmektedir. Hastaneye alınacak çoğu malzemenin ortak bir tedarikçiye sahip olması ve belirli bir tedarikçiye verilen siparişlerin haftanın aynı gününde yer almasından dolayı Dellaert ve Poel bir ESM modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model (R, s, c, S) olarak adlandırılmaktadır. Bu modelde kontrol parametreleri; s , c ve S ’nin değerleri çok sezgisel bir yolla belirlenmektedir. Sonuç olarak; geliştirdikleri modelin performansının kontrol parametreleri daha sofistike bir yolla belirlenen bir modelin performansı ile karşılaştırabilecek sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Huang (1997) çalışmasında, Tayvan’daki hastanelerin malzeme yönetimi için bir anket çalışması yapmıştır. 1995 yılı itibari ile Tayvan’da sigorta politikası değişmeye başlamış ve bu değişimin etkisi ile hastaneler çalışma verimlerini

geliştirme ihtiyacı duymuşlardır. Hastanelerdeki ilk üretkenlik gelişimi malzeme maliyetlerinin azaltılması olmuştur. Çünkü Tayvan’da hastanelerde malzeme maliyetine ayrılan bütçenin ortalama %30-%40 civarında olduğu söylenmiştir. Çalışmada, Tayvan’daki hastaneleri farklı tipteki malzeme yönetim sistemlerine göre sınıflandırmak için bulanık kümeleme yöntemi (fuzzy clustering method) kullanılmıştır. Envanter geri dönüş oranı (turnover rate) ve dolum oranı (fill-rate) farklı malzeme yönetim sistemleri arasında çoklu değişken varyans analizi (MANOVA) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; farklı malzeme yönetim sistemlerinin hem envanter geri dönüş oranı hem de dolum oranı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Spedding (1998) çalışmasında zaman-safhalı sipariş noktaları mantığını ele almıştır. Sağlık sektöründe ve diğer hizmet sektörlerindeki envanter planlamacıları bilinen tekrar sipariş verme noktalarına alternatif olacak bir yöntem geliştirebilirler. Bu yöntem zaman-safhalı sipariş noktaları mantığıdır. Bu yöntem 20 yılı aşkın süre öncesinde geliştirilmiş ve üretim sektöründe malzeme ihtiyaç planlamada kullanılmaktadır. Malzeme ihtiyaç planlamada bilgisayar yardımı ile malzemelerin yerleşimi planlanmaktadır.

2.3. Sağlık Sektöründe Simülasyon Çalışmaları

Ridge ve ark. (1998), yoğun bakım ünitelerinde yatak kapasite planlaması için simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelin ilk aşamasında hastalar; planlanan hastalar, tüm hastalar ve acil hastalar olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. İkinci aşamasında ise hastaların günlük geliş sayıları, geliş dağılımları, reddedilme sayıları ve ortalama yatış süreleri gibi özellikleri analiz edilmiştir.

Modelde acil hastalara yüksek öncelik verilmiş ve boş yatak olması durumunda sisteme alınmışlardır. Planlanan hastalar ise boş yatak olmaması durumunda sistemde bekletilmiştir. Yatak sayısı ile ortalama transfer edilen acil hasta sayısı, yatak sayısı ile yatak doluluk oranı, planlanan hastaların reddedilme periyodu ile acil ve planlanan hastaların reddedilme oranı, acil hastalara yatak tahsis

edilmiş iken reddedilen toplam hasta sayısı ve günlük boş yatak sayısı değişkenlerinin ilişkileri incelenmiştir.

Groothius ve ark.(2000), kardiyoloji ünitesindeki kateterizasyon odalarının kapasite kullanımını optimize etmek için kesikli olay simülasyonunun kullanılabilir olup olmadığını göstermeye çalışmışlardır.

Kurulan simülasyon modelindeki ilk strateji belli bir saatten sonra hasta muayenesine izin verilmemesidir. İkinci strateji ise her gün muayene edilen hasta sayısının sabit alınmasıdır. Bu iki strateji için mevcut sistemi test etmişlerdir. Performans ölçütü olarak muayene edilen hasta sayısı ve çalışılan günün sürekliliğini dikkate almışlardır.

Groothuis ve ark. (2004), kalp yetmezliği sebebiyle acil giriş yapan hastalar için yeterli kapasiteyi simülasyon modeli ile incelemişlerdir. Hastalar üç gruba ayrılmışlar ve her grubun tedavi aşamaları, geliş dağılımları, ortalama yatış süreleri, tekrar giriş sayıları özelliklerini tanımlamışlardır. Sonuçta; yatak doluluk oranının % 70 olduğu ve kesikli olay simülasyonunun kardiyoloji ünitesinde kapasite analizi için kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Nguyen ve ark. (2005), cerrahiye ve dahiliye birimlerinde optimum yatak sayısını belirlemek için simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde yatak doluluk oranlarını dikkate alarak yeni bir yöntem sunmuşlardır. Geliştirdikleri yöntem; acil hastaların yatak sayısının eşik değerinden daha az olduğu gün sayısı, boş yatak sayısının eşik değerinden fazla olduğu gün sayısı ve yatak doluluğu sebebiyle transfer edilen hasta sayısı parametrelerinin puanlandırılmasına dayanmaktadır.

İlk parametre ile çok sayıda boş yatak bulunmasını ve bu sebeple ortaya çıkacak maliyet yükünü azaltmayı, ikinci parametrede reddedilme miktarını ortaya koymayı ve üçüncü parametrede ise ünitelerin doluluğunu ve yeni hastaların kabul edilebilirliğini ortaya koymayı amaçlamışlardır.

Cochran ve Barti (2006), özel bir hastanedeki tüm ünitelerin 2003 yılına ait verilerini toplayarak, hastanenin tüm ünitelerinin yatak kapasitelerini optimize etmek için kuyruk modelleri ve kesikli olay simülasyonundan oluşan iki aşamalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Hasta gelişlerini maksimum yapacak simülasyon modeli için aşağıdaki adımları izlemişlerdir:

- İstenen seviyede süreç akış şemaları oluşturulmuş,
- Model için gerekli tüm veriler, bu verilerin kaynakları ve toplanma dönemleri belirlenmiş,
- Farklı tipteki hastalar analiz edilmiş ve hasta yatış süreleri ve hasta gelişleri için olasılık dağılımı uydurulmuş,
- Uç durumlar Open-Jackson kuyruk ağı ile modellenmiş ve sistemdeki optimum yatak alokasyonu ile hasta akışlarını dengelenmiştir.

Simülasyonda, Arena paket programı kullanılmıştır. Modeldeki performans ölçütleri:

- Hastane doluluğu,
- Ünitelerdeki yatak doluluk oranı,
- Kuyruk uzunluğu,
- Bekleme süresidir.

2.4. Literatürün Genel Değerlendirilmesi

Ek-1’de (r,Q) envanter yönetimi ile ilgili incelenen çalışmalar, kullanılan envanter modellerine göre sınıflandırılmıştır. Ek-1’de görüldüğü gibi hem talebin hem de tedarik süresinin rassal olduğu çalışmalar azdır. İncelenen çalışmalar içerisinde Mohebbi ve Hao (2006) ve Kopytov ve ark. (2007) çalışmalarında hem talep hem de tedarik süresi rassal alınmıştır. Ancak, literatürde (s,S) envanter modellerine göz gezdirdiğimizde, hem talebin hem de tedarik süresinin rassal olduğu bazı çalışmalara rastlamak mümkün olmaktadır (Bashyam ve Fu (1998), Kleijnen ve Wan (2007), Kleijnen ve ark. (2008)). Bu çalışmalarda toplam maliyeti minimum yapacak s ve S düzeyleri simülasyon optimizasyon yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde, simülasyon optimizasyon konusunda yapılan araştırmalarda sürekli değişkenlere odaklanıldığı görülmektedir (Fu, 2002). Huang ve ark. (2006), çalışmalarında sürekli değişkenler ile kısıtlayıcısız optimizasyon problemlerini incelemişlerdir. Bashyam ve Fu (1998), çalışmalarında tek kısıt ile sürekli optimizasyon problemine odaklanmışlardır.

Stokastik simülasyonlar için tamsayılı kısıtlayıcı optimizasyon üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır (Kleijnen ve ark., 2008). Driessen ve ark. (2006), çalışmalarında tamsayılı optimizasyon problemleri için lokal yaklaşımlar kullanmışlardır. Davis ve Ierapetritou (2007), çalışmalarında Kriging meta-modelleme ile Response Surface modellemeyi birleştirerek kısıtlayıcı optimizasyon yapmışlardır. Kleijnen ve ark. (2008) stokastik simülasyon modellerinin kısıtlı optimizasyonu için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Literatürü incelediğimizde, özellikle kesikli olay simülasyon modellerinde girdi faktörleri kesikli değişkenlerden oluşmaktadır (Kleijnen ve ark., 2008) ve optimizasyon problemlerinde rassal kısıtlar için mevcut iyi algoritmaların sayısı oldukça azdır (Fu, 2002). Bu nedenlerle biz çalışmamızda, stokastik simülasyon modellerinin kısıtlayıcı non-lineer optimizasyonu için yeni bir algoritma geliştirdik. Geliştirdiğimiz algoritma; i. Deneysel Tasarım, ii. Lineer ve non-lineer regresyon modelleri temelli meta-modelleme, iii. Tamsayılı doğrusal olmayan programlama adımlarından oluşmaktadır. Algoritmamızda girdi değişkenleri tamsayı değişkenlerdir ve algoritma gerçek veriler üzerinde uygulanmıştır.

Literatürde yer alan envanter modellerinin çoğu üretim sektöründe yapılmıştır. Bu nedenle de yapılan çalışmalarda talebin bekletilmesi ve bir sonraki sipariştten karşılanması mümkün olmaktadır. Sağlık sektöründe envanter modeli çalışmaları oldukça azdır (Sees, 1999). Bizim çalışmamız literatürdeki bu eksikliği de dikkate almış ve sağlık sektöründe envanter optimizasyonu modeli kurmuştur. Çalışma bir araştırma hastanesinde uygulandığından, üretim sektöründe olduğu gibi talebin bekletilmesi ve bir sonraki sipariştten karşılanması mümkün olmamaktadır.

Ek-2’de incelenen makaleler yıl, çalışmanın amacı ve kullanılan yöntemler olarak sınıflandırılmıştır.

3. MATERYAL ve METOD

Malzeme stok yönetimi alanında yapılan çalışmalarda tedarik süresi ve taleplerin rassal veya deterministik olduğu durumlar dikkate alınarak stokastik yaklaşımlar veya deterministik yaklaşımlar uygulanmıştır.

Malzeme stok yönetimi alanında yapılan çalışmaların çok azı sağlık sektöründe olup, genellikle önerilen metotların uygulanmasına yer verilmemiştir.

Bu çalışmada, talebin rassal değiştiği ve tedarik süresinin karar değişkeni olduğu durum için hem stokastik metotların hem de deterministik metotların kombinasyonundan oluşan yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve geliştirilen yaklaşım bir araştırma hastanesinden alınan gerçek veriler ile test edilmiştir. Çalışmada ayrıca hem talebin ve hem de tedarik süresinin rassal olduğu durum için çoklu malzeme problemi ele alınmıştır.

3.1. Materyal**3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler**

Çalışmada N üniteden oluşan bir araştırma hastanesi dikkate alınmıştır (Bkz. Giriş Bölümü, Şekil 1.2.). Hastanede her bir üniteye hasta gelişleri rassal olmaktadır. Hastalar giriş yaptıkları üniteden hastaneyi terk edebildikleri gibi, üniteler arası hasta geçişleri olabildiğinden başka bir üniteden de hastaneyi terk edebilmektedirler.

Herhangi bir malzemenin optimum stok seviyesi malzemenin kullanılmakta olan hastanedeki hasta sayısı, hasta yatış süresi, birim hasta yatış için günlük malzeme tüketim miktarı ve hastaların üniteler arası geçiş oranı parametrelerine bağlıdır. Dolayısı ile bu parametrelerin zamanla değişiminin belirlenmesi için aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulacaktır;

- i. Hastanede kullanılmakta olan tüm tıbbi malzemelerin ve ilaçların listesi ve kullanım bilgileri,
- ii. Liste içerisinde belirlenen tıbbi malzemenin mevcut satın alma politikası bilgileri (malzeme alım yöntemi, alım için gerekli hazırlık

- süresi, alım sürecinde görev alan kişiler, malzeme teslim süreleri bilgileri vs.),
- iii. Malzemenin özellikleri bilgileri (raf ömrü, stok koşulları, vs.),
 - iv. Belirlenen malzemenin hastanede hangi birimlerde kullanıldığı bilgileri,
 - v. Her üniteye hasta geliş sıklığı bilgileri,
 - vi. Her üniteye reddedilen hasta sayısı bilgileri,
 - vii. Her üniteye hasta yatış süreleri bilgileri,
 - viii. Hastaların üniteler arası geçiş sıklığı ve üniteler arası geçişte takip ettikleri yol bilgileri,
 - ix. Birim hasta yatış süresi için söz konusu malzemenin kullanım miktarı bilgileri,
 - x. Malzemenin sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti, satın alma maliyeti ve taşıma maliyeti bilgileri.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Çalışmada, araştırma hastanesinde kullanılan tüm tıbbi malzemelerin ve ilaçların bilgileri Excel veri tabanına aktararak, bu malzemeler içerisinde az sayıda yüksek değerli malzemelerin ABC Analizi ile belirlenmesi için MS Office Excel 2003 kullanılmıştır.

Hastaneye hasta gelişleri, yatışları, üniteler arası geçişler ve malzeme kullanımları rassal olmaktadır. Bu verilerin olasılık dağılımlarının belirlenebilmesi için çalışmada Statistica 6.0 ve EasyFit 4.0 yazılımlarının deneme versiyonları kullanılmıştır.

Statistica, veri madenciliği, bilim ve mühendislik uygulamalarında temel ve gelişmiş analitik süreçlerin seçimi, veri analizi, grafikler, veri tabanı yönetimi için StatSoft tarafından geliştirilmiş çok yönlü bir istatistiksel analiz yazılımıdır (www.statsoft.com).

EasyFit, otomatik ya da manuel olarak verilere dağılım uydurmada kullanılan bir MathWave ürünüdür. Tek başına ya da Microsoft Excel ile kullanılabilir. 40'ın üzerinde kesikli ve sürekli dağılımı desteklemektedir (www.mathwave.com).

Belirlenen hasta geliş, hasta yatış, hasta red ve malzeme kullanım sıklığı dağılımlarını kullanarak ortaya konulan politikalara yönelik simülasyon modelleri Arena 9.0 paket programının deneme versiyonu ile oluşturulmuştur.

Arena; tedarik zinciri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama ve servis sistemleri ile ilgili önemli ve karmaşık yeniden-tasarımlardaki değişimlerin etkisini analiz etmek için Rockwell Software şirketi tarafından tasarlanmış bir simülasyon modelleme yazılımıdır. Windows ortamında çalışmaktadır. İçerdiği başlıca senaryolar;

- i) Malzeme taşıma komponentlerini içeren herhangi bir üretim sisteminin detaylı analizi,
- ii) Kompleks müşteri servis ve müşteri yönetim sistemlerinin analizi,
- iii) Depolama, nakliye ve lojistik sistemlerini içeren global tedarik zinciri analizi,
- iv) Maliyetler, üretim miktarı, çevrim zamanları, kullanımlar gibi anahtar metrikler temelinde sistem performansı tahmini,
- v) Kaynak kullanımı aşımında ve kuyruk yapılarındaki darboğazların belirlenmesi,
- vi) Personel, ekipman ya da malzeme ihtiyaç planlamasıdır (Arena User's Guide, 2004).

Simülasyon modeli sonucunda elde edilen değerlere Design Expert 7.0 paket programının deneme versiyonu yardımıyla regresyon analizi uygulayarak elde bulundurulmuş ortalama malzeme miktarı ve yıllık ortalama sipariş sayısının Q ve r 'ye bağlı olarak matematiksel fonksiyonları elde edilmiştir.

Design Expert, Stat-Ease tarafından geliştirilmiş deneysel tasarım yazılımıdır. Windows tabanlı program ile süreci ya da ürünü optimize etmede kullanılır. İki-düzeyle faktör analizi, genel faktör analizi, tepki yüzeyi metotları, karmaşık tasarım teknikleri gibi birçok güçlü istatistik araçları sağlamaktadır (Design Expert User's Guide, 2000).

Oluşturulan matematiksel modelin çözümü ve çözümün geçerliliğinin test edilmesi için LINGO 8.0 paket programının deneme versiyonu kullanılmıştır.

LINGO, LINDO Sistem Inc. şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir en iyileme yazılımı ve modelleme dilidir. Daha önce DOS ortamında kullanılan LINDO ve GINO yazılımlarının bir araya getirilmesi ve yeni özelliklerin eklenmesi ile oluşturulmuştur. En önemli iki yenilik, LINGO'nun bir modelleme dili olarak tasarlanması ve Windows ortamında çalışmasıdır. Böylece matematiksel modellerin kapalı formda yazılması sağlanmış, diğer Windows programlarıyla kolay bilgi alış veriş mümkün hale gelmiştir. LINGO, çözebildiği karar modeli boyutlarına göre Çizelge 3.1.'de belirtilen isimlerle anılmaktadır (LINGO Kullanım Kılavuzu, 2003).

Çizelge 3.1. LINGO Versiyonları

İsim	Toplam Değişken Sayısı	En Büyük Tamsayı Değişken Sayısı	En Büyük Doğrusal Olmayan Değişken Sayısı	En Büyük Kısıt Sayısı
Demo/Web LINGO	300	30	30	150
Solver Suite LINGO	500	50	50	250
Super LINGO	2000	200	200	1000
Hyper LINGO	8000	800	800	4000
Industrial LINGO	32000	3200	3200	16000
Extended LINGO	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız

OptQuest, Arena yazılımının optimizasyon yapmak için kullanılan bir araçtır. Simülasyon modellerindeki optimal çözümleri araştırmayı sağlar. OptQuest Tabu Search, Neural Networks ve Scatter Search metasezgisellerinin kombinasyonundan oluşan bir sezgiseldir (OptQuest User Guide, 2004).

3.2. Metod**3.2.1. Çalışmada Kullanılan Metodlar**

Çalışmada öncelikle problem tanımlanmıştır. Problem tanımlandıktan sonra problemin çözümü için gerekli veriler toplanmıştır. ABC analizi ile A grubunda yer alan malzemeler belirlenmiştir.

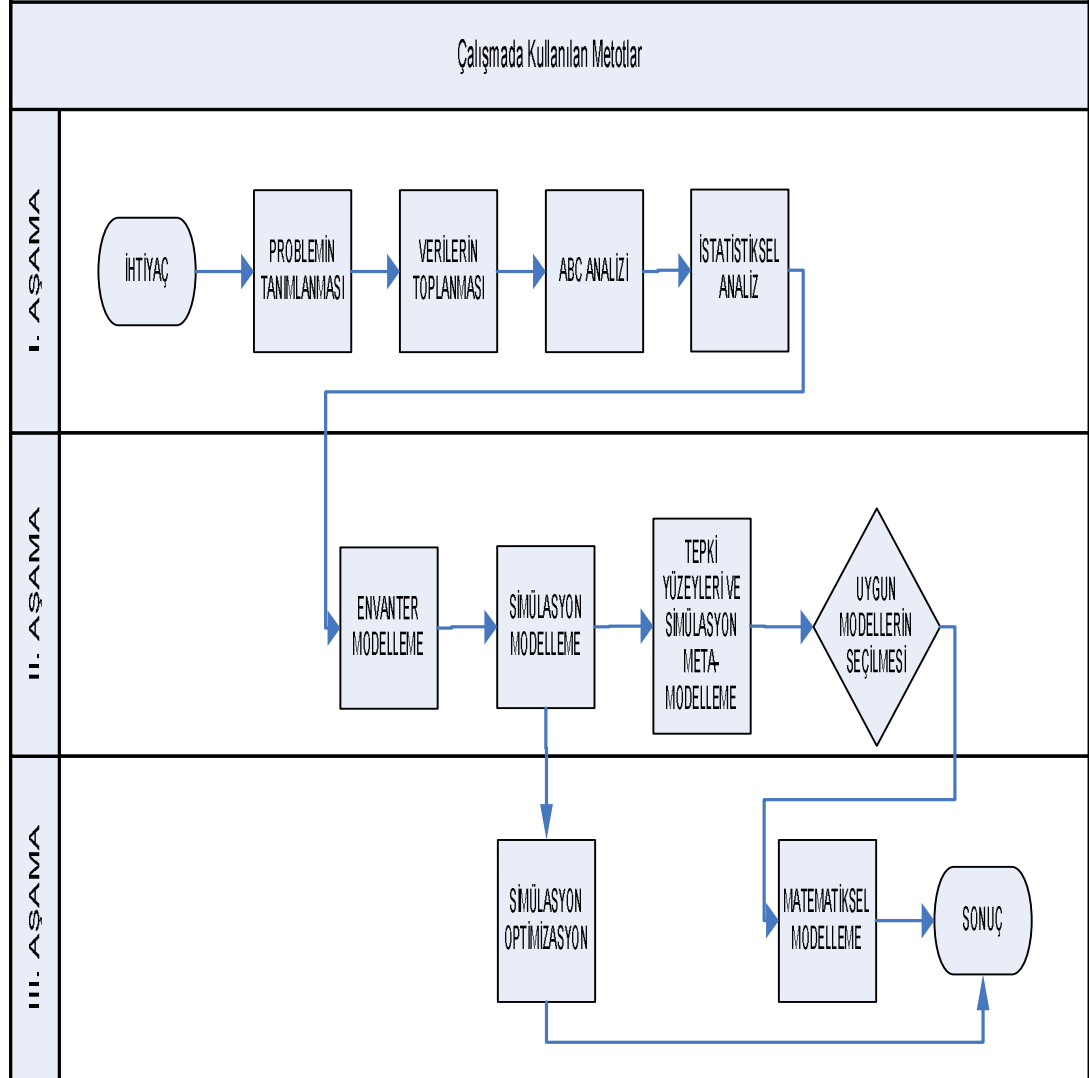
İstatistiksel analiz bölümünde Ki-kare ve Kolmogorov-Simirnov testleri kullanılarak hasta gelişleri, hasta redleri, hastaların tedavi süresince yatış süreleri ve tedavi süresince kullandıkları malzeme miktarları için olasılık dağılımları belirlenmiştir.

Envanter maliyetleri, envanter modellemede dikkate alınacak değişkenler, envanter modelinde kullanılacak stok izleme yaklaşımı ve kullanılacak envanter modeli envanter modelleme bölümünde ele alınmıştır.

Malzeme temininde hazırlık süresi ve teslim süresine bağlı olarak tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesi ilk simülasyon modelinde, elde bulundurulan ortalama malzeme miktarı ve yıllık ortalama sipariş sayısı optimum sipariş miktarı ve tekrar sipariş verme noktasına bağlı olarak ikinci simülasyon modelinde hesaplatılmıştır.

Simülasyon modelleri oluşturulan deney setlerine göre çalıştırılmış ve elde edilen simülasyon çıktılarına regresyon analizi yapılarak matematiksel modellemede kullanılacak kısıt denklemleri elde edilmiştir. Matematiksel modelleme ile de toplam malzeme maliyetini minimum yapacak matematiksel model kurulmuştur.

Ayrıca ikinci bir optimizasyon yöntemi olarak simülasyon optimizasyon yöntemi kullanılarak toplam maliyeti minimum yapan r ve Q değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan metodların akışı şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Metotlar

3.2.2. ABC Analizi

ABC Analizi, envanteri oluşturan maddeler arasındaki karışımın saptanmasına dayanır ve envanter kontrolünde kullanılan en eski yöntem olarak bilinir. Analiz; envanter karışımını oluşturan ürünleri satış durumlarına göre önem derecelerini göz önünde bulundurarak bir sıraya konulmasını gösterir. İşletmenin materyal stokunun yöneticisi bilgi ve görgüsüne, uygulamalara ve gelecek ile ilgili

öngörülerine dayanarak envanter karışımını oluşturan maddeleri satın alabilme derecelerine göre sıraya koyabilir. Envanter kontrolünde ABC Analizi; nicel bir yöntem olup, amacı önemli ile önemsizi ayırt etmek, rasyonelleştirme çalışmalarının ekonomik ağırlığını ekonomik anlam taşıyan alanlara yöneltmek ve ekonomik ilkeye göre en az gider ile optimum (en iyi) kazancı sağlamaktır. ABC Analizi; az sayıda yüksek değerli ya da cirosu yüksek materyallerin (A-Grubu) toplam maliyet giderlerinin önemli dilimini ve çok sayıdaki az değerli ya da cirosu düşük materyalin (C- Grubu) toplam maliyetlerinin çok az bir dilimini oluşturduğunu gösterir. İki grubun ortasında orta derecede önem taşıyan B-Grubu yer almaktadır (Demir ve Gümüšoğlu, 2003).

A Grubu Malzemeler; Stoklanan tüm malzemelerin %5 - %20'sini, fakat bunların satış, kar, yatırılan sermaye gibi parasal değerleri ise toplam değer %55 - %65'ni oluşturan malzemelerdir. B Grubu Malzemeler; Stoklanan tüm malzemelerin %20 - %30'nu, fakat tüm parasal değerlerin ise %20 - %40'ı oluşturan malzemelerdir. C Grubu Malzemeler; Envanter aralığı en fazla olan bu malzemeler toplam stok malzemelerinin %50 - %75'ni fakat parasal değer %5 - %25'ni oluştururlar (Öztürk, 2005).

Çalışmada belirlenen hastanede kullanılan tüm tıbbi malzemeler ve ilaçlar MS Office Excel Programı kullanılarak birim fiyatlarına, kullanım miktarlarına ve toplam maliyetlerine göre sınıflandırılmıştır. YYBÜ'de kullanılan yaklaşık 500 üzerindeki ilaç ve tıbbi malzeme, toplam maliyetlerine göre sınıflandırılmıştır. Maliyete göre sınıflandırılan malzemeler, maliyeti en çok olandan en az olana doğru sıralandırılmıştır. Bu sıralama ile az sayıda yüksek değerli (maliyet giderlerinin önemli dilimini oluşturan) A-Grubu malzemeler, orta derecede önem taşıyan B-Grubu malzemeler ve çok sayıdaki az değerli C-Grubu malzemeler belirlenmiştir.

3.2.3. İstatistiksel Analiz

3.2.3.1. Olasılık Dağılımlarının Seçimi

Çalışmanın yapılabilmesi için hastaların hasta geliş, hasta yatış, hasta red ve hastaların tedavi gördükleri süre boyunca belirlenen malzemeden kullanım miktarlarına ait veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirilen verilerin hangi dağılıma uyduğunu belirlemek için hem “Statistica 6.0” hem de “EasyFit 3.2” kullanılmıştır. Veriler Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda en uygun olasılık dağılımı belirlenerek kullanılmıştır.

Ki-Kare Testi: Temelde bu test, öne sürülen dağılımın yoğunluk veya kütle fonksiyonu ile toplanan gözlemlere dayanarak oluşturulan histogramdaki gözlem frekanslarının karşılaştırılmasına dayanır. Testin adımları aşağıda sıralanmıştır (Law ve Kelton, 1991):

- Uydurulan dağılımın dağılım aralığının k tane komşu aralığa bölünmesi,
- Her bir aralığa düşen gözlem sayısının (frekansının) belirlenmesi,
- Gözlemlerin uydurulan dağılımdan olması halinde, j-inci aralıkta gözlem elde etme olasılığının (p_j) hesaplanması:

Bu olasılık sürekli dağılımlar için:

$$p_j = \int_{a_{j-1}}^{a_j} \hat{f}(x) dx \quad (3.1.)$$

Burada $\hat{f}(x)$ uydurulan dağılımın tahmin edilen yoğunluk fonksiyonudur.

Kesikli dağılımlar için:

$$p_j = \sum_{a_{j-1} \leq x < a_j} \hat{p}(x_i) \quad (3.2.)$$

Burada $\hat{p}(x_i)$ uydurulan dağılımın tahmin edilen kütle fonksiyonudur.

- Test istatistiğinin hesaplanması:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(N_j - np_j)^2}{np_j} \quad (3.3.)$$

- Karar kuralı: Eğer $\chi^2 > \chi_{k-1,1-\alpha}^2$ ise H_0 hipotezini reddet. Burada $\chi_{k-1,1-\alpha}^2$ Ki-kare çizelgesinden k-1 serbestlik ve 1- α güvenlik seviyesine karşı gelen kritik değerdir. Eğer gözlemler öne sürülen dağılıma uysaydı, χ^2 istatistiğinin küçük olmasını beklerdik.

Kolmogorov-Smirnov Testleri: Kolmogorov-Smirnov (K-S) uyum iyiliği testlerinde, gözlemlerden elde edilen ampirik dağılım öne sürülen dağılımın dağılım fonksiyonu $\hat{F}$ ile karşılaştırılır. Testin adımları aşağıda sıralanmıştır (Law ve Kelton, 1991):

- $X_1, X_2, \dots, X_n$ gözlemlerinden ampirik dağılım fonksiyonunun oluşturulması,
- Bütün x değerleri için $F_n(x)$ ile $\hat{F}(x)$ arasındaki dikey farklar içerisinde en büyüğünün hesaplanması,
- Burada bir A kümesinin “sup” değeri, A’nın bütün elemanlarına eşit veya daha büyük olan en küçük değeridir. Maksimum sapma (D_n) hesaplanır:

$$D_n^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \hat{F}(X_{(i)}) \right\}, D_n^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right\}, D_n = \max \{ D_n^+, D_n^- \}$$

- Karar kuralı: Maksimum sapmanın büyük olması gözlemlerin dağılıma uymadığı yönünde bir delildir. $D_n > d_{n,1-\alpha}$ olduğunda H_0 hipotezi reddedilmelidir.

3.2.3.2. Çalışmada Gerekli Olasılık Dağılımları

Çalışmada, ABC analizi ile belirlenen malzemenin hastanede kullanılmakta olan her bir birimi için;

- i) Hasta gelişlerinin sıklığı,
- ii) Hasta yatış süreleri,
- iii) Reddedilen hasta sıklığı,

iv) Malzeme kullanım sıklığı olasılık dağılımlarına ihtiyaç vardır.

Ki-Kare ve/veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak bu olasılık dağılımları belirlenmiştir.

3.2.4. Envanter Modelleri

3.2.4.1. Envanter Maliyetleri ve İlgili Değişkenler

İşletmeler için envanterlerin parasal yönü envanter politikasının belirlenmesinde önemlidir. Çünkü envanter nedeni ile işletme türlü parasal sıkıntılara katlanmak zorunda kalır. Envanter modellerinin amacı en düşük maliyeti sağlayacak stok düzeyini tutmaktır.

Envanter modellerinde dikkate alınan maliyetler şunlardır (Öztürk, 2005):

- **Satın alma maliyeti:** Sipariş edilen malın satın alındığı kaynağa fiilen ödenen fiyattır.
- **Sipariş maliyeti:** Sipariş edilen envanterlerin neden olduğu maliyetler olup söz konusu maliyet, sipariş miktarına bağlı ve bağlı olmamasına göre ayrılabilir. Sipariş miktarına bağlı olan maliyetler sipariş miktarı artarken azalır ve azalırken de artar. Sipariş maliyetleri sabit taşıma maliyetlerini, teslim alma maliyetlerini, işçi ücretlerini, kontrol ve kayıt maliyetlerini, paketlenmeyen malların maliyetlerini, pul, kağıt, baskı, posta ve telefon gibi maliyetleri içermektedir.

Çalışmada, sipariş maliyetinin sipariş miktarına bağlı olmadığı durum ele alınmıştır.

- **Elde bulundurma maliyeti:** Stokların bulundurulması sonucu doğan maliyettir. Bu maliyet birçok etkene bağlıdır. Birinci etken sermaye etkenidir. Stoklara yatırılan nakitler genellikle borç alındığında bir faiz maliyeti ile karşılaşılır. Öte yandan eldeki nakit stoklara yatırıldığından başka alanlardaki gelir getirici yatırımlarda kullanılamaz. Böylece bir fırsat maliyeti ile karşılaşılır. Fırsat maliyeti herhangi bir mal ve hizmeti üretmek için belirli miktarda diğer mal ve hizmetten vazgeçmektir.

Elde bulundurma maliyetini belirleyen öteki etkenler olarak da şunları sayabiliriz; stoka gidilmesi halinde fiziksel bozulma, yıpranma ve moda dışı kalma ile karşılaşılan kayıplar; stokların bakım, işleme, kayıt ve sayımı ile ilgili maliyetler; sigorta maliyetleri; vergiler ve depolama maliyetleridir.

- **Stok tükenme maliyeti:** Bir talep meydana geldiğinde eldeki mal yeterli değilse, yeni talebi karşılayacak mal stoku yoksa işletme yönünden ortaya çıkan maliyete stok tükenme veya stok bulundurmama maliyeti denir.

Envanter modellerinde dikkate alınan değişkenler (Öztürk, 2005):

- Talep (deterministik ya da stokastik olabilir),
- Tedarik süresi: Bir siparişin verildiği zaman ile malların teslim alındığı zaman arasındaki süre olarak tanımlanır. Tedarik süresi deterministik ya da stokastik olabilir.
- Üretim hızı: Mallar işletmede üretiliyorsa malların üretim hızı da etkili bir değişken olacaktır.
- Sipariş sayısı.

Envanter modellerinde stok izleme yaklaşımları:

- i) Sürekli gözden geçirme yaklaşımı: Bu yaklaşımda stoklardaki ürünler sürekli kontrol edilir. Herhangi bir ürünün stok düzeyi kritik bir düzeye indiğinde sabit bir miktar sipariş verilir. Bu kritik düzey tekrar sipariş verme noktası, R, olarak adlandırılır (Ulucan, 2004).
- ii) Periyodik gözden geçirme yaklaşımı: Bu yaklaşımda sipariş verme 1 gün, 1 hafta ya da 1 ay gibi sabit periyotlarla yapılır. Her periyot sonunda stok düzeyleri gözden geçirilir. Ne kadar sipariş verileceği belirlenir. Sipariş miktarı sabit değildir (Ulucan, 2004).

3.2.4.2. Deterministik Envanter Modelleri

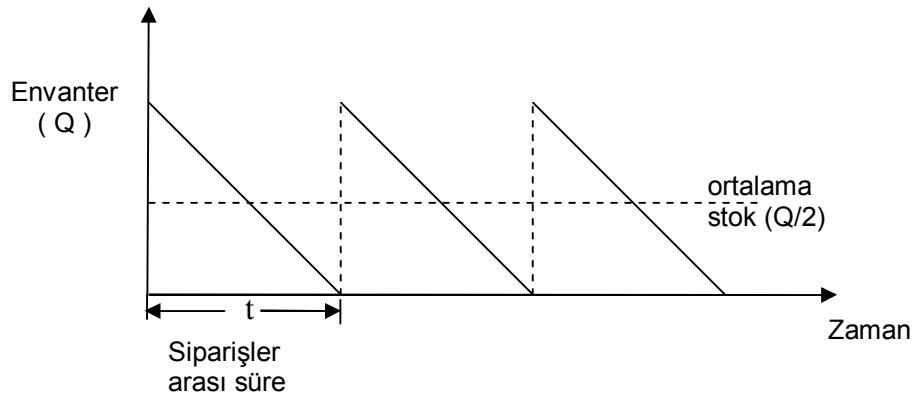
Envanter modelini oluşturmada temel amaç, her bir malzeme için ne zaman, ne kadar sipariş verileceği sorularına maliyeti minimum yapacak şekilde cevap bulmaktır.

Ekonomik sipariş miktarı modeli: Bu modelde dikkate alınan varsayımlar şunlardır; dönem başına talep kesin ve talep hızı sabittir, malların siparişi eşit aralıklarla verilir, malların fiyatı sabittir, sipariş edilen malların ulaşımı bir anda olmaktadır, stok tükenmesi durumu söz konusu değildir, tedarik süresi kesin olarak bilinmekte veya sıfırdır (Öztürk, 2005).

Söz konusu varsayımlardan sonra ortaya çıkan durum şudur. Siparişler bir anda ve eldeki stoklar sıfır düzeyine ulaştığında verilmektedir. Bu durumu açıklayan envanter modeli şekil 3.2.'de görölmektedir (Öztürk, 2005).

Modelin toplam maliyeti, üç maliyet bileşimi toplamıdır.

$$\text{Yıllık toplam maliyet} = \text{Yıllık sipariş maliyeti} + \text{Yıllık elde bulundurma maliyeti} + \text{Satın alınan malların yıllık maliyeti}$$



Şekil 3.2. Ekonomik sipariş miktarı modeli (Öztürk, 2005)

3.2.4.3. Stokastik Envanter Modelleri

Talebin ve/veya tedarik süresinin bir olasılık dağılımıyla tanımlandığı modellerdir. Geliştirilen modeller geniş anlamda sürekli ve periyodik gözden geçirme durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Periyodik gözden geçirme modeli tek periyotlu ve çok periyotlu durumların her ikisini de içerir (Taha, 2000).

Sürekli gözden geçirme modellerinde iki model açıklanacaktır (Taha, 2000):

1. Kısmi olasılıklı ekonomik sipariş miktarı (ESM) modeli, 2. Tam olasılıklı ekonomik sipariş miktarı (ESM) modeli.

i) Kısmi Olasılıklı ESM Modeli: Bu model, bütün bir planlama dönemi boyunca stok düzeyine sabit bir tampon stoku yükleyen bir yaklaşımın kullanılmasıyla talebin olasılıklı yapısını yansıtması için geliştirilmiştir. Tedarik süresi boyunca stok boşalma olasılığıyla belirlenen emniyet stoku büyüklüğü önceden belirlenen bir değeri aşamaz.

Modelin temel varsayımı, tedarik süresi (L) boyunca talebin (x_L), ortalaması μ_L ve standart sapması σ_L olan bir normal dağılıma uygun olarak dağılmasıdır.

ii) Tam Olasılıklı ESM Modeli: Bu model, kısmi olasılıklı ESM modelinin aksine talebin elde bulundurmamasına izin verir. Bu politikada stok tekrar sipariş verme noktası (r) düzeyine düştüğünde Q miktarda siparişin verilmesini gerektirir. r , siparişin verilmesi ile alınması arasındaki tedarik süresinin bir fonksiyonudur. Q ve r 'nin optimum değerleri sipariş, hazırlık, elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyetlerinin toplamını da içeren birim zamandaki beklenen maliyetin minimum kılınmasıyla belirlenir. Bu modelde 3 varsayım bulunmaktadır.

- Tedarik süresi boyunca karşılanamayan talep bekletilir.
- Birden fazla beklenen siparişe izin verilmez.
- Tedarik süresi boyunca talebin dağılımı aynı kalır (zamanla değişmez).

3.2.4.4. Çalışmada İncelenen Envanter Modelleme Politikaları

Bu çalışmada ilk aşamada tek-malzemeli, tek-kademeli, sürekli gözden geçirme envanter sisteminde stokastik talep durumu ele alınmıştır.

Mevcut sistem ile çalışmada ele alınan sistemin karşılaştırılabilmesi için çalışmada sürekli gözden geçirme kontrol sistemi uygulanmıştır.

Özellikle talebin rassal olması uygulamada sıkıntı yaratmaktadır. Bu sıkıntıyı aşmanın bir yolu zamanla malzeme tüketim miktarını belirlemektir. Dikkate alınan araştırma hastanesinde malzeme tüketimi yatan hasta sayısına bağımlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla; serviste yatmakta olan hasta sayısının zamanla rassal değişim göstermesi malzemeye olan talebi bulmayı zorlaştırmaktadır. Bu zorluğu aşmanın bir yolu simülasyon modellemenin uygulanmasıdır.

Çalışmada simülasyon modellemenin kullanılmasındaki temel amaç, toplam maliyetin hesaplanmasında kullanılacak ortalama elde bulundurulacak malzeme miktarı ve her yıl verilmesi beklenen ortalama sipariş sayısı değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu değerler rassal olarak belirlenen sipariş miktarı ve tekrar sipariş verme noktasına bağlıdır. Stok kesilmesine izin vermeyecek tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesi de malzemenin tedarik edilmesi sürecindeki hazırlık süresi ve tedarik süresine bağlıdır.

İkinci aşamada ise hastane sistemlerinde çoklu malzeme durumu için envanter problemi stokastik talep ve anlık tedarik süresi koşullarında sürekli ve periyodik kontrol politikalarının birleşimi ile incelenmiştir.

Çalışmada son olarak, stokastik talep ve stokastik tedarik süresi durumunda tedarik süresince oluşan talebin dağılımı hem analitik olarak hem de simülasyon modeli ile elde edilmiştir. Model, farklı servis düzeylerinde tekrar sipariş verme miktarlarının belirlenmesi ile zenginleştirilmiştir.

3.2.5. Simülasyon Modelleme

Simülasyon, bir sistemin belli bir zaman periyodunda ve çalışma koşullarındaki performansının tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla sistemin bilgisayar modelini kullanan bir analiz aracıdır (Law ve Kelton, 1991).

Simülasyon, teoriksel ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir (<http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html>).

Sistem, bir sonuca ulaşabilmek için bir araya gelmiş, birbiriyle etkileşim halinde bulunan insanlar ve makineler gibi elemanların bütünüdür (Schmit ve Taylor, 1970). Pratikte sistem sözcüğünün anlamı yapılan çalışmanın amacına bağlıdır. Simülasyonun amacına bağlı olarak farklı sistemler tanımlanabilir. Sistemleri kesikli ve sürekli olarak iki farklı grupta inceleyebiliriz. Kesikli sistemlerde, durum değişkenleri belirli zaman aralıklarında aniden değişmektedir. Sürekli sistemlerde ise durum değişkenleri zamana bağlı olarak sürekli değişmektedir (Law ve Kelton, 1991).

Simülasyon modelleri üç farklı boyutla sınıflandırılabilir. Bunlar (Law ve Kelton, 1991) ;

- Statik-Dinamik Simülasyon Modelleri: Statik simülasyon modeli, belirli bir zamandaki bir sistemin tanımlanmasıdır ya da zamanın önemli bir rol oynamadığı bir sistemde kullanılabilir. Öte yandan, dinamik simülasyon modeli zamanla değişen bir sistemde kullanılır, örneğin bir fabrikadaki konveyör sistemi gibi.
- Deterministik-Stokastik Simülasyon Modelleri: Eğer bir simülasyon modeli herhangi bir olasılık unsuru (örneğin rassallık) taşımıyorsa, bu model deterministiktir. Ancak bazı modeller en azından birkaç rassal girdi unsuru ile modellenmek zorundadır. Bunlar, stokastik simülasyonun oluşmasına sebep olurlar.
- Sürekli-Kesikli Simülasyon Modelleri: Kesikli-olay simülasyonunda sistemin durumu belli bir zaman aralığında sonlu sayıda zaman noktasında değişir.

Sürekli-olay simülasyonunda ise sistemin durumu tüm zaman sürecinde sürekli değişebilir.

Çalışmada incelenen sistem zamanla değişen bir sistem olduğu için dinamik, rassal girdi unsurları içerdiği için stokastik ve sistemin durumu belli bir zaman aralığında sonlu sayıda zaman noktasında değiştiği için kesikli-olay simülasyonu olarak nitelendirilebilir.

3.2.6. Simülasyon Çıktılarının Analizi

3.2.6.1. Simülasyon Uzunluğu

Simülasyon uzunluğu, performans kriterlerinin hesaplanabilmesi için simülasyon modelinin çalıştırıldığı süredir. Simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşme vardır (Tsiantos ve ark.). Bu nedenle çalışmada replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir.

3.2.6.2. Isınma Periyodu

Isınma periyodu, sistemin durağan duruma ulaşana kadar geçen zamandır. Çalışmada ısınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmıştır.

Welch Grafik Yönteminin adımları aşağıda sıralandığı gibidir (Law ve Kelton, 1991) :

- Simülasyon uzunluğu ‘m’ olan ‘n’ replikasyon çalıştırılır. m, yeterince büyük ve $n \geq 5$ olmalıdır.
- Y_{ji} : j-inci replikasyondaki i-inci gözlem($j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$) için her bir replikasyonda oluşan gözlemlerin ortalamaları (Y_{ji}) hesaplanır.

Daha sonra replikasyon ortalamaları ($\bar{Y}_i$) ;

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.4.)$$

formülü ile hesaplanır.

- Replikasyon ortalamaları bulunduğundan sonra, replikasyon ortalamalarının hareketli ortalamaları $\bar{Y}_i(w)$ bulunur. Burada w ağırlık değeridir. $w \leq \lfloor m/4 \rfloor$ (Mahajan ve Ingalls, 2004) veya $w \leq \lfloor m/2 \rfloor$ (Law ve Kelton, 1991) olmak üzere replikasyon ortalamalarının hareketli ortalamaları hesaplanır.

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1} \quad i = w+1, w+2, \dots, m-w \quad (3.5.)$$

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1} \quad i = 1, 2, \dots, w \quad (3.6.)$$

- Bu hesaplamalardan elde edilen değerler grafikte yerine konur ve sistemin durağan duruma ne zaman ulaştığı anlaşılır. Grafikte durağanlaşmanın başladığı nokta ısınma periyodu olarak kabul edilir.

3.2.6.3. Replikasyon Sayısının Belirlenmesi

Çalışmada replikasyon sayısı belirlenirken ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata (γ) Formülü’ kullanılmıştır.

Bağıl hata ile replikasyon sayısının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Law ve Kelton, 1991):

$$n_r^*(\gamma) = \min \left\{ i \geq n : \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)} / i}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma' \right\} \quad (3.7.)$$

burada $\gamma' = \frac{\gamma}{(1+\gamma)}$ düzeltilmiş bağıl hatadır.

Yukarıdaki formülde;

n: Başlangıçta yapılan replikasyon sayısını,

i: Gerekli replikasyon sayısını,

$\bar{X}(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun ortalamasını,

$S(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun standart sapmasını,

α : Önem düzeyini ve

γ : Bağlı hata değerini göstermektedir.

Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon yapılmalıdır (Chung, 2004).

Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağlı hata (γ) değerinin %1-%5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991).

$i = n$ için değerleri yukarıdaki formülde yerine koyduğumuzda bulduğumuz değer γ' değerinden küçük veya eşit ise başlangıç replikasyon sayısı yeterlidir. Aksi takdirde i değerini arttırarak formülde yeni değerler hesaplanır ve gerekli replikasyon sayısı bulunur.

3.2.6.4. Standart Hata

Standart hata, bir popülasyondan seçilen örneklemelerin popülasyonu ne kadar iyi temsil ettiğini göstermektedir. Örneklem ortalamalarının standart sapması ortalamasının standart hatası olarak bilinir. Böylece standart hata; örneklem standart sapmasının örneklem sayısının kareköküne bölünmesi ($\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$) ile hesaplanır.

Küçük standart hata çoğu örneklem ortalamalarının popülasyon ortalaması ile aynı olduğunu ve böylece seçilen örneklem popülasyonu doğru temsil ettiğini gösterir (Field, 2005). Yapılan çalışmada replikasyon sayısının güvenilirliğini ölçülebilmek için standart hata hesaplanacaktır.

3.2.6.5. Simülasyon Modelinin Doğruluğu ve Geçerliliği

Simülasyon modeli geliştirildikten sonra, modelin çalışıp çalışmadığı sorusuna doğruluk ve geçerlilik araştırması yapılarak cevap verilir. Doğruluk,

bilgisayar programının beklenildiği ve amaçlandığı gibi çalışmasıdır. Geçerlilik ise modelin gerçek sistemi doğru bir şekilde temsil edip-etmediğinin ölçülmesidir.

Çalışmada simülasyon modelinin doğruluğu, kurulan modelin alt modellerinin adım adım doğruluğunun test edilmesi ile sağlanmıştır. Alt modellerin doğru çalıştığı gözlemlendikten sonra tüm modelin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Simülasyon modelinin geçerliliği ise gerçek sistemden elde edilen talep verilerinin ortalaması için güvenlik aralığı hesaplanarak test edilmiştir. Güvenlik aralığının hesaplanması için çift tarafı test formülü kullanılmıştır;

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.8.)$$

$\bar{x}$ örneklem ortalamasını ve s örneklem standart sapmasını ifade etmektedir. n örneklem büyüklüğünü ve $t_{\alpha/2, n-1}$, $n-1$ serbestlik düzeyi ile t-tablosu değerini ifade etmektedir.

3.2.7. Tepki Yüzeyleri (Response Surfaces) ve Simülasyon Meta-modelleme

Simülasyon modeli girdi parametrelerini çıktı performans ölçülerine dönüştürmede bir mekanizma olarak düşünülebilir. Böylece; simülasyon, vektör-değerli (vector-valued) ya da stokastik olabilen bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun açık formu da bilinmeyebilir (ve bilinse bile çok karmaşık olabilir). Bu nedenle, bu fonksiyon için basit formüller geliştirilmiştir. Geliştirilen formül simülasyonda çok sayıda girdi parametreleri kombinasyonu için fikir edinmede kullanılabilir. Bu kabiliyet eğer simülasyon çok büyük ve pahalı ise faydalı olur. Simülasyon modelinin cebirsel modeldeki formülden dolayı bu model *meta-model* olarak adlandırılmaktadır (Law ve Kelton, 2007).

Farz edelim ki simülasyon çıktısı tepki (response) değişkeni, Y , k tane bağımsız değişkene ($x_1, x_2, \dots, x_k$) bağlı olsun. Bağımlı değişken, Y , rassal bir değişken iken bağımsız değişkenler $x_1, x_2, \dots, x_k$ tasarım değişkenleri olarak adlandırılır ve kontrol amaçlıdır. Y ve x değişkenleri arasındaki doğru ilişki simülasyon modeli ile elde edilir. Bizim amacımız basit bir matematiksel fonksiyon

ile bu ilişkiyi tahmin etmektir. Bu fonksiyon meta-model olarak adlandırılır (Banks ve ark., 1995).

Bilgisayar simülasyonunda meta-modeller en azından dört ana hedef için kullanılabilir (Merkuryeva, 2004):

- Gerçek sistemin davranışlarının anlaşılması,
- Sistem davranışının tahmin edilmesi ve planlanması, ör: “what-if” analizi,
- Simülasyon modeli parametrelerinin optimizasyonu ve
- Simülasyon modelinin geçerliliği.

3.2.7.1. Simülasyon Meta-modelleme Prosedürü ve Yapısı

Simülasyon meta-modelleme prosedürü aşağıda sıralanan adımlardan oluşur (Merkuryeva, 2004):

- Problemin tanımı, ör: simülasyon çalışmasının amacının tanımlanması, sistemin sınırlarının belirlenmesi vs.,
- Sistem analizi ve veri toplama (sistemin performans karakterlerinin belirlenmesi, girdi değişkenlerinin tanımlanması),
- Akış diyagramı ya da başka bir özet model ile simülasyon modelinin tasarımı ve geçerliliği için test edilmesi,
- Simülasyon modelinin program kodunun oluşturulması, simülasyon programının doğruluğu ve modelin geçerliliğinin test edilmesi,
- Deney tasarımının oluşturulması,
- Simülasyon deneylerinin çalıştırılması,
- Meta-model (meta-model türünün tanımlanması, meta-modelin geliştirilmesi, doğruluğu ve geçerliliğinin test edilmesi),
- Gerekli ise daha ileri istatistiksel analizin yapılması,
- Simülasyon sonuçlarını kullanarak problemin çözümüdür.

Simülasyon modeli ile simülasyon deneyleri çalıştırıldığında ve meta-model oluşturulduğunda simülasyon meta-modelleme için farklı teknikler kullanılır.

Örneğin, istatistiksel regresyon analizi oluşturulan regresyon meta-model testinin uygunluğu için kullanılır. Meta-modelleme deneylerindeki simülasyon çalışmalarının optimum sayısını belirlemek için örneklem büyüklüğü önemlidir. Varyans düşürme meta-model parametrelerinin değişkenliğini azaltmak için kullanılır. Deneysel tasarımlar meta-modelin doğruluğunu ve geçerliliğini artırır (Merkuryeva, 2004).

Tepki yüzeyleri (response surface) meta-modelleme teknikleri bağımsız faktörlerin küçük bir bölgesindeki regresyon tipli meta-model ile simülasyon tepki yüzeyinin lokal yaklaşımı temellidir. Tepki yüzeyi fonksiyon yaklaşımları sonuçlarının incelenmesi ve optimizasyonu, maliyetli ve zaman alıcı simülasyon deneyleri gözlemlerinin küçük bir sayısı için geçerli araçlar sağlar. Optimizasyon problemlerinde tepki yüzeyleri metodu (TYM) metodolojisi kullanımı ihtiyaç duyulan simülasyon deneylerinin sayısında önemli azalmalara izin verir (Merkuryeva, 2004).

Çoğu kez bir meta-model, simülasyonun girdi parametreleri olan regresyonun bağımsız değişkenleri ve ilgilendiğimiz çıktı değerlerinin bağımlı değişken olduğu standart bir regresyon modeli ile belirlenir (Law ve Kelton, 2007).

Çalışmada, beklenen toplam malzeme maliyetinde temel girdi olan elde bulundurulmuş ortalama malzeme miktarının ve yıllık ortalama sipariş sayısının tekrar sipariş verme noktası ve optimum sipariş miktarına bağlı fonksiyonel ilişkisinin bulunması çeşitli kısıtlar altında beklenen toplam maliyeti minimum yapacak matematiksel modelleme tekniği ile mümkün olacaktır. Söz konusu olan fonksiyonel ilişkileri elde etmenin bir yolu *meta-modelleme* yaklaşımıdır.

3.2.7.2. Regresyon Analizi

İstatistik biliminin en önemli konularından birisini regresyon analizi oluşturmaktadır. Regresyon analizi, araştırma, matematik, finans, ekonomi, tıp gibi bilim alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Regresyon analizinin temelinde; gözlenen bir olayın değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılması yatmaktadır. Bu olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya

direkt etkileniyor da olabilirler. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir (<http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/regresyon.html>).

Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde yer alan değişkenler bir bağımlı değişken ve bir veya birden çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler kurulacak modelde bir değişkenli olarak ele alınırsa, basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenli olarak alınırsa, çoklu regresyon modeli konusunu oluşturmaktadır.

Basit Doğrusal Regresyon Modeli: $Y = a + bc + e_i$

Çoklu Regresyon Modeli: $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots + e_i$

Y : Bağımlı değişken

$X_1, X_2, X_3, \dots$: Bağımsız değişkenler

$a, b, c, d, \dots$: Katsayılar

e_i : Hata terimi

Regresyon analizi ile elde edilen regresyon modelleri matematiksel modellerde amaç fonksiyon ve/veya kısıtlayıcı denklemler olarak kullanılabilir.

3.2.8. Matematiksel Modelleme

Optimizasyon ya da matematiksel modelleme; izin verilen bir set içerisinde reel ya da tamsayılı değişkenlerin değerlerinin sistematik bir biçimde seçilmesiyle reel bir fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek için araştırılan problemleri çözmeye çalışır. Başlıca alt alanları:

- Doğrusal programlama,
- Tamsayılı doğrusal programlama,
- Dinamik programlama,
- Quadratik programlama,
- Doğrusal olmayan programlama,
- Konveks programlama ve

- Stokastik programlama olarak sıralanabilir (<http://tr.wikipedia.org>).

Tez çalışmamızda bu yöntemlerden doğrusal programlama, tamsayılı doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama kullanılmıştır.

Doğrusal programlama (DP), sınırlı kaynakların kullanımını optimum kılmak için tasarlanmış bir matematiksel modelleme yöntemidir. DP modelinin 3 temel elemanı; karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlardır. Doğrusal programlamada amaç ve kısıt fonksiyonlarının tümü doğrusaldır. Grafik çözüm yöntemi ve simpleks yöntemi doğrusal programlamada kullanılan başlıca çözüm yöntemleridir (Taha, 2000).

Tamsayılı doğrusal programlama (TDP), değişkenlerinden bazılarının veya tümünün tamsayılı (ya da kesikli) değerler aldığı bir doğrusal programlama problemidir. Değişkenlerin tümü tamsayılı ise problem tamsayılı programlama, değişkenlerin bazıları tamsayılı ise problem karma tamsayılı programlama adını alır. Dal-sınır yöntemi ve kesme düzlemi yöntemi tamsayılı programlamada kullanılan başlıca çözüm yöntemleridir. İki yöntemden hiçbirisi TDP problemlerini çözmede sürekli daha iyi sonuç vermemektedir. Bununla birlikte, dal-sınır yönteminin kesme düzlemi yöntemine göre çok daha başarılı olduğu söylenmektedir (Taha, 2000).

Doğrusal olmayan programlama (DOP), klasik optimizasyon teorisi, kısıtlanmış kısıtlanmamış fonksiyonların maksimum ve minimum (uç) noktalarını belirlemek için diferansiyel hesabı kullanmaktadır. Bu teorinin temeli doğrusal olmayan programlama algoritmalarının geliştirilmesidir. Kısıtlanmamış en uç noktaların belirlenmesi için gerekli ve yeterli koşullar, eşitlik kısıtları olan problemler için Jakobiyen ve Lagranj yöntemleri ve eşitsizlik kısıtları için Kuhn-Tucker koşulları geliştirilmiştir. Doğrudan arama yöntemi ve gradyan yöntemi DOP kullanılan başlıca kısıtlanmamış algoritmalar (Taha, 2000).

Çalışmada FloGard filtreli pompa setinin siparişinin hazırlanması/verilmesi aşamasında sipariş maliyetini oluşturan unsurlar;

- i) Personel maliyeti: FloGard filtreli pompa setinin alımı ihalesinde eczacı, sekreter ve üç kişilik ihale komisyonu (doktor, uzman ve hemşire) olmak üzere beş kişi görev almaktadır.

- ii) Diğer maliyetler: Sabit taşıma maliyetleri, teslim alma maliyetleri, kontrol ve kayıt maliyetleri, kırtasiye ve telefon maliyetleri olarak sıralanabilir.

Sipariş maliyetinin bulunmasında aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır.

c_{ph} : birim zamanda bir eczacının maliyeti (pb/saat)

c_{dr} : birim zamanda bir doktorun maliyeti (pb/saat)

c_{ex} : birim zamanda bir uzmanın maliyeti (pb/saat)

c_n : birim zamanda bir hemşirenin maliyeti (pb/saat)

c_s : birim zamanda bir sekreterin maliyeti (pb/saat)

t_{ph} : Siparişin hazırlanması/verilmesi aşamasında eczacının harcadığı süre (saat)

t_{dr} : Siparişin hazırlanması/verilmesi aşamasında doktorun harcadığı süre (saat)

t_{ex} : Siparişin hazırlanması/verilmesi aşamasında uzmanın harcadığı süre (saat)

t_n : Siparişin hazırlanması/verilmesi aşamasında hemşirenin harcadığı süre (saat)

t_s : Siparişin hazırlanması/verilmesi aşamasında sekreterin harcadığı süre (saat)

C_{oth} : Diğer maliyetler

C_o : Her bir sipariş için sipariş maliyeti

Toplam maliyeti minimize etmek için kurulan matematiksel modellemenin formülasyonunda ise aşağıdaki notasyonlar ve varsayımlar yer almıştır.

Notasyonlar

C : beklenen yıllık toplam maliyet

C_o : her bir sipariş için sipariş maliyeti

C_H : her bir birim malzemenin her bir yıl için elde bulundurma maliyeti

N_o : her bir yıl için ortalama sipariş sayısı

$\bar{I}$: ortalama elde bulundurulan miktar

T_S : her sipariş için hazırlık zamanı (karar değişkeni)

T_D : her bir siparişin teslim zamanı (karar değişkeni)

$D_{\max}$: maksimum yıllık talep

r : tekrar sipariş verme noktası (karar değişkeni)

Q : optimum sipariş miktarı (karar değişkeni)

T_{SL} : T_S için alt sınır

T_{SU} : T_S için üst sınır

T_{DL} : T_D için alt sınır

T_{DU} : T_D için üst sınır

Varsayımlar

1. Talebin bir sonraki sipariştten karşılanması söz konusu değildir.
2. Elde bulundurmama (stok kesilmesi) söz konusu değildir.
3. Elde bulundurma maliyeti birim satın alma maliyetinin %30'u alınmıştır.
4. Tedarik süresi boyunca talebin dağılımı aynı kalmaktadır (zamanla değişmez).

3.2.9. Çalışmada Geliştirilen Yaklaşım

Bölüm 3.2'de verilen metotlar ışığında çalışmada geliştirilen yaklaşımın akış diyagramı şekil 3.3'de görülmektedir. Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi öncelikle rassal değişkenlerin (her bir düzey için hasta geliş oranları, hastaların tedavileri için gerekli yatış süreleri ve belirlenen malzemenin kullanım oranı) dağılım parametreleri Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, hastaların düzeyler arası geçiş oranları bilgileri de hastanede çalışan uzmanlardan elde edilmiştir.

Tüm bu rassal değişkenler kurulacak simülasyon modelini stokastik simülasyon modeli yapmaktadır.

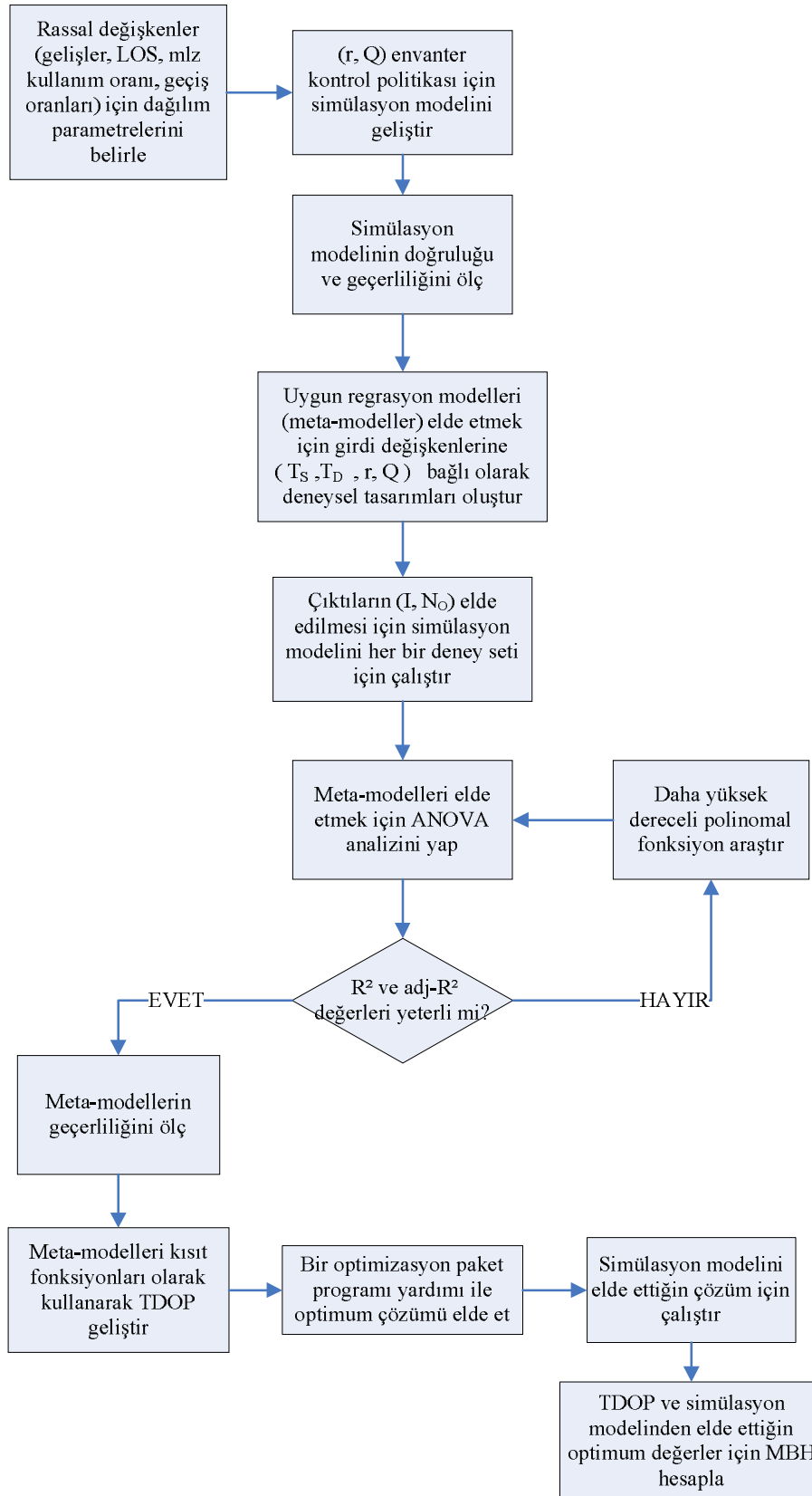
Sağlık sektörü için tek-malzemeli envanter sistemi sürekli kontrol (r, Q) politikası kullanılarak simülasyon modeli geliştirilmiştir. Simülasyon modelinin

doğruluğu adım adım oluşturulan alt modellerin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilerek sağlanmıştır. Örneğin hasta sayısının artması ile talep edilen malzeme miktarının artması gibi. Simülasyon modelinin geçerliliği ise malzeme talebi için güvenlik aralığı hesaplanarak gösterilmiştir.

Daha sonra, hazırlık süresi (T_S) ve teslim süresi (T_D) girdi faktörlerine bağlı olarak tekrar sipariş verme noktası (r) çıktı faktörünün fonksiyonunu elde etmek için Design Expert yazılımının deneme versiyonu kullanılarak MKT ile simülasyonda çalıştırılacak deney setleri elde edilmiştir. r ve optimum sipariş miktarı (Q) girdi faktörlerine bağlı olarak ortalama sipariş sayısı (N_o) ve ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı ($\bar{I}$) çıktı faktörlerinin fonksiyonlarını elde etmek için Design Expert yazılımının deneme versiyonu kullanılarak User Define ile simülasyonda çalıştırılacak deney setleri elde edilmiştir.

Oluşturulan deney setleri simülasyon modelinde çalıştırılarak gerekli r , N_o ve $\bar{I}$ değerleri elde edilmiş ve bu değerler Design Expert programının çıktı faktörü sütununa girilerek gerekli meta-modelleri elde etmek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Elde edilen meta-modellerin uygunluğu R^2 ve düzeltilmiş- R^2 değerlerine bakılarak, geçerliliği ise MBH değerlerine bakılarak ölçülmüştür.

Meta-modellerin geçerliliği belirlendikten sonra, minimum maliyeti sağlayacak r ve Q seviyelerinin belirlenmesi için tamsayı doğrusal olmayan programlama (TDOP) optimizasyon modeli kurulmuş ve optimum çözüm LINGO 8.0 paket programının deneme versiyonu ile bulunmuştur. TDOP ile belirlenen optimum değerler simülasyon modeline girilerek çalıştırılmış ve N_o ve $\bar{I}$ için MBH değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Geliştirilen Yaklaşımın Akış Diyagramı

3.2.10. Simülasyon Optimizasyon

Simülasyon modelleri gerçek sistemlerin davranışı hakkında bize bilgi verir. Elde edilen bu bilgi sistem performansının geliştirilmesi için kullanılabilir. Ayrıca, simülasyon modelleri en iyi performansı sağlayan tasarım parametrelerinin bir setini bulmak için tekrarlı analiz yapabilir. *Simülasyon optimizasyon*, en iyi sistem performansını tespit etmek için tasarım parametrelerinin farklı değerleri ile simülasyon modelinin tekrarlı analizidir. Gerçek sistemin tasarım parametreleri, simülasyon optimizasyon alıştırması tarafından belirlenen “optimal” parametre değerlerinin setidir. Simülasyon optimizasyon stratejileri çıktı (response) faktörünün ve tasarım parametreleri setinin doğasına bağlıdır. Eğer tasarım parametreleri seti kesikli ise, uygun optimizasyon metotları; sıralama ve seçme (ranking and selection), rassal araştırma (random search) ve metasezgiselleri içerir. Eğer tasarım parametreleri seti sürekli ise, o zaman gradyan-temelli metotlar (gradient-based methods) ya da metamodel temelli optimizasyon kullanılabilir (Barton ve Meckesheimer, 2006).

Toplam maliyeti minimum yapacak r ve Q değerlerinin belirlenmesi için kullanılabilecek bir diğer yaklaşım simülasyon optimizasyon yöntemidir. Çalışmada r ve Q değerlerinin kesikli değerler olması sebebi ile simülasyon optimizasyon stratejilerinden metasezgiseller tercih edilmiştir. Optimizasyon yapmak için Arena simülasyon modelleme yazılımının optimizasyon aracı *OptQuest* kullanılmıştır. OptQuest Tabu Search, Neural Networks ve Scatter Search metasezgisellerinin kombinasyonundan oluşan bir sezgiseldir.

3.2.10.1. Metasezgiseller**3.2.10.1.(1). Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli benzetilir. Benzetilen sinir hücreleri nöronlar içerirler ve bu

nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifade ile YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın düşünme ve gözleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak ve deneyerek öğrenme yeteneğidir (Öztemel, 2003).

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir yaşayarak öğrenme süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitme yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitme algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur.

YSA'lar ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem biriminden (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem birimi, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem birimi, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem birimleri kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağını oluşturmaktadır.

Sinirsel hesaplamanın merkezinde dağıtılmış, adaptif ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. YSA'lar geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem birimi her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA'lar ise her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem birimlerinden oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem birimi, bir girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem birimlerinin çalışma şekli yanıltıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamanın gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem birimlerinin birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir (Elmas, 2003).

Çoğu YSA'lar, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılırlar ve transfer fonksiyonları eş zamanlı olarak çalıştırılırlar. Hemen hemen tüm ağlar, veri alan nöronlar ve çıktı üreten nöronlara sahiptirler.

YSA'larının davranışları, yani girdi veriyi çıktı veriyeye nasıl ilişkilendirdikleri, ilk olarak nöronların transfer fonksiyonlarından, nasıl birbirlerine bağlandıklarından ve bu bağlantıların ağırlıklarından etkilenir.

YSA'larının üstünlüklerinin yanı sıra bazı sakıncaları da vardır. Bu sakıncalar şu şekilde sıralanabilir:

- Sistem içerisinde ne olduğu bilinmez.
- Bazı ağlar hariç kararlılık analizleri yapılamaz.
- Farklı sistemlere uygulanması zor olabilir.

3.2.10.1.(2). Serpme Arama (Scatter Search)

Serpme Arama (SA) yapılandırılmış altküme çözümlerin lineer kombinasyonları ile ağırlıklandırılmış yeni çözümler oluşturmak için referans çözümlerin bir kümesi üzerinde çalışır. Referans küme yüksek kaliteli ve birçok çözümden oluşmalı ve hedef seçilen altbölgelerin ağırlıklandırılmış merkezleri için üretilmelidir. Konveks ya da konkav kombinasyonlara bağlı olarak kullanılırlar, projelendirilmiş bölgeler seçilen alt bölgeler için dahili ya da harici olabilir. Bir yuvarlama sürecinde tamsayı gerektiren vektör unsurlarının olduğu problemlerde bazı unsurlar için tamsayı değerler temin etmede kullanılır. Yuvarlama ya genelleştirilmiş yuvarlama metodu ile ya da tekrarlama ile başarılabılır. Kullanılan kombinasyonların tipine bakılmaksızın, projelenen bölgeler olurlu olmayı gerektirmezler. Böylece, yardımcı sezgisel süreçler, olursuz bir noktayı olurlu bir deneme çözümüne ve daha sonra bu çözümü bir ya da daha fazla deneme çözümlerine dönüştürmek için çift fonksiyonlu bir haritalama ile birleştirilmek için tasarlanırlar. Bu bakış noktasını gerçekleştirmek için SA metodu aşağıdaki alt metotlar ile yapılandırılmıştır (Rego C. ve Alidaee B., 2005).

- Jenerasyon Farklılaştırma Metodu: Bir ya da daha fazla isteğe bağlı çekirdek çözümlerden birçok deneme çözümleri oluşturmak için kullanılır.

- Geliştirme Metodu: Bir deneme çözümünü bir ya da daha fazla geliştirilmiş deneme çözümlerine dönüştürür. (Eğer verilen deneme çözümü için herhangi bir gelişme meydana gelmezse, geliştirilmiş çözümün geliştirme için sunulan çözüm ile aynı olduğu düşünülür.)
- Referans Küme Güncelleme Metodu: Düşünülen kritere göre en iyi referans çözümlerden oluşan bir küme yaratılır ve sürdürülür. Hedef, amaç fonksiyon ile ölçülen yüksek kaliteli çözümlerin saklanması sırasında çeşitliliği sağlamaktır.
- Altküme Jenerasyon Metodu: Birleşmiş çözümleri yaratmak için bir temel olarak referans kümenin alt kümelerini oluşturur.
- Çözüm Kombinasyonu Metodu: Altküme jenerasyon metodu ile üretilen her bir altküme çözümlerini bir ya da daha fazla birleştirilmiş çözümlere dönüştürmek için ağırlıklandırılmış yapıli kombinasyonlarda kullanılır.

SA algoritması için genel bir şablon aşağıdaki gibi iki aşamadan oluşturulabilir:

- Başlangıç Aşaması: Jenerasyon Farklılaştırma Metodu, Geliştirme Metodu, Referans Küme Güncelleme Metodu. İstenen düzeyde yüksek kaliteli ve çeşitli çözümler üretilene kadar başlangıç aşamasını tekrar et.
- Serpme Arama Aşaması: Altküme Jenerasyon Metodu, Çözüm Kombinasyonu Metodu, Geliştirme Metodu, Referans Küme Güncelleme Metodu. Bu aşamayı referans küme yakınsayana kadar ya da toplam iterasyonlardaki belirlenmiş kesme limitine ulaşılanaya kadar tekrar et.

3.2.10.1.(3). Tabu Arama (Tabu Search)

Tabu Arama (TA) lokal araştırma teknikleri sınıfına ait bir matematiksel optimizasyon metodudur ve metasezgisel bir algoritmadır. TA hafıza yapılarını kullanımı ile lokal bir araştırma metodunun performansını artırır. TA algoritmasında potansiyel çözüm belirlenir ve tabu olarak işaretlenir. Böylece algoritma bu çözümü tekrar tekrar ziyaret etmez (Glover ve Laguna , 1997).

Lokal araştırma genellikle mevcut çözümü iyileştirir. Çünkü mevcut çözüm x^c 'den daha iyi bir çözüme $x' \in N(x^c)$ 'ye hareket eder. Farz edelim ki x^c bir lokal minimum çözüm ve bir sonraki çözüm $x' \in N(x^c)$ kümesinden seçilen en iyi çözüm olsun. Eğer, x' için lokal çözüm eklenirse, bir sonraki çözüm x' den x^c ye hareket eder çünkü $x^c \in N(x')$ komşuları arasında en iyi çözümdür. Bu yolla, çözümler arasındaki çevrim lokal minimum noktalarında sık sık meydana gelir. Bu çevrimlerden kaçınmak için Tabu Arama (TA) algoritmaları kısa dönemli hafıza kullanırlar. Bu kısa dönemli hafıza çözüm özelliklerini depolayan tabu listelerinin bir kümesine uygulanır. Özellikler (attributes) genellikle çözüm bileşenlerini, hareketlerini (moves) ya da iki çözüm arasındaki farkları işaret eder. Tabu listeleri, yakın geçmişte ziyaret edilen çözümlere dönmeyi engeller.

Aspirasyon (emme/çekme) kriteri herhangi bir tabu statüsünü iptal etmek için tabu listesindeki bir takım hareketlere izin verir. Tipik bir aspirasyon kriteri eğer yeni çözüm mevcut en iyi çözümden daha iyi ise tabu hareketini kabul eder.

Bir TA algoritması aşağıdaki gibidir (Rego ve Alidaee, 2005):

Adım1: Bir başlangıç çözümü x üret ve tabu listesi TL'yi başlangıç durumuna getir.

Adım2: $x := x'$ ve $x' \notin TL$ olmak üzere $x' \in N(x)$ olan en iyi çözümü bul.

Adım3: Nihai durum memnun edici ise dur. Değilse, TL'yi güncelle ve Adım2'ye geri dön.

Adım2'de, bir tabu listesi çözüm özelliklerini hafızasına alır. Bir tabu içinde kalabilme hakkı, örneğin tabu listesinin uzunluğu, algoritmanın davranışını tanımlar. Daha uzun bir tabu içinde kalabilme hakkı daha geniş bölgeler araştırmak için araştırma sürecini zorlar. Çünkü daha yüksek sayıdaki çözümü tekrar ziyaret etmeyi yasaklar.

Adım3'de, algoritmanın nihai durum için memnun edici olup-olmadığı kontrol edilir. Nihai durum genellikle algoritmanın iterasyon sayısına ve /veya mevcut en iyi çözümün güncellenmeme iterasyon sayısına bağlıdır.

3.2.11. Stokastik Talep İle Çoklu Malzeme Sipariş Verme Problemi

Literatürde çoklu malzeme envanter modelleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Aksoy ve Erenguc, 1988). Bu tür problemlerde amaç, oluşan talep için memnuniyeti sağlayacak şekilde toplam maliyeti minimum yapmaktır. Toplam maliyet; sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti unsurlarından oluşmaktadır. Çoklu-malzeme problemlerinde genellikle aynı tedarikçiden sipariş edilen malzemeler için optimum sipariş miktarlarının ne olması gerektiğine karar verilir (Goyal, 1974). Farklı sayıdaki malzeme için sipariş maliyeti iki unsurdan oluşmaktadır: majör sipariş maliyeti ve minör sipariş maliyeti. Majör sipariş maliyetinde; sipariş maliyeti, sipariş içerisinde yer alan malzeme sayısından bağımsızdır. Oysa minör sipariş maliyetinde; sipariş maliyeti, sipariş içerisinde yer alan malzeme sayısına bağımlıdır. Bu tip problemler çoklu malzeme sipariş verme problemi olarak adlandırılmaktadır (Khouja ve Goyal, 2008).

Çoklu malzeme sipariş verme problemlerinde çözüm stratejileri iki sınıfa ayrılabilir: direk gruptama stratejisi ve indirek gruptama stratejisi. *Direk gruptama stratejisinde* malzemeler önceden tanımlanan kümeler ayrılırlar ve her bir kümedeki malzemeler aynı çevrim zamanında beraber sipariş edilirler. *İndirek gruptama stratejisinde* ise sipariş verme işlemi düzenli aralıklarda yapılır ve her bir malzemedan yeterli miktarda sipariş verilir (Khouja ve Goyal, 2008).

Notasyonlar

T	Siparişler arası süre (gün) (karar değişkeni)
C_o	Her bir sipariş için sipariş maliyeti (pb/sipariş)
C	Beklenen toplam maliyet (pb/yıl)
i	1,2,...,n , malzeme indeksi
n	Malzeme sayısı
h_i	i-inci malzeme için elde bulundurma maliyeti (pb/adet/yıl)
p_i	i-inci malzeme için satın alma maliyeti
Q_i	i-inci malzeme için sipariş miktarı (karar değişkeni)
B	Her bir sipariş için ayrılan maksimum bütçe (pb)

$\bar{I}_i$	i-inci malzeme için ortalama elde bulundurulan miktar
$\min I_i$	i-inci malzeme için elde bulundurulan minimum miktar
λ_i	i-inci malzeme için talep dağılımı parametresi (poisson)
N_o	Ortalama sipariş sayısı

3.2.12. Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımının Bulunması

Tedarik süresince oluşan talep miktarı tekrar sipariş verme noktası olarak kabul edilmiştir. Tekrar sipariş verme noktasının (r) analitik yaklaşım ile hesaplanması aşağıda ifade edildiği gibidir.

Malzemeye olan talep λ parametrelili poisson akışa uygun olduğundan, talep için dağılımı sabitlenmiş zaman periyodu (τ) süresince aşağıdaki gibi hesaplamak mümkündür.

$$P(D_\tau = i) = \frac{(\lambda \tau)^i}{i!} e^{-\lambda \tau}, i = 0, 1, 2, \dots \quad (3.9.)$$

Eğer $f_L(\tau)$, L, tedarik süresi için yoğunluk fonksiyonu ise, o zaman L tedarik zamanı süresince D_L talebi için dağılım aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$P(D_L = i) = \int_a^b P(D_\tau = i) \cdot f_L(\tau) d\tau \quad (3.10.)$$

Bu çalışmada tedarik süresi düzgün dağılıma (a ve b değerleri arasında rasgele değişen, ancak hakkında fazla bir bilginin olmadığı bir değişkenin yaklaşık modellenmesinde kullanılan bir dağılımdır) uygun olduğundan;

$$P(D_L = i) = \int_a^b \frac{(\lambda \tau)^i}{i!} e^{-\lambda \tau} \cdot \frac{1}{b-a} d\tau = \frac{\lambda^i}{i!(b-a)} \int_a^b \tau^i \cdot e^{-\lambda \tau} d\tau \quad (3.11.)$$

$$P(D_L = i) = \frac{1}{\lambda(b-a)i!} (R_i(\lambda a) - R_i(\lambda b)) \quad (3.12.)$$

Son denklemde; $R_i(\lambda x) = \sum_{m=0}^i \frac{(\lambda x)^m}{m!} e^{-\lambda x}, i = 0, 1, 2, \dots$ yerine konur ve Erlang dağılım

tablosundaki değerler kullanılarak tedarik süresince oluşan talep değeri hesaplanabilir.

Ancak, son denklemde görüldüğü gibi tedarik süresince oluşan talebi analitik olarak hesaplamak oldukça zordur. Bu nedenle çalışmada simülasyon modeli kurularak tedarik süresince oluşan talep hesaplanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Toplam malzeme maliyetini minimum yapacak optimum sipariş miktarı ve tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışma bir araştırma hastanesinin Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi (YYBÜ)’nden (Neonatal Intensive Care Unit-NICU) alınan gerçek verilerle test edilmiştir.

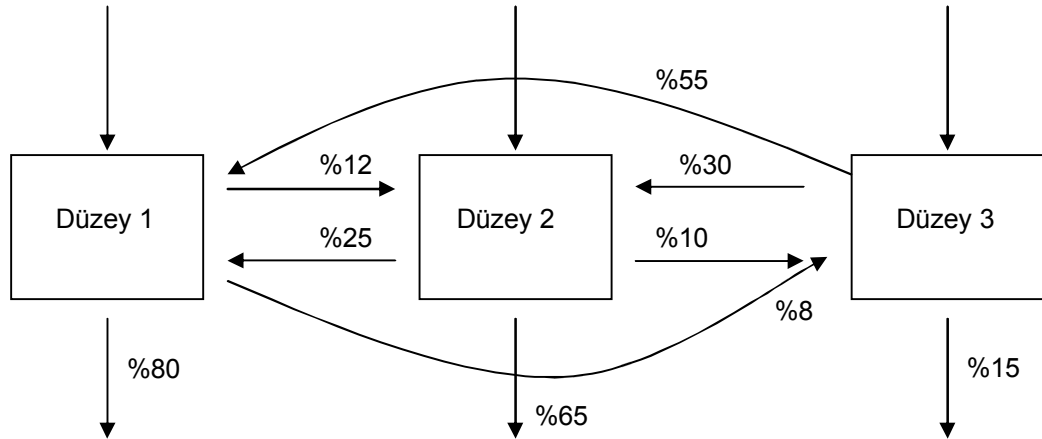
4.1. Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi

Çalışma, bir araştırma hastanesinin Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi’nde (YYBÜ) yapılmıştır. NICU, 3 düzeyden (Düzy-1, Düzy-2 ve Düzy-3) oluşmaktadır. Düzyler hasta durumlarının önem seviyelerine göre belirlenmiştir. Düzy-1’de çok kritik olmayan hastalar, Düzy-2’de daha kritik durumda olan hastalar ve Düzy-3’de de en kritik durumda olan hastalar yer almaktadır. Hastaların tedavi görebilmesi için mevcut yatak ve kuvöz sayıları; Düzy-1’de 2 yatak, Düzy-2’de 3 yatak, 8 kuvöz ve Düzy-3’de 3 yatak, 10 kuvöz şeklindedir.

Şekil 4.1’de hastaların akış diyagramı gösterilmektedir. Hastalar YYBÜ’ne hem dışardan hem de içerden (Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi’ndeki diğer düzeylerden) gelmektedir. Hasta başvurusu söz konusu olduğunda eğer birimde yeterli sayıda boş yatak yoksa içerden geçişlere öncelik verilmektedir. Diğer düzeylerden geçiş için bekleyen varsa, dışardan gelen hastalar reddedilmekte ve içerden gelen hastaların geçiş yapacakları düzyelere sevk işlemleri yapılmaktadır. Eğer dışardan ve içerden bekleyen hastalar için yeterli sayıda boş yer varsa, bu durumda tüm hastalar kabul edilmekte ve yatış işlemleri yapılmaktadır. Eğer içerden yatış için bekleyen hasta yoksa ve dışardan yatış için bekleyen hasta varsa ve yeterli sayıda boş yer varsa, dışardan gelen hasta kabul edilip, yatış işlemleri yapılmaktadır.

Hastaların düzyeler arası geçişi Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Düzy-3’de bulunan hastaların % 15’inin çıkış işlemi (hastalar ya iyileşip taburcu olmuştur ya da ölmüştür) yapılmakta, %55’i Düzy-1’e sevk edilmekte ve %30’u Düzy-2’ye sevk edilmektedir. Düzy-2’deki hastaların %65’inin çıkış işlemi yapılmakta, % 25’i Düzy-1’e ve % 10’uda Düzy-3’e sevk edilmektedir. Düzy-1’deki hastaların ise

% 80'inin çıkış işlemi yapılmakta, % 12'si Düzey-2'ye ve % 8'i de Düzey-3'e sevk edilmektedir.



Şekil 4.1. YYBÜ'deki Hastaların Düzeyler Arası Geçişleri

Düzeyler arası geçiş sırasında; eğer bir düzeyden başka bir düzeye geçmek için bekleyen hasta için geçeceği düzeyde yer yoksa hasta bulunduğu düzeyde bekletilmekte ve tedavisine bulunduğu düzeyde devam edilmektedir. Fakat hastanın tedavisi tamamlandığında geçiş yapması gereken düzeyden bir diğer düzeye geçişi ya da çıkışı söz konusu olmaktadır.

Düzey-1, Düzey-2 ve Düzey-3'ün akış şemaları Ek-3'de gösterilmektedir.

Hastane içerisinde malzemelerin kullanımlarına bakıldığında, bir malzemenin hastanenin birçok bölümünde kullanabilmekte olduğu ve ayrıca tedavi süresince hastane içerisindeki hastaların bölümler arası geçişlerinin de söz konusu olduğu görülmektedir.

Hastaların hastaneye gelişlerinde, tedavi süresince hastanede yatışlarında ve tedavi bitiminde hastaneden çıkışlarında rassallık söz konusu olmaktadır. Bu rassallıklar çalışmada ele alınan problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Çalışmada tüm hastaneyi ele almak hem çok karmaşık hem de çok zor olmaktadır. Bu nedenle hastanede kendi içinde alt bölümleri ve bölümleri arasında geçişleri olan YYBÜ ele alınmıştır.

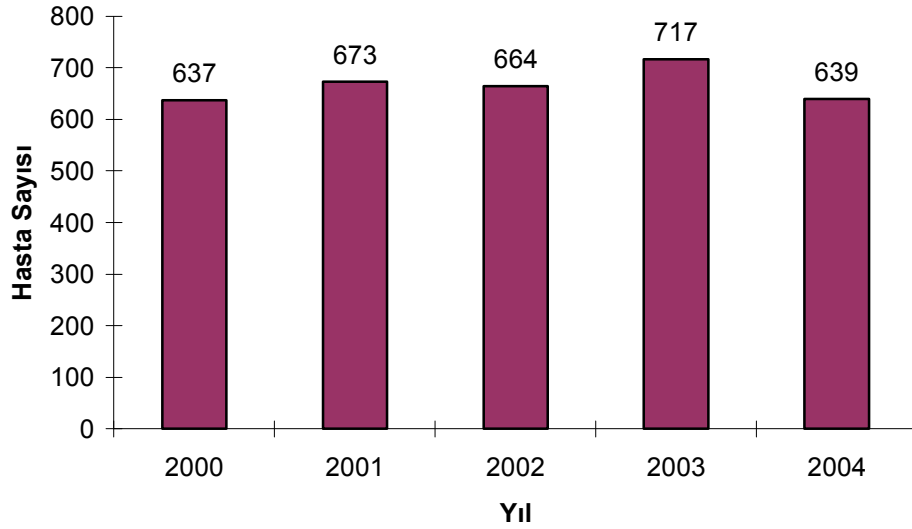
YYBÜ'ne, düzeyler arası ve dışardan hasta gelişleri, hasta yatışları ve hasta çıkışları rassal olmaktadır. Çalışmanın hastanenin bu bölümünde gerçekleştirilmesinin sebebi, bu bölümün hasta sevkleri açısından tüm hastanedeki geçişleri temsil edebilecek pilot bölge özelliğini taşıyor olmasıdır.

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi'nden aşağıdaki veriler alınmıştır;

- i. YYBÜ'de kullanılmakta olan tüm tıbbi malzemelerin ve ilaçların listesi ve kullanım bilgileri,
- ii. Liste içerisinde belirlenen tıbbi malzemenin mevcut satın alma politikası bilgileri (malzeme alım yöntemi, alım için gerekli hazırlık süresi, alım sürecinde görev alan kişiler, malzeme teslim süreleri bilgileri vs.),
- iii. Malzemenin özellikleri bilgileri (raf ömrü, stok koşulları, vs.),
- iv. Belirlenen malzemenin hastanede hangi birimlerde kullanıldığı bilgileri,
- v. Her düzeydeki hasta geliş sıklığı bilgileri,
- vi. Her düzeyde reddedilen hasta sayısı bilgileri,
- vii. Her düzeyde hasta yatış süreleri bilgileri,
- viii. Hastaların düzeyler arası geçiş yüzdeleri,
- ix. Birim hasta yatış süresi için söz konusu malzemenin kullanım miktarı bilgileri,
- x. Malzemenin sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti bilgileri.

4.2. Hasta Geliş Verilerinin Analizi

Çalışmada; 1999 yılı Aralık ayı ile 2004 yılı Aralık ayı arasında YYBÜ'ne gelen hastalara ait 3300 kayıt incelenmiştir. Yıllara göre gelen hasta sayısı grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi gelen hasta sayısı yıllar bazında değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.2. Yıllara Göre Hasta Sayısı

4.3. ABC Analizi İle Malzeme Seçimi

YYBÜ’de tedavi gören hastaların kullandıkları tıbbi malzeme ve ilaçların adı, kullanım miktarı, birim fiyatları ve hastaların hastaneye giriş-çıkış tarihleri bilgileri Access Veri Tabanında saklanmaktadır. Access veri tabanından elde edilen 1 yıllık veri seti ile YYBÜ’de kullanılan yaklaşık 500 üzerindeki ilaç ve tıbbi malzeme MS Office Excel Programı kullanılarak birim fiyatlarına, kullanım miktarlarına ve toplam maliyetlerine göre sınıflandırılmıştır. Maliyete göre sınıflandırılan malzemeler, maliyeti en çok olandan en az olana doğru sıralandırılmıştır. Bu sıralama ile az sayıda yüksek değerli (maliyet giderlerinin önemli dilimini oluşturan) A-Grubu malzemeler, orta derecede önem taşıyan B-Grubu malzemeler ve çok sayıdaki az değerli C-Grubu malzemeler belirlenmiştir. Çizelge 4.1.’de A-Grubunda yer alan malzemeler verilmiştir.

Çizelge 4.1. A grubunda yer alan 10 malzeme

İlaç veya tıbbi malzemenin adı	Maliyeti	Toplam Maliyet İçerisindeki %	Kümülatif %
1. FLOGARD FİLT. PUMP SET	60568,43	14,69	14,69
2. TPN 500	33194,85	8,05	22,74
3. SATURASYON PROBU PED.	24590,51	5,96	28,7
4. TRACH-CARE 5-6-8-12-14-16 F	23769,7	5,76	34,46
5. SURVANTA İNTRATRAK SÜSP.	23150,67	5,61	40,07
6. DEİYONİZE 1000 CC SOL. ECZ.	18591,83	4,51	44,58
7. FLOW SENSÖR PED	14267,11	3,46	48,04
8. HUMİDİFİYİNG CHEMBER Y.C	14035,6	3,40	51,44
9. VENTİLATÖR SET DEVRESİ ÇOCUK	12751,13	3,09	54,53
10. LC 5000 FİLT. POM. SETİ ÇİFTLİ	9335,44	2,26	56,79

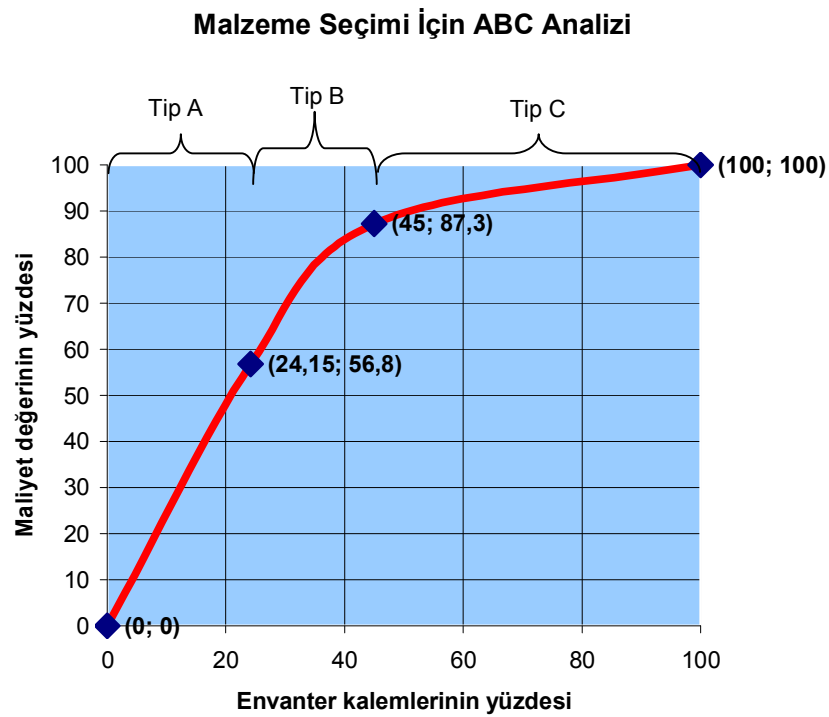
FloGard Filtre Pompa Seti Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi birimde kullanılan malzemeler içerisinde maliyeti en yüksek olan malzemedir. Bu nedenle malzeme maliyeti minimizasyonu yapmak için bu malzeme tercih edilmiştir. Bu malzemenin çalışmada tercih edilmesinin bir diğer sebebi ise hastanelerin tüm birimlerinde kullanılıyor olmasıdır.

Çizelge 4.1’de ayrıca belirlenen ilk 10 malzemenin maliyetlerinin birimde kullanılan tüm ilaç ve tıbbi malzemelerin (yaklaşık 500 çeşit) toplam maliyeti içerisindeki % değerleri ve kümülatif % değerleri gösterilmiştir.

YYBÜ’de kullanılan yaklaşık 500 çeşit tıbbi malzeme ve ilaçların kullanım miktarları, birim fiyatları ve toplam maliyetlerine bakılarak ABC Analizi yapılmıştır. Toplam malzeme içerisinde kullanım miktarının %24,15’ini ve toplam maliyetin %56,8’ini oluşturan malzemeler Tip A, kullanım miktarının %20,75’ini ve toplam maliyetin %30,5’ini oluşturan malzemeler Tip B, kullanım miktarının %55,1’ini ve toplam maliyetin %12,7’sini oluşturan malzemeler Tip C olarak değerlendirilmiştir. Veriler Çizelge 4.2.’de ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. ABC analizi ile malzemelerin sınıflandırılması

Malzemelerin Tüketim Hacmi	Tüketimin % Payı	Malzemelerin Maliyeti	Maliyetin % Payı	Malzemelerin Kategorileri
15766	24,15	234255,3	56,80	A
13485	20,75	125789,3	30,50	B
36041	55,10	52345,1	12,70	C
65292	100	412389,7	100	



Şekil 4.3. Malzeme Seçimi İçin ABC Analizi

4.4. FloGard Filtre Pompa Setinin Hastaneye Alım Süreci

Malzeme hastaneye ihale usulü ile alınmaktadır. Malzeme tüm hastane birimlerinde kullanılmakta ve stok kesilmesine izin verilmemektedir. Bu nedenle mevcut stok durumu sürekli kontrol sistemi ile bilgisayar veri tabanından kontrol edilmektedir. Malzeme düzeyi, hastane yönetiminin belirlemiş olduğu tekrar sipariş verme noktası (r) düzeyine ulaşıldığı zaman ihale hazırlıklarına başlanmaktadır.

Eczane birimi, ihale için gerekli belgeleri ve teknik şartnameyi hazırlamaktadır. Bu hazırlıklar yaklaşık 1 ay sürmektedir. Eczane birimi ihale hazırlıklarını tamamladıktan sonra gerekli onayları almak için hazırladıkları teknik şartnameyi bütçe planlama ve satın alma departmanına göndermektedir. Hazırlanan belgeler ve teknik şartnamede sorun yoksa, bütçe planlama ve satın alma departmanı belgeleri onaylamaktadır. Bu işlem de yaklaşık 2 ay sürmektedir. Eğer hazırlanan belgeler ve teknik şartname uygun bulunmazsa düzeltmelerin yapılması için tekrar eczane birimine gönderilmektedir.

Bütçe planlama ve satın alma departmanı tarafından uygun bulunan ve onaylanan teknik şartname, yine aynı departman tarafından ihalenin yapılabilmesi için gazeteye ve internete (www.saglik.gov.tr) ilan vermektedir. Tüm ecza depoları ve medikallar www.saglik.gov.tr sitesine üyedir.

İlanı verilen şartname ihaleye girecek bütün firmalar tarafından belli bir bedel karşılığında satın alınmaktadır. İnternette yayımlandıktan 15–45 gün sonra kapalı zarf usulü ile ihale yapılmaktadır.

İhaleye, uzman kişilerden ve satın alma komisyonundan oluşan ihale komisyonu girmektedir. “FloGard Filtireli Pompa Seti” malzemesi için ihale komisyonu 3 kişiden oluşmaktadır ve ihale süresi de yaklaşık 5 saattir.

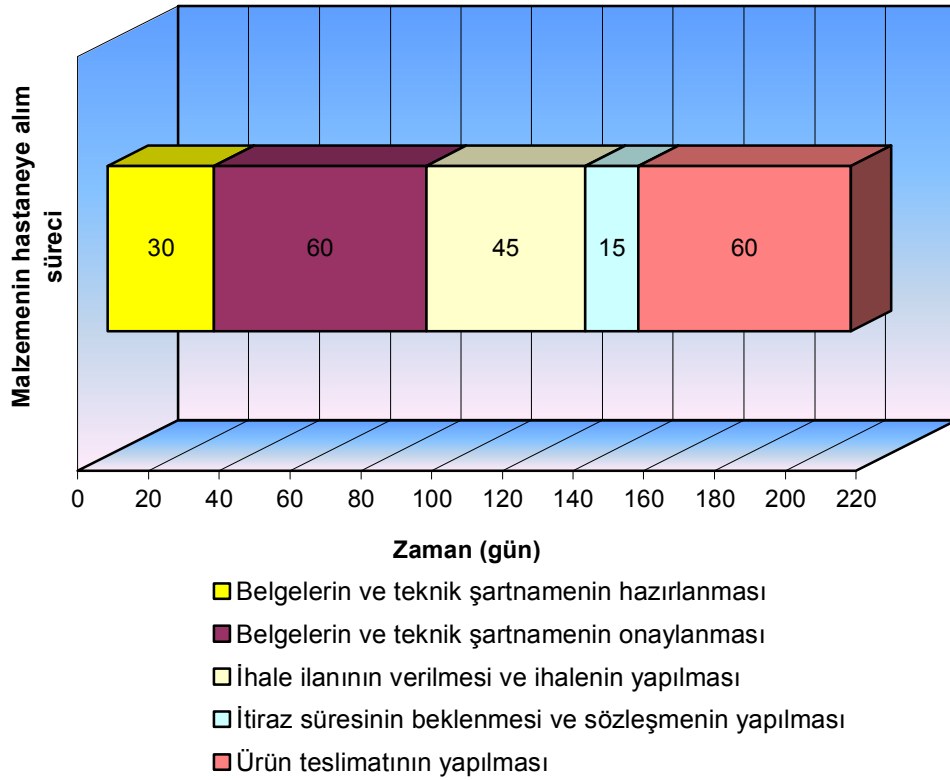
İhale yapıldıktan sonra 15 gün itiraz süresi beklenmektedir. İhaleye katılıp, ihaleyi alamayan diğer firmalardan bir itiraz gelmezse, ihaleyi kazanan firma ile sözleşme yapılmaktadır. Sözleşme yapıldıktan sonra müşteri isteğine göre ürün teslimi yapılmaktadır. Ürünün teslimatı maksimum 2 ay sürmektedir. Ürün 240 adetlik koliler halinde teslim edilmektedir.

Sağlık kuruluşunda tüm birimlerin ihtiyaçlarını karşılamak için toplu ihaleye çıkılmaktadır. Ancak birimler acil bir ihtiyaçları olduğunda birim adına da ihaleye çıkabilmektedirler.

Ek-4 malzeme/lerin hastaneye alım sürecinin akış diyagramını göstermektedir.

Şekil 4.4’de FloGard Filtireli Pompa Setinin hastaneye alım süreci gösterilmektedir. Hastanede toplu ihaleye çıkılmaktadır. Bu nedenle şekilde belirtilen süreler sadece FloGard Filtireli Pompa seti için değil ihaledeki malzeme ve ilaçların

tümü için gerekli hazırlık süresidir. Ancak teslim süresi sadece FloGard ürünü için geçerli olan süredir. Şekilde belirtilen ilk dört işlemin toplam süresi (150 gün) FloGard Filtreli Pompa Seti için gerekli maksimum hazırlık süresi ve beşinci işlem olan teslim süresi (60 gün) gerekli maksimum teslim süresi olarak çalışmada ele alınmıştır.



Şekil 4.4. FloGard Filtre Pompa Setinin Hastaneye Alım Süreci

4.5. İstatistiksel Analiz

Olasılık Dağılımlarının Seçimi:

Çalışmanın yapılabilmesi için Araştırma Hastanesinin Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi'nde kayıtlı bulunan hastaların hasta geliş ve hasta yatış bilgilerine ait 5 yıllık (1999-2004 yılları arasındaki) veri seti (3300 hasta kaydı), reddedilen hasta

sayısı bilgilerine (3 ay süresince yaklaşık 1000 hasta kaydı) ve hastaların tedavi gördükleri süre boyunca FloGard Filtre Pompa Setinden kullanım miktarlarına ait 1 yıllık (2005 yılı) veri seti (552 hasta kaydı) hastane yetkililerinden elde edilmiştir. Elde edilen verilerin hangi dağılıma uyduğunu belirlemek için hem “Statistica 6.0” hem de “EasyFit 4.0” kullanılmıştır. Veriler Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda en uygun olasılık dağılımı belirlenerek kullanılmıştır.

- **Kabul edilen hasta gelişlerinin olasılık dağılımının belirlenmesi:** Çalışmada incelenen 5 yıllık hasta verileri Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda hasta gelişlerinin %95 güvenilirlikle Poisson dağılımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.3’de her bir düzey için hasta gelişlerinin olasılık dağılımları ve dağılımların parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Her bir düzey için kabul edilen hasta gelişlerinin olasılık dağılımları

Hasta Gelişlerinin Olasılık Dağılımları (hasta/gün)			
	Düzy-1	Düzy-2	Düzy-3
Elde Edilen Uygun Olasılık Dağılımı	Poisson ($\lambda = 0,25$) (hasta/gün)	Poisson ($\lambda = 0,76$) (hasta/gün)	Poisson ($\lambda = 0,63$) (hasta/gün)

- **Başvurduğu halde reddedilen hastaların olasılık dağılımının belirlenmesi:** Tedavi için başvuran hastaların bir kısmı yeterli kapasite bulunmadığından mevcut sistemde reddedilmektedir. Çalışmada Yenidoğan ünitesinde reddedilen hastalara ait 3 aylık veriler, Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda her bir düzey için reddedilen hasta gelişlerinin %95 güvenilirlikle Poisson dağılımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.4’de her bir düzey için reddedilen hasta gelişlerinin olasılık dağılımları ve dağılımların parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Her bir düzey için reddedilen hasta gelişlerinin olasılık dağılımları

Reddedilen Hasta Gelişlerinin Olasılık Dağılımları (hasta/gün)			
	Düzy-1	Düzy-2	Düzy-3
Elde Edilen Uygun Olasılık Dağılımı	Poisson ($\lambda = 0,87$) (hasta/gün)	Poisson ($\lambda = 0,98$) (hasta/gün)	Poisson ($\lambda = 0,96$) (hasta/gün)

• **Hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımının belirlenmesi:** Çalışmada incelenen 5 yıllık hasta verileri Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda her bir düzeydeki hasta yatışlarının %95 güvenirlilikle Lognormal dağılımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.5’de her bir düzey için hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımları ve dağılımların parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Her bir düzey için hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımları

Hasta Yatış Sürelerinin Olasılık Dağılımları (gün)			
	Düzy-1	Düzy-2	Düzy-3
Elde Edilen Uygun Olasılık Dağılımı	Lognormal ($\mu = 1,67$ $\sigma = 0,99$) (gün)	Lognormal ($\mu = 2,16$ $\sigma = 0,69$) (gün)	Lognormal ($\mu = 1,55$ $\sigma = 1,14$) (gün)

• **Hasta yatış sürelerine bağlı FloGard kullanım miktarlarının olasılık dağılımının belirlenmesi:** Her bir düzeydeki hasta farklı tedaviye ihtiyaç duymakta ve bunun sonucunda da malzeme kullanım ihtiyaçları da tedavi durumuna göre değişmektedir. Çalışmada hastaların tedavi süresince kullandıkları FloGard kullanım miktarlarına ait 1 yıllık veriler incelenmiştir. İncelenen hasta verileri Ki-Kare veya Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve bu testler sonucunda her bir düzeydeki malzeme kullanım miktarlarının %95 güvenirlilikle Poisson dağılımına uyduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.6’da her bir düzey için kullanılan malzeme miktarlarının olasılık dağılımları ve dağılımların parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Her bir düzey için kullanılan malzeme miktarlarının olasılık dağılımları

Kullanılan Malzeme Miktarlarının Olasılık Dağılımları (Malzeme miktarı/Hasta-Gün)			
	Düzy-1	Düzy-2	Düzy-3
Elde Edilen Uygun Olasılık Dağılımı	Poisson ($\lambda = 0,5$) ($\frac{\text{malzeme miktarı}}{\text{hasta-gün}}$)	Poisson ($\lambda = 0,5$) ($\frac{\text{malzeme miktarı}}{\text{hasta-gün}}$)	Poisson ($\lambda = 0,5$) ($\frac{\text{malzeme miktarı}}{\text{hasta-gün}}$)

- **FloGard ürünü için tedarik süresinin belirlenmesi:** Ürünün alım süreci bölüm 4.4’de anlatılmıştır. Çalışmada tedarik süresi, siparişin verilmesi işlemi için gerekli hazırlık süresi ve siparişin teslimi için gerekli teslim süresinin toplamından oluşmaktadır. Uzmanlardan edindiğimiz bilgilere göre siparişin verilmesi işlemi için gerekli hazırlık süresi minimum 20 ve maksimum 150 gündür. Siparişi verilen ürünün teslim süresi ise minimum 1 ve maksimum 60 gündür. Belirli değerler arasında rastgele değişen, ancak hakkında fazla bir bilginin olmadığı bir değişkenin yaklaşık modellenmesinde düzgün (uniform) dağılım kullanılır. Bu nedenle siparişin hazırlık ve teslim süreleri için gerekli veri setleri düzgün dağılım ile elde edilmiştir.

- **YYBÜ’deki hastaların düzeyler arası geçişleri:** Şekil 4.1’de de gösterildiği gibi tedavi süresince hasta için üç durum oluşmaktadır. İlk durumda hasta ya tamamen iyileşir veya yaşamını kaybeder ve sistemi % 80 olasılıkla terk eder. 2. durumda hasta kısmen iyileşme kaydeder ve tedavi düzeyi azaltılarak yeni bir tedavi uygulanır. Hasta, 2. düzeyden 1. düzeye %25 olasılıkla, 3. düzeyden 2. düzeye %30 olasılıkla ve 3. düzeyden 1. düzeye %55 olasılıkla geçiş yapmaktadır. Son durumda ise hasta kısmen kötüleşir ve tedavi düzeyi arttırılarak yeni bir tedavi uygulanır. Hasta, 1. düzeyden 2. düzeye %12 olasılıkla, 1. düzeyden 3. düzeye %8 olasılıkla ve 2. düzeyden 3. düzeye %10 olasılıkla geçiş yapmaktadır.

Düzeyler arası geçiş yapacak olan hastaların tedavisi üniteye dışarıdan girecek olan hastalara göre daha önceliklidir.

4.6. Simülasyon Modelleme

YYBÜ’de sisteme giriş yapan hastaların kuyrukta beklemesi söz konusu değildir. Düzeyler arası geçiş sırasında; eğer bir düzeyden başka bir düzeye geçmek için bekleyen hasta için geçeceği düzeyde yer yoksa hasta bulunduğu düzeyde bekletilmekte ve tedavisine bulunduğu düzeyde devam edilmektedir. Fakat hastanın tedavisi tamamlandığında geçiş yapması gereken düzeyden bir diğer düzeye geçişi ya da çıkışı söz konusu olmaktadır. Bu tür modeller için kullanılabilecek genelleştirilmiş analitik çözümlerin uygulaması zor olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada simülasyon yaklaşımı tercih edilmiştir. Simülasyon yaklaşımının tercih edilmesinin bir diğer sebebi ise hastaların servise kabullerinin, hastaların tedavi sürelerinin ve tedavi süresince kullandıkları malzeme miktarlarının stokastik bir değişim göstermesidir.

Çalışmada 2 simülasyon modeli kurulmuştur. İlk modelde herhangi bir hazırlık süresi (T_s) ve herhangi bir teslim süresine (T_D) bağımlı olarak stok kesilmesine izin verilmeyecek tekrar sipariş verme noktasının (r) bulunması amaçlanmıştır. Ek-5’de ilk simülasyon modelinin akış diyagramı gösterilmiştir.

İkinci simülasyon modelinde ise herhangi bir r ve herhangi bir optimum sipariş miktarı (Q) ($Q \geq r$ olmak üzere) değerlerine bağlı olarak elde bulundurulan ortalama malzeme miktarı ($\bar{I}$) ve yıllık ortalama sipariş sayısı (N_o) bulunması amaçlanmıştır. Dolayısıyla $\bar{I}$ ve N_o simülasyon modelinde performans kriterleri olarak dikkate alınacaktır. Ek-6’da ikinci simülasyon modelinin akış diyagramı gösterilmiştir.

Her iki simülasyon modelinde de hastaların tedavi süresince kullandıkları malzeme miktarları, düzeylerdeki yatak dolulukları ile ilişkilendirildiğinden her bir düzeydeki yatakların doluluk oranları da performans kriteri olarak dikkate alınmıştır.

Bu simülasyon modellerinin kurulabilmesi için öncelikle servisteki malzeme kullanım sürecine ait istatistiksel analiz yapılmıştır. Simülasyon modellerinde girdi parametresi olarak dikkate alınan tüm olasılık dağılımları bölüm 4.5.1’de hesaplandığı gibidir.

Çalışmada simülasyon yaklaşımı uygulanırken:

1. Hasta gelişlerinin olasılık dağılımı (Çizelge 4.3),
2. Reddedilen hastaların olasılık dağılımı (Çizelge 4.4),
3. Hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımı (Çizelge 4.5) ve
4. Hasta yatış sürelerine bağlı FloGard kullanım miktarlarının olasılık dağılımı (Çizelge 4.6) belirlenmiştir.
5. Hastaların düzeyler arası geçişleri ve tedavinin bitirilmesi (Şekil 4.1) uzman kişilerden edinilen bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur. Düzeyler arası geçiş yapacak olan hastaların tedavisi üniteye dışarıdan girecek olan hastalara göre daha önceliklidir. Hasta geçiş yaptığında tedavi süresi yeniden belirlenmektedir.
6. Düzeyler arası geçiş sırasında; eğer bir düzeyden başka bir düzeye geçmek için bekleyen hasta için geçeceği düzeyde yer yoksa hasta bulunduğu düzeyde bekletilmekte ve tedavisine mevcut düzeyde devam edilmektedir. Ancak hastanın tedavisi tamamlandığında geçiş yapması gereken düzeyden bir diğer düzeye geçişi ya da çıkışı söz konusu olmaktadır.
7. Performans kriterleri belirlenmektedir.

4.6.1. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

YYBÜ’de kullanılmakta olan ve ABC Analizi ile bölüm 4.2’de belirlenmiş olan malzemenin, r ve Q değerlerine bağlı olarak toplam maliyetinin minimizasyonunu amaçlayan bu çalışmada performans kriterleri olarak her bir düzeydeki yatakların doluluk oranları, $\bar{I}$ ve N_o değerleri dikkate alınmıştır.

- **Yatak doluluk oranı:** Yatağın hastalar tarafından kullanıldığı toplam sürenin, o yatağın kullanılabilir olduğu süreye oranlaması elde edilmektedir.

$$\text{Yatak doluluk oranı} = \frac{\text{Toplam meşguliyet süresi}}{\text{Toplam çizelgelenen süre}} \quad (4.1.)$$

- **Ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı ($\bar{I}$):** Simülasyon süresince elde bulundurulan malzeme miktarının zaman ağırlıklı ortalamasıdır.

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} iT_i}{T(n)} \quad (4.2.)$$

T (n): simülasyon süresi (gün)

i : elde kalan stok miktarı

T_i : elde kalan stok miktarının i olduğu toplam süre

- **Yıllık ortalama sipariş sayısı (N_o):** Simülasyon süresince verilen sipariş sayısının simülasyonun çalıştırıldığı toplam yıl sayısına oranlanması ile hesaplanmaktadır.

$$N_o = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (4.3.)$$

n : simülasyon süresi (yıl)

Y_i : i-inci yılda verilen sipariş sayısı

4.6.2. Simülasyon Çıktılarının Analizi

Kurulan herhangi bir simülasyon modelinin sağlıklı sonuçlar vermesi için simülasyon çıktıların analizin yapılması gerekmektedir.

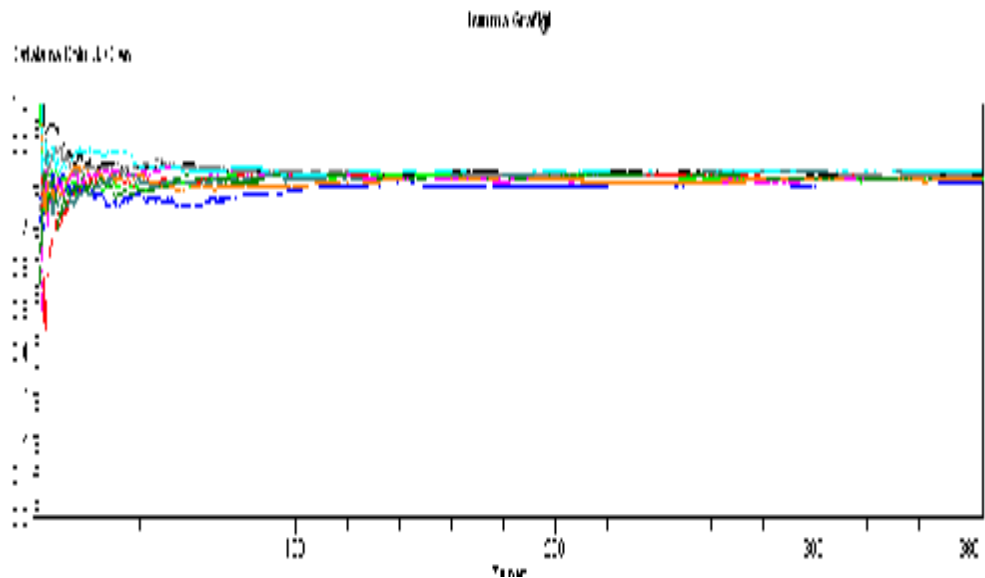
- **Simülasyon Uzunluğu:** Spesifik paket programları yardımıyla istatistiksel olarak elde edilen hasta gelişlerinin olasılık dağılımı, başvurduğu halde reddedilen hastaların olasılık dağılımı, hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımı, hasta yatış sürelerine bağlı FloGard kullanım miktarlarının olasılık dağılımı değerleri ve YYBÜ'deki hastaların düzeyler arası geçişleri simülasyon modellerine yansıtılmıştır. Hastane kayıtlarında veriler yıllık bazda incelenmektedir. Bu nedenle, ilk simülasyon modelinde simülasyon uzunluğu 365 gün alınarak sistemi en iyi şekilde temsil

edeceği düşünülmüştür. *Cohcran*, 2005 yılında bir doğum hastanesinde yaptığı simülasyon çalışmasında simülasyon uzunluğunu 300 gün olarak almıştır.

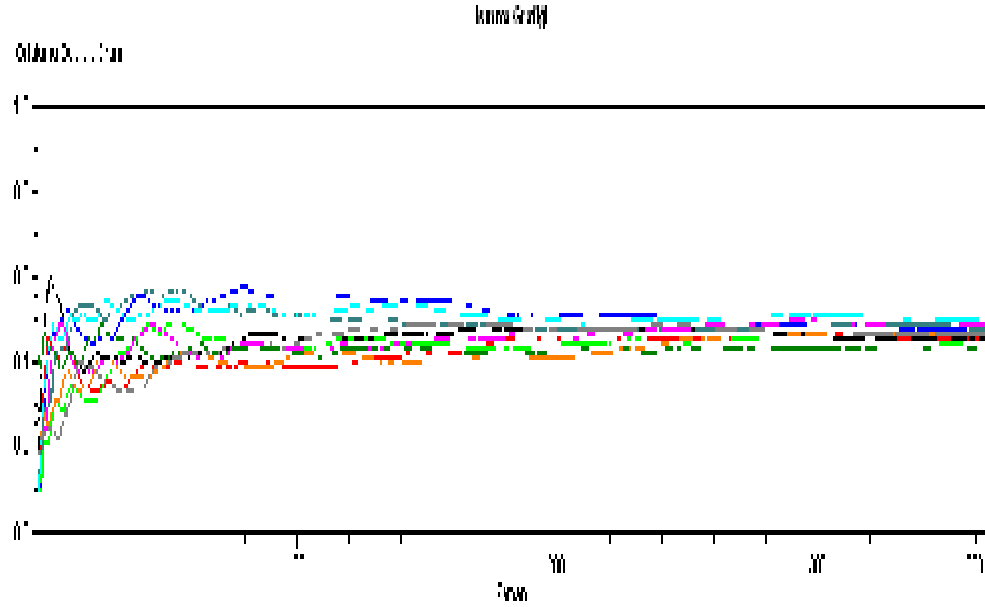
Fakat ikinci simülasyon modelinde yıllık ortalama sipariş sayısı ve ortalama elde bulundurulacak miktar değerleri hesaplanacağından simülasyon uzunluğu 30 yıl (10950 gün) alınmıştır. İkinci modelde simülasyon uzunluğunun çok uzun alınmasının sebebi ısınma periyodunda oluşabilecek belirsizliğin ortadan kaldırılması ve daha kesin sonuçların elde edilmesinin amaçlanmış olmasıdır.

- **Isınma Periyodu:** Sistemin durağan duruma ulaşmasında bir diğer ölçüt ısınma süresinin yeterliliğidir. Isınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmıştır. İlk simülasyon modelinde Düzey-1, Düzey-2 ve Düzey-3 için yatak doluluk oranları performans kriteri dikkate alınarak ‘Welch Grafik Yöntemi’ ile hesaplanan ısınma periyotları Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için ısınma periyodunun 20 gün alınmasının yeterli olduğu söylenebilir.

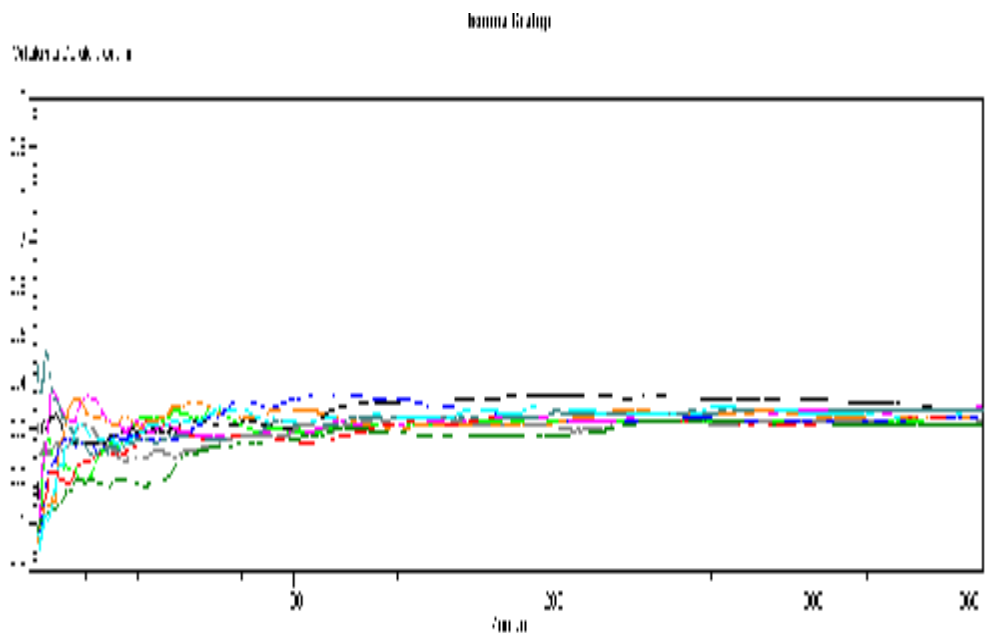


Şekil 4.5. Düzey-1 İçin Isınma Periyodu



Şekil 4.6. Düzey-2 İçin Isınma Periyodu

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için ısınma periyodunun 40 gün alınmasının yeterli olduğu söylenebilir.



Şekil 4.7. Düzey-3 İçin Isınma Periyodu

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için ısınma periyodunun 60 gün alınmasının yeterli olduğu söylenebilir.

Isınma periyodunu büyük seçmek küçük seçmekten daha iyidir (Law ve Kelton, 1991). Elde edilen tüm ısınma periyotları dikkate alındığında 60 günlük bir sürenin sistemi durağan duruma ulaştıracağı söylenebilir. Bu çalışmada yapılan 1. simülasyon modelinde ısınma süresi 80 gün alınmıştır. Çalışmada yapılan 2. simülasyon modelinde ise simülasyon uzunluğu 30 yıl alındığı için 100 günlük bir ısınma süresinin sistemin durağan duruma ulaşmasında yeterli olacağı düşünülmüştür.

- **Replikasyon Sayısının Belirlenmesi:** Tsiantos ve arkadaşlarının yaptığı (<http://magnet.atp.tuwien.ac.at/publications/preprint/tsiantos/hercma01/hercma2001.pdf>) çalışmada simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşim olduğu belirtilmiştir. Simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşim olduğu düşüncesiyle replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir.

Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon yapılmalıdır (Chung, 2004). İlk modelde replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta 20 replikasyon yapılmış ve performans kriteri olarak yatak doluluk oranı seçilmiştir. Replikasyon sayısının belirlenmesi için ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata (γ) Formülü’ kullanılmıştır. Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağıl hata (γ) değerinin %1-%5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991). Düzeltilmiş bağıl hata değeri (γ') 0.02 ve önem düzeyi değeri (α) 0.01 alınarak her bir düzey için gerekli replikasyon sayıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Çizelge 4.7’de de görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için 100 replikasyonun yeterli olduğu söylenebilir. İlk simülasyon modeli 500 replikasyon için çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.7. Her bir düzey için gerekli replikasyon sayısı

Replikasyon Sayısı	Düzyey-1 Yatak Doluluk Oranı	Düzyey-2 Yatak Doluluk Oranı	Düzyey-3 Yatak Doluluk Oranı
1	0,8204	0,4560	0,3302
2	0,8189	0,4489	0,3117
3	0,8125	0,4826	0,3230
4	0,8281	0,4563	0,3529
5	0,8222	0,4855	0,3482
6	0,8162	0,4613	0,3290
7	0,8366	0,4758	0,3367
8	0,8287	0,4647	0,3189
9	0,8224	0,4260	0,3086
10	0,8370	0,4917	0,3302
11	0,8307	0,4810	0,3550
12	0,8080	0,4188	0,3010
13	0,8125	0,5030	0,2890
14	0,7900	0,4697	0,3121
15	0,8226	0,4719	0,3493
16	0,8294	0,3965	0,3310
17	0,8002	0,4797	0,3091
18	0,8207	0,4307	0,3349
19	0,8142	0,4326	0,2672
20	0,8090	0,4587	0,3050
Ortalama	0,8190	0,4595	0,3222
S.Sapma	0,0118	0,0271	0,0224
Gerekli Rep. Sayısı	4,216549	71,38616	98,63894

İkinci modelde ise replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta 10 replikasyon yapılmış ve performans kriteri olarak $\bar{T}$ ve N_o değerleri seçilmiştir. Replikasyon sayısının belirlenmesi için ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata (γ) Formülü’ kullanılmıştır. Düzeltilmiş bağıl hata değeri (γ') 0.02 ve önem düzeyi değeri (α) 0.01 alınarak her bir performans kriteri için gerekli replikasyon sayıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. $\bar{I}$ ve N_o İçin Gerekli Replikasyon Sayısı

Replikasyon Sayısı	$\bar{I}$	N_o
1	1086	1,533
2	1061	1,532
3	1074	1,541
4	1059	1,542
5	1094	1,535
6	1068	1,540
7	1047	1,527
8	1047	1,532
9	1070	1,529
10	1072	1,534
Ortalama	1067,8	1,535
Standart Sapma	15,16	0,0052
Gerekli Replikasyon Sayısı	5,32	0,31

Çizelge 4.8’de de görüldüğü gibi sistemin durağan duruma ulaşması için 6 replikasyonun yeterli olduğu söylenebilir.

İkinci simülasyon modeli 100 replikasyon için çalıştırılmıştır.

- **Standart Hata:** Standart hata, bir popülasyondan seçilen örneklemelerin popülasyonu ne kadar iyi temsil ettiğini göstermektedir.

İlk simülasyon modelinde 500 replikasyon için her bir düzeyin yatak doluluk oranlarının standart hatası Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Her bir düzey için standart hata değerleri

Standart Hata	Düzy-1 Yatak	Düzy-2 Yatak	Düzy-3 Yatak
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0,0004	0,0008	0,0009

Standart hata ile replikasyon sonucu elde edilen yatak doluluk oranlarının birbirine ne kadar yakın olduğu ölçülebilmektedir. Her bir düzeyin doluluk oranın 500 replikasyon için ortalaması elde edilir. Her replikasyonun ortalamadan farkı ile

yatak doluluk oranlarının standart sapmaları hesaplanır. Standart sapmaların replikasyon sayısının kök değerine bölünmesi ile standart hata elde edilir.

Çizelge 4.9’da düzey-1 yatak doluluk oranı için standart hata değeri 0,0004 bulunmuştur. Bu, %95 güvenilirlikle örneklem ortalamasında $\pm 0,0004$ değişim olduğunu göstermektedir. Düzey-2 yatak doluluk oranı için standart hata değeri 0,0008 bulunmuştur. Bu, %95 güvenilirlikle örneklem ortalamasında $\pm 0,0008$ değişim olduğunu göstermektedir. Düzey-3 yatak doluluk oranı için standart hata değeri 0,0009 bulunmuştur. Bu, %95 güvenilirlikle örneklem ortalamasında $\pm 0,0009$ değişim olduğunu göstermektedir.

İkinci simülasyon modelinde 100 replikasyon için $\bar{I}$ ve N_o değerlerinin standart hataları Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. $\bar{I}$ ve N_o için standart hata değerleri

Standart Hata	$\bar{I}$	N_o
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0,32	0,001

Standart hata ile replikasyon sonucu elde edilen $\bar{I}$ değerlerinin birbirine ne kadar yakın olduğu ölçülebilmektedir. 100 replikasyon için $\bar{I}$ değerlerinin ortalaması elde edilir. Her replikasyon sonucu elde edilen $\bar{I}$ değerinin ortalamadan farkı ile standart sapması hesaplanır. Standart sapma değerinin replikasyon sayısının kök değerine bölünmesi ile $\bar{I}$ için standart hata elde edilir. Aynı işlemler N_o değeri için de yapılarak, standart hata değeri hesaplanır.

$\bar{I}$ (ortalama elde bulundurulanan malzeme miktarı) için standart hata değeri 0,32 bulunmuştur. Bu, %95 güvenilirlikle örneklem ortalamasında $\pm 0,32$ değişim olduğunu göstermektedir. N_o (her yıl verilmesi beklenene sipariş sayısı) için standart hata değeri 0.001 bulunmuştur. Bu, %95 güvenilirlikle örneklem ortalamasında ± 0.001 değişim olduğunu göstermektedir.

• **Güvenlik Aralığı:** Çalışmada ele alınan malzeme için yıllık talep değeri yaklaşık 4600 adettir. Talep için güvenlik aralığı hesaplanmıştır.

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4.4.)$$

$\bar{x}$ ve s sırasıyla örneklem ortalamasını ve örneklem standart sapmasını ifade etmektedir. n örneklem büyüklüğü ve $t_{\alpha/2, n-1}$, $n-1$ serbestlik düzeyi ile t-tablo değerini ifade etmektedir. Simülasyon modelinin çalıştırılması sonucu elde edilen $\bar{x} = 4608,49$ ve $s = 127,9$ ve $\alpha = 0,05$ ile $t_{0,025/100} = 1,984$. Güvenlik aralığının alt ve üst sınırı sırası ile 4583,24 ve 4633,74 bulunmuştur. $4583,24 \leq 4600 \leq 4633,74$ olduğu için simülasyon modeli geçerlidir.

• **İkinci simülasyon modelinde dikkate alınan varsayımlar:**

- i) Simülasyonun çalışma zamanı boyunca tüm dağılımlar sabittir.
- ii) Model stok kesilmesine izin vermemektedir.
- iii) Başlangıç stok seviyesi Q miktarı kadardır.
- iv) Sipariş verme işlemi eldeki envanter düzeyi tekrar sipariş verme noktasına eşit ya da daha küçük ise gerçekleşmektedir.
- v) $Q \geq r$
- vi) Envanter düzeyi sürekli gözden geçirme yöntemi ile kontrol edilmektedir.

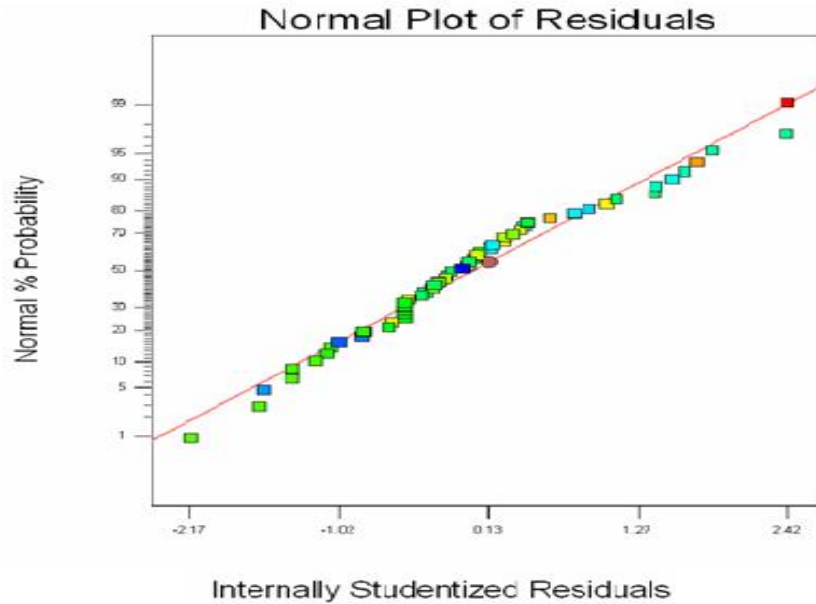
4.7. Tepki Yüzeyleri (Response Surface) ve Simülasyon Meta-modelleme

4.7.1. T_S ve T_D Değerlerine Bağlı Olarak r Değerinin Bulunması

Tam olasılıklı ekonomik sipariş miktarı modelinde, tekrar sipariş verme noktası, r , siparişin verilmesi ile alınması arasındaki tedarik süresinin bir fonksiyonudur (Taha, 2000). Çalışmada tedarik süresi; hazırlık süresi ve teslim süresinin toplamı olarak alınmıştır. Dolayısıyla tedarik süresi, hazırlık süresi ve teslim süresine bağlıdır.

Çalışmada yapılan ilk simülasyon modelinde, seçilen malzemenin siparişin verilmesi için gerekli hazırlık süresi (T_S) ve verilen siparişin teslim edilebileceği süre (T_D) bağımsız değişkenler, tekrar sipariş verme noktası (r) ise bağımlı değişken (tepki (response) değişkeni) olarak ele alınmıştır.

T_S (min 20 gün ve max 150 gün) ve T_D (min 1 gün ve max 60 gün) ile ilgili olarak elimizde sadece uzmanlardan elde ettiğimiz maksimum ve minimum değerler bulunmaktadır. T_S ve T_D ile r arasındaki fonksiyonel ilişkinin belirlenebilmesi için CCD (Central Composite Design) ile 54 farklı veri seti oluşturulmuş ve ilk simülasyon modelinden bu veri seti ile 54 farklı r değeri elde edilmiştir. Simülasyon modeli ile elde edilen değerler çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

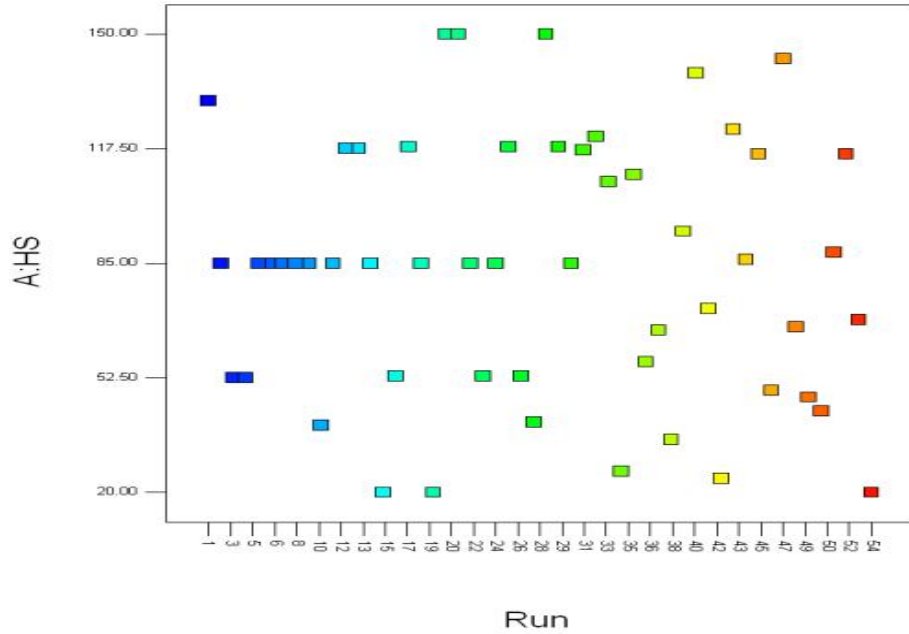


Şekil 4.8. Hataların Normal Dağılım Grafiği

Her bir tepki değişkeni için hatanın normal grafiği incelenmiştir. Burada verilerin, doğru etrafında S biçiminde dağılımı beklenmektedir. Hataların normal dağılıma uyduğu ve seçilen modelin tepki değişkenini en iyi temsil ettiği şematik olarak Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. T_s , T_D ve r değerleri veri seti

	T_s	T_D	r		T_s	T_D	r
1	130,96	30,50	2356	28	150	31	2656
2	85,00	30,50	1721	29	118	16	1967
3	52,50	45,25	1480	30	85	1	1350
4	52,50	15,75	1076	31	117	16	1949
5	85,00	30,50	1721	32	121	36	2307
6	85,00	30,50	1721	33	108	32	2063
7	85,00	30,50	1721	34	26	19	742
8	85,00	51,36	1989	35	110	15	1846
9	85,00	30,50	1721	36	57	14	1133
10	39,04	30,50	1091	37	66	46	1682
11	85,00	9,64	1457	38	35	5	669
12	117,50	45,25	2374	39	94	29	1816
13	117,50	15,75	1949	40	139	7	2146
14	85,00	60,00	2135	41	72	42	1700
15	20,00	31,00	816	42	24	55	1246
16	53,00	16,00	1090	43	123	35	2316
17	118,00	46,00	2403	44	86	12	1484
18	85,00	46,00	1925	45	116	25	2084
19	20,00	60,00	1263	46	49	16	1040
20	150,00	60,00	3068	47	143	33	2572
21	150,00	1,00	2218	48	67	39	1604
22	85,00	31,00	1736	49	47	53	1513
23	53,00	46,00	1497	50	43	24	1060
24	85,00	16,00	1524	51	88	44	1941
25	118,00	31,00	2188	52	116	49	2428
26	53,00	31,00	1319	53	69	27	1474
27	40,00	20,00	973	54	20	1	419



Şekil 4.9. Değişken – Replikasyon Korelasyon Grafiği

Deney setlerindeki veriler arasında korelasyon olmadığı görülmüştür. Örneğin Şekil 4.9’da görüldüğü üzere deney sırası ile veriler arasında bir ilişki olmadığı, korelasyon katsayısının (-0,065) sıfıra yakın olup değerlerin rasgele dağıldığı anlaşılmıştır. Bu kontrol çalışmada yer alan tüm verilere uygulanmıştır.

Değişkenlerin korelasyon grafiklerine bakıldıktan sonra, T_S ve T_D bağımsız değişkenleri ile r bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$r = 129,84921 + 13,8068T_S + 13,92767T_D \quad (4.5.)$$

olarak bulunmuştur.

T_S ve T_D bağımsız değişkenleri ile r bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ifade edecek modelin belirlenmesinde yapılan istatistikler çizelge 4.12’de görüldüğü gibidir. Modelin kaçınıcı dereceden olacağına karar verirken R^2 , düzeltilmiş- R^2 (adjusted- R^2), tahmin-edilen- R^2 , kareler toplamının tahmini (PRESS)(çizelge 4.13) ve MSE (Mean Square Error- Ortalama Hata Karesi) (çizelge 4.14) değerlerine bakılır. R^2 , düzeltilmiş- R^2 ve tahmin edilen R^2 değerlerinin 1’e yakın değerler olması, PRESS ve MSE değerinin ise düşük değer olması istenir.

Eğer, R^2 ve düzeltilmiş- R^2 değerleri birbirine yakınsa MSE değeri ihmal edilip, derecesi en küçük olan model tercih edilir.

Çizelge 4.12. r çıktı değişkeni için uygun model seçimi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Ortalama	1,559E+008	1	1,559E+008		
Lineer	1,601E+007	2	8,005E+006	40156,89	< 0,0001
2FI	43,5	1	43,5	0,21	0,6450
Kuadratik	1130,70	2	565,35	3,02	0,0583
Kübik	4196,57	4	1049,14	9,63	< 0,0001
Artık (hata)	4795,21	44	108,98		
Toplam	1,719E+008	54	3,183E+006		

Çizelge 4.13. r çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri

Kaynak	Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş- R^2	Tahmin-edilen- R^2	Kareler Toplamının Tahmini
Lineer	14,12	0,9994	0,9993	0,9993	11808,34
2FI	14,23	0,9994	0,9993	0,9992	13080,61
Kuadratik	13,69	0,9994	0,9994	0,9992	12999,59
Kübik	10,44	0,9997	0,9996	0,9992	12031,23

Modellerin özet istatistiklerinden (çizelge 4.13) de görüldüğü gibi lineer model bizim için en uygun modeldir. ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9994 olarak bulunmuştur. Bu, T_S ve T_D açıklayıcı değişkenleri ile elde edilen r (tekrar sipariş verme noktası) çıktı değişkeninin değişkenliğindeki azalma miktarının ölçümünün %99 olduğunu göstermektedir.

ANOVA analizi ile düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9993 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş- R^2 , açıklayıcı değişkenler ile hesaplanan çıktı değişkenindeki varyasyon oranını ölçer. Düzeltilmiş- R^2 değeri modele başka bir açıklayıcı değişken eklendiğindeki değerin doğruluğunu yansıtır. Bu nedenle düzeltilmiş- R^2 değeri, R^2

değerinden daha doğru bir uyum (goodness-of-fit) ölçümü olarak düşünülür (Montgomery ve ark., 2004).

Tahmin-edilen- R^2 hesaplanırken model tahminine dahil olmayan yeni gözlemler kullanılır. Böylece, modellerin karşılaştırılmasında düzeltilmiş- R^2 'den daha kullanışlı olabilir.

Kareler toplamının tahmini (Prediction Sum of Squares-PRESS) değeri modelin gücünü tahmin etme göstergesidir ve model seçilirken düşük olması tercih edilir.

R , oluşturulan değerler ($\hat{y}$) ile gözlenen değerler (y) arasındaki basit korelasyonu, yani uyum iyiliğini gösterir. Tekrar sipariş verme noktası (r) için R değeri 1 olarak bulunmuştur. Bu, oluşturulan değerler ile gözlenen değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir.

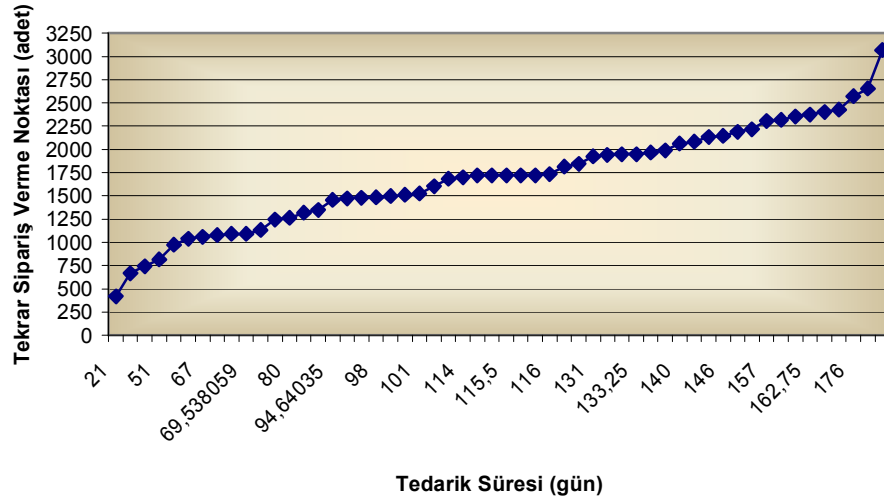
Modelde yer alan terimler için önemlilik testi çizelge 4.14'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.14. r çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Model	1,601E+007	2	8,005E+006	40156,89	< 0,0001
T_s	1,344E+007	1	1,344E+007	67435,62	< 0,0001
T_D	2,567E+006	1	2,567E+006	12878,16	< 0,0001
Artık (Hata)	10165,98	51	199,33 (MSE)		
Uyum Eksikliği	10165,98	47	216,30		
Saf Hata	0,000	4	0,000		
Toplam	1,602E+007	53			

Model için bulunan F-değerinin 40156.89 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. “Olasılık>F” değerinin 0.05’den küçük olması modelde yer alan terimlerin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda, hazırlık süresi “ T_s ” ve teslim süresi “ T_D ” model için anlamlı terimlerdir.

Şekil 4.10’da tedarik süresi ($T_s + T_D$) arttıkça r değerinin de arttığı görülmektedir.

Şekil 4.10. Tedarik Süresi ile r Arasındaki İlişki

4.7.2. r ve Q Değerlerine Bağlı Olarak $\bar{I}$ ve N_o Değerlerinin Bulunması

Yapılan ikinci simülasyon modelinde ise tekrar sipariş verme noktası (r) ve sipariş miktarı (Q) bağımsız değişkenler, ortalama elde bulundurulan miktar ($\bar{I}$), yıllık ortalama sipariş sayısı (N_o) bağımlı değişkenler (tepki değişkenleri) olarak ele alınmıştır.

Sipariş miktarı (Q) değerleri, $Q \geq r$ koşulunu sağlamak üzere rassal olarak, r değerleri ise ilk simülasyon modelinden elde edilmiştir. r ve Q değerlerinin tamsayı olması gerektiğinden Design Expert 6.0 paket programının deneme versiyonunun User Define menüsü ile 50 veri seti oluşturulmuştur. 50 veri seti ile simülasyon sonucunda elde edilen değerler çizelge 4.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.15. r , Q , $\bar{I}$, N_o veri seti

	r	Q	$\bar{I}$	N_o		r	Q	$\bar{I}$	N_o
1	2135	5000	2771,10	0,93	26	1816	4200	2337,84	1,13
2	816	5500	2922,76	0,83	27	2146	7200	3889,39	0,67
3	1090	2030	1219,65	2,33	28	1700	2000	1232,70	2,40
4	2403	6200	3399,84	0,77	29	1246	1500	980,60	3,17
5	1925	3200	1837,52	1,50	30	2316	2500	1531,02	1,90
6	1263	2000	1234,62	2,37	31	1484	2800	1624,83	1,70
7	3067	4050	2382,76	1,17	32	2084	3400	1971,90	1,40
8	2218	5020	2783,21	0,93	33	1040	2200	1306,06	2,17
9	1736	2000	1241,99	2,40	34	2572	6000	3322,37	0,80
10	1497	3000	1724,00	1,57	35	1604	4500	2495,11	1,03
11	1524	2808	1629,70	1,70	36	1513	4200	2332,01	1,13
12	2188	3650	2094,79	1,30	37	1060	2000	1200,93	2,37
13	1319	1500	987,88	3,17	38	1941	4400	2438,32	1,07
14	973	2500	1453,99	1,90	39	2428	3500	2054,79	1,37
15	2656	3475	2063,91	1,37	40	1474	2400	1439,66	1,97
16	1967	2170	1326,15	2,20	41	2356	3300	1924,37	1,43
17	1350	2250	1370,50	2,10	42	1721	3450	1957,28	1,37
18	1949	5000	2740,20	0,93	43	1480	2600	1524,69	1,83
19	2307	4000	2288,06	1,20	44	1076	2600	1494,87	1,83
20	2063	3000	1759,22	1,60	45	1989	5000	2731,76	0,93
21	742	1200	766,32	3,97	46	1091	3800	2096,99	1,23
22	1846	4000	2238,11	1,20	47	1457	2500	1491,95	1,90
23	1133	3500	1973,11	1,33	48	2374	4200	2384,47	1,13
24	1682	2200	1339,58	2,17	49	1949	4200	2335,46	1,13
25	669	2200	1258,87	2,13	50	419	7000	3651,46	0,67

r ve Q bağımsız değişkenleri ile $\bar{I}$ bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\bar{I} = 128.1594 + 0.069578 * r + 0.49882 * Q \quad (4.6.)$$

olarak bulunmuştur.

r ve Q bağımsız değişkenleri ile $\bar{I}$ bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki ifade edecek modelin belirlenmesinde yapılan istatistikler çizelge 4.16'da görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.16. $\bar{I}$ çıktı değişkeni için uygun model seçimi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Ortalama	1,943E+008	1	1,943E+008		
Lineer	2,525E+007	2	1,262E+007	63748,66	< 0,0001
2FI	452,00	1	452,00	2,35	0,1323
<u>Kuadratik</u>	<u>1238,87</u>	<u>2</u>	<u>619,43</u>	<u>3,58</u>	<u>0,0363</u>
<u>Kübik</u>	<u>2597,23</u>	<u>4</u>	<u>649,31</u>	<u>5,17</u>	<u>0,0019</u>
Artık (hata)	5019,63	40	125,49		
Toplam	2,195E+008	50	4,391E+006		

Çizelge 4.17. $\bar{I}$ çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri

Kaynak	Standart Sapma	R ²	Düzeltilmiş-R ²	Tahmin-edilen-R ²	Kareler Toplamının Tahmini
Lineer	14,07	0,9996	0,9996	0,9996	10580,33
2FI	13,88	0,9996	0,9996	0,9995	11592,35
<u>Kuadratik</u>	<u>13,16</u>	<u>0,9997</u>	<u>0,9997</u>	<u>0,9996</u>	<u>10390,75</u>
<u>Kübik</u>	<u>11,20</u>	<u>0,9998</u>	<u>0,9998</u>	<u>0,9993</u>	<u>18517,74</u>

R² ve düzeltilmiş-R² değerleri birbirine yakın olduğundan MSE değeri ihmal edilmiş ve derecesi en küçük olan model (lineer model) tercih edilmiştir.

ANOVA analizi ile R² değeri 0.9996 ve düzeltilmiş-R² değeri ise 0.9996 olarak bulunmuştur (çizelge 4.17).

R, oluşturulan değerler ($\hat{y}$) ile gözlenen değerler (y) arasındaki basit korelasyonu, yani uyum iyiliğini gösterir. Ortalama elde bulundurulacak miktar ($\bar{I}$) için R değeri 1 olarak bulunmuştur. Bu, oluşturulan değerler ile gözlenen değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir.

Modelde yer alan terimler için önemlilik testi çizelge 4.18’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.18. $\bar{I}$ çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Model	2,525E+007	2	1,262E+007	63748,66	< 0,0001
r	3,789E+006	1	3,789E+006	19132,80	< 0,0001
Q	2,146E+007	1	2,146E+007	1,084E+005	< 0,0001
Artık (Hata)	9307,72	47	198,04 (MSE)		
Toplam	2,526E+007	49			

Model için bulunan F-değerinin 63748.66 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. “Olasılık>F” değerinin 0.05’den küçük olması modelde yer alan terimlerin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda, r (tekrar sipariş verme noktası) ve Q (optimum sipariş miktarı) model için anlamlı terimlerdir.

r ve Q bağımsız değişkenleri ile N_o bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$N_o = +7.51559 - 8.92167E-004r - 3.52899E-003Q - 3.47210E-008r^2 + 5.59100E-007Q^2 + 6.07381E-007rQ + 5.43121E-011r^3 - 2.91225E-011Q^3 - 8.50949E-011r^2Q - 4.14152E-011rQ^2 \quad (4.7.)$$

olarak bulunmuştur.

r ve Q bağımsız değişkenleri ile N_o bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki ifade edecek modelin belirlenmesinde yapılan istatistikler çizelge 4.19’da görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.19. N_o çıktı değişkeni için uygun model seçimi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Ortalama	130,57	1	130,57		
Lineer	19,10	2	9,55	101,37	< 0,0001
2FI	0,65	1	0,65	7,87	0,0074
Kuadratik	2,78	2	1,39	60,73	< 0,0001
Kübik	0,87	4	0,22	65,50	< 0,0001
Artık (hata)	0,13	40	3,329E-003		
Toplam	154,10	50	3,08		

Çizelge 4.20. N_o çıktı değişkeni için modellerin özet istatistikleri

Kaynak	Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş- R^2	Tahmin- edilen- R^2	Kareler Toplamının Tahmini
Lineer	0,31	0,8118	0,8038	0,7716	5,37
2FI	0,29	0,8393	0,8288	0,6772	7,59
Kuadratik	0,15	0,9573	0,9524	0,9225	1,82
Kübik	0,058	0,9943	0,9931	0,9746	0,60

Modelin özet istatistiklerinden de görüldüğü gibi cubic model bizim için en uygun modeldir (çizelge4.20). ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9943 ve düzeltilmiş- R^2 değeri 0.9931 olarak bulunmuştur.

R, oluşturulan değerler ($\hat{y}$) ile gözlenen değerler (y) arasındaki basit korelasyonu, yani uyum iyiliğini gösterir. Ortalama sipariş sayısı (N_o) için R değeri 0.997 olarak bulunmuştur. Bu, oluşturulan değerler ile gözlenen değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir.

Modelde yer alan terimler için önemlilik testi çizelge 4.21’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.21. N_o çıktı değişkeni için lineer modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	Olasılık>F
Model	23,39	9	2,60	780,74	< 0,0001
r	4,78	1	4,78	1435,67	< 0,0001
Q	14,32	1	14,32	4301,06	< 0,0001
r^2	0,26	1	0,26	78,69	< 0,0001
Q^2	3,03	1	3,03	911,08	< 0,0001
rQ	0,13	1	0,13	38,14	< 0,0001
r^3	0,030	1	0,030	9,02	0,0046
Q^3	0,74	1	0,74	222,24	< 0,0001
r^2Q	0,039	1	0,039	11,65	0,0015
rQ^2	0,064	1	0,064	19,09	< 0,0001
Artık (Hata)	0,13	40	3,329E-003 (MSE)		
Toplam	23,52	49			

Model için bulunan F-değerinin 780.74 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. “Olasılık>F” değerinin 0.05’den küçük olması modelde yer alan terimlerin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda; r , Q , r^2 , Q^2 , rQ , r^3 , Q^3 , r^2Q , rQ^2 terimleri model için anlamlı terimlerdir.

4.8. Meta-modellerin Doğruluğu ve Geçerliliği

Meta-modellerin doğruluğunu ölçmek için R (korelasyon katsayısı), R^2 ve düzeltilmiş- R^2 değerine bakmak yeterli olacaktır. Bir önceki bölümde de görüldüğü gibi üç metamodel için de R, R^2 ve düzeltilmiş- R^2 değerleri %99’un üzerinde bulunmuştur.

Meta-modellerin geçerliliğini ölçmek için birçok istatistiksel metot (mutlak bağıl hata, mutlak hata, tahmin edilen hata karalarının ortalaması) vardır (Kleijnen, 2000). Ancak bu çalışmada *Mutlak Bağıl Hata (MBH)* geçerliliği ölçmek için kullanılmıştır. MBH değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$h(w, y) = \left| \frac{(w - y)}{w} \right| \quad (4.8.)$$

Burada w : simülasyondan elde edilen çıktı değerini, y : meta-modelden elde edilen çıktı değerini ifade etmektedir.

Tekrar sipariş verme noktası (r) için elde edilen meta-modelin geçerliliğini ölçerken; meta-model fonksiyonunun oluşturulmasında yer almayan veri setleri (CCD ile 13 veri setinin yeterli olduğu görülmektedir) için simülasyon modeli çalıştırılır. Simülasyondan elde edilen r değerleri ile meta-modelden elde edilen r değerleri karşılaştırılır ve MBH değerleri elde edilir. $h_{\max} = 0.03$ değeri meta-modelin geçerliliği için yeterli bir değerdir (Kleijnen, 2000 ve Yalçınkaya, 2009). Çizelge 4.22’de de görüldüğü gibi elde edilen MBH değerleri %3’den küçüktür ve r için elde edilen meta-modelin optimizasyonda kullanmak için yeterli olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.22. r için MBH değerleri

	T_s	T_D	$r_{\text{simülasyon}}$	$r_{\text{meta-model}}$	MBH
1	80	21	1524	1526,87428	0,00189
2	82	1	1308	1275,93448	0,024515
3	84	5	1384	1359,25876	0,017877
4	140	17	2307	2299,5716	0,00322
5	72	2	1182	1151,79415	0,025555
6	65	14	1246	1222,27859	0,019038
7	91	6	1479	1469,83403	0,006197
8	120	50	2502	2483,04871	0,007574
9	62	4	1050	1041,58149	0,008018
10	25	20	742	753,57261	0,0156
11	45	15	973	960,07026	0,013289
12	85	15	1513	1512,34226	0,000435
13	52	45	1479	1474,54796	0,00301

Aynı hesaplamalar $\bar{T}$ ve N_o çıktı parametreleri için de hesaplanmış ve $\bar{T}$ ve N_o için elde edilen meta-modellerin de optimizasyonda kullanmak için yeterli olduğu görülmüştür.

4.9. Matematiksel Modelleme

Modellemenin ilk adımında FloGard filtreli pompa setinin siparişinin hazırlanması/verilmesi aşamasında sipariş maliyeti hesaplatılmış, ardından sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyetine bağlı olarak toplam maliyeti minimize edecek matematiksel model kurulmuştur.

Sipariş maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$C_o = c_{ph}t_{ph} + c_{dr}t_{dr} + c_{ex}t_{ex} + c_n t_n + c_s t_s + C_{oth} \quad (4.9.)$$

Toplam maliyeti minimize etmek için kurulan INLP modeli aşağıda yer aldığı gibidir.

Amaç fonksiyon:

$$\min C = C_H \bar{I} + C_O N_O \quad (4.10.)$$

Kısıtlar:

$$r = \beta_0 + \beta_1 T_S + \beta_2 T_D \quad (4.11.)$$

$$\bar{I} = \beta_3 + \beta_4 r + \beta_5 Q \quad (4.12.)$$

$$N_O = \beta_6 + \beta_7 r + \beta_8 Q + \beta_9 r^2 + \beta_{10} Q^2 + \beta_{11} rQ + \beta_{12} r^3 + \beta_{13} Q^3 + \beta_{14} r^2 Q + \beta_{15} rQ^2 \quad (4.13.)$$

$$N_O Q \geq D_{\max} \quad (4.14.)$$

$$Q \geq r \quad (4.15.)$$

$$T_{SL} \leq T_S \leq T_{SU} \quad (4.16.)$$

$$T_{DL} \leq T_D \leq T_{DU} \quad (4.17.)$$

$$r : \text{Tamsayı} \quad (4.18.)$$

$$Q : \text{Tamsayı} \quad (4.19.)$$

Modelde denklem (4.10.) amaç fonksiyon denklemidir. Amaç fonksiyon ile yıllık ortalama sipariş sayısı * her bir sipariş için sipariş maliyeti ve ortalama elde bulundurulmuş malzeme miktarı * her bir birim malzemenin yıllık elde bulundurma maliyetine bağlı olarak oluşacak toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmıştır.

Modelde denklem (4.11.) tekrar sipariş verme noktası kısıtı denklemidir. Bölüm 4.7.1’de belirtildiği gibi malzeme sipariş için gerekli ve rassal olarak değişen hazırlık süresi (T_S) ve teslim süresi (T_D) değişkenlerine bağlı olarak regresyon analizi ile elde edilmiştir. Modeldeki denklem (4.12.) ortalama elde bulundurulmuş malzeme

miktarı kısıtı denklemdir ve bölüm 4.7.2’de belirtildiği gibi r ve Q değişkenlerine bağlı olarak regresyon analizi ile elde edilmiştir. Denklem (4.13.) ise her yıl verilmesi beklenen ortalama sipariş sayısı kısıtı denklemdir. Bu denklem bölüm 4.7.2’de belirtildiği gibi r ve Q değişkenlerine bağlı olarak regresyon analizi ile elde edilmiştir. Denklem (4.13.)de görüldüğü gibi değişkenlerin üstlü değerlerle ifade edilmesi kurduğumuz modelin nonlinear model olmasına sebep olmuştur.

Modeldeki denklem (4.14.) bir yıl boyunca satın alınacak malzeme miktarının en az bir yıl boyunca oluşacak maksimum talebi karşılamaya yetecek kadar olması gerektiğini ifade etmektedir. Böylece stok kesilmesi durumu da engellenmiş olacaktır. Denklem (4.15.) verilecek sipariş miktarının en az tekrar sipariş verme noktasındaki malzeme miktarı kadar olması gerektiğini ifade eden kısıt denklemdir.

Denklem (4.16.) siparişin verilebilmesi, denklem (4.17.) ise siparişin elde edilebilmesi için gerekli hazırlık ve teslim süreleri kısıt denklemleridir. Bu denklemlerde kullanılan alt ve üst sınır değerleri hastanede malzeme siparişinde görevli uzman kişiden elde edilmiştir. (4.18.) ve (4.19.)denklemler ise tamsayı kısıtı denklemleridir ve modelin tamsayılı matematiksel model olmasına sebep olmaktadır.

Yukarıda da ifade edildiği gibi kurulan model tamsayılı nonlinear programlama modelidir. Bu sınıf modellerin çözümü oldukça zordur. Bu nedenle çözüm için LINGO 8.0 paket programının deneme versiyonu kullanılmıştır.

Aşağıdaki veriler kullanılarak kurulan matematiksel model için sayısal bir örnek sunulmuştur.

$c_{ph} : 15$ (pb/saat)	$t_{ph} : 100$ (saat)
$c_{dr} : 15$ (pb/saat)	$t_{dr} : 20$ (saat)
$c_{ex} : 10$ (pb/saat)	$t_{ex} : 40$ (saat)
$c_n : 12$ (pb/saat)	$t_n : 20$ (saat)
$c_s : 5$ (pb/saat)	$t_s : 112$ (saat)
$C_{oth} : 1000$ pb	$h : 4$ pb

Sipariş maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$C_o = c_{ph}t_{ph} + c_d t_{dr} + c_{ex}t_{ex} + c_n t_n + c_s t_s + C_{oth}$$

$$C_o = 15 \times 100 + 15 \times 20 + 10 \times 40 + 12 \times 20 + 5 \times 112 + 1000$$

$$C_o = 4000 \text{ pb}$$

Kurulan matematiksel modelin LINGO formatında yazımı aşağıda görüldüğü gibidir. Yukarıda da görüldüğü gibi yaklaşık sipariş maliyeti 4000 pb bulunmuştur. Elde bulundurma maliyeti ise satın alma maliyetinin %30'u olarak kabul edilmiş ve 4pb olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar ışığında amaç fonksiyon:

$$\min C = 4\bar{I} + 4000N_o ;$$

Kısıtlar:

$$r = 129.84921 + 13.8068T_s + 13.92767T_D;$$

$$\bar{I} = 128.15940 + 0.069578 r + 0.49882Q ;$$

$$N_o = 7.51559 - 8.92167E-004 r - 3.52899E-003Q - 3.47210E-008 r^2 \\ + 5.59100E-007Q^2 + 6.07381E-007 r Q + 5.43121E-011 r^3 \\ - 2.91225E-011Q^3 - 8.50949E-011 r^2Q - 4.14152E-011 r Q^2;$$

$$N_o Q \geq 4600 ;$$

$$Q \geq r$$

$$@BND(20, T_s, 150) ;$$

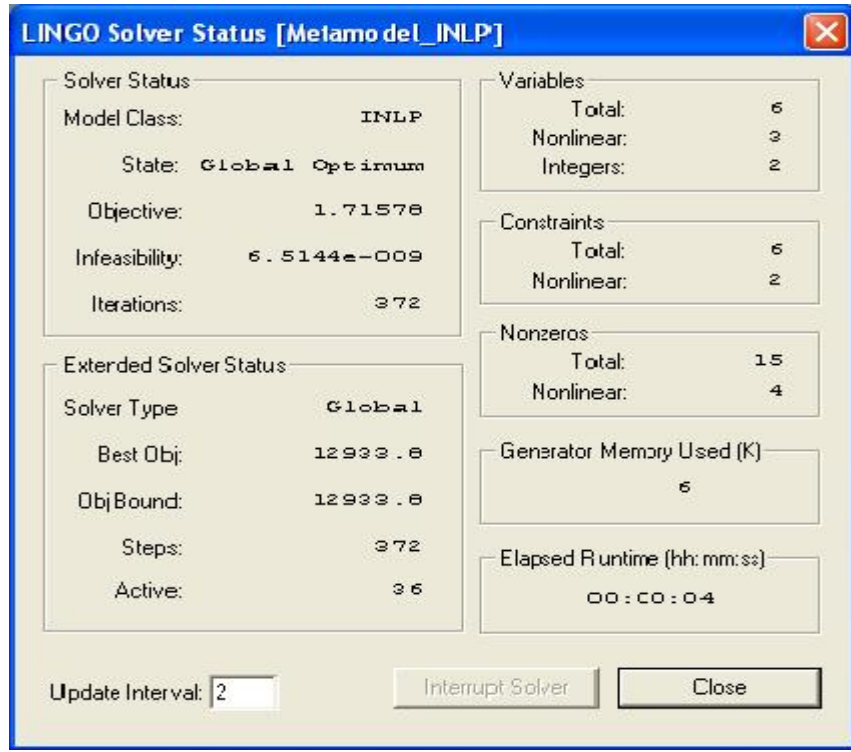
$$@BND(1, T_D, 60) ;$$

$$@GIN(r);$$

$$@GIN(Q);$$

END

Matematiksel modelin LINGO çözümü şekil 4.11’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.11. Matematiksel Modelin LINGO Çözümü

LINGO’da hatası olmayan model için çözüm hakkında genel bilgilerin yer aldığı *solver status* penceresi türetilir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi *solver status* penceresi yedi bölümden oluşur.

Solver Status bölümünde model sınıfının INLP (TDOP-tamsayılı doğrusal olmayan programlama) modeli olduğu görülmektedir. Çözüm global optimumdur.

Variables bölümünde modelde yer alan tamsayılı, doğrusal olmayan ve toplam değişken sayıları yer alır. Şekil 4.11’de de görüldüğü gibi kurulan modelde 3 tane doğrusal olmayan, 2 tane tamsayılı olmak üzere toplam 6 değişken bulunmaktadır.

Constraints bölümünde 2 tane doğrusal olmayan kısıt olmak üzere toplam 6 tane kısıt olduğu görülmektedir.

Extended Solver Status bölümünde çözüm tipi, çözümün mevcut durumu, amaç fonksiyonun mevcut değeri, çözümü bulmak için gerçekleştirilen adım sayısı ve çözüm iterasyonlarının sayısını gösterilmektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi

çözümü bulmak için kullanılan çözüm tipi global, amaç fonksiyonun değeri 12933.8, çözümü bulmak için 372 adım yapılmış ve bunların 36 tanesi aktif olan adımlardır.

Nonzeros bölümü sıfırdan farklı toplam değişken sayısını ve nonlinear değişken sayısını göstermektedir.

Genetator memory used kullanılan hafızayı ve *elapsed runtime* çözüm süresini göstermektedir.

Matematiksel modelin çözüm raporu çizelge 4.23’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.23. Matematiksel modelin çözüm raporu

İterasyon sayısı		372
Amaç fonksiyonun değeri		12933.83
Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
N_o	1.713865	0.000000
$\bar{I}$	1519.593	0.000000
r	756.0000	0.8182621
T_s	20.00000	0.000000
T_D	25.13089	0.000000
Q	2684.000	-1.663323
Satır	Artık ya da Aylak	Dual fiyat
1	12933.83	-1
2	0	0
3	0	-4
4	0	-4000
5	0.1363874E-01	0
6	1928.000	0

LINGO, çözüm raporunda sonuçları 4 grupta sınıflandırarak listeler. Values, reduced cost, slack or surplus ve dual price. Value, asıl modeldeki değişkenleri ifade etmektedir. Reduced cost, ikil (dual) modelin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenlerdir. Slack or surplus, asıl modelin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenlerdir. Dual price, ikil modeldeki ikil değişkenlerdir.

Çözüm raporuna göre, model 372 ardıştırmada çözülmüş ve amaç fonksiyonun değeri 12933.8 para birimi olarak hesaplanmıştır. Modelin en iyi çözümünde yıllık ortalama sipariş sayısı değeri (N_o) 1.713865, ortalama elde

bulundurulanan miktar ($\bar{I}$) 1519.593 adet, tekrar sipariş verme noktası (r) 756, sipariş miktarı (Q) 2684 adet, siparişı vermek için gerekli hazırlık süresi (T_S) 20 gün ve siparişin teslim süresi (T_S) 25.13089 gün olarak bulunmuştur.

Rapordaki reduced cost (indirgenmiş maliyet) sütunundan, ikil modele eklenen aylak ve artık değişkenlerin, ikil modelin en iyi çözümünde aldıkları değerler okunmaktadır. Asıl modelde 6 değişken olduğuna göre ikil model 6 kısıtlı olacak ve dolayısıyla ikil modelde 6 tane aylak/artık değişken olacaktır. İndirgenmiş maliyet terimi, en iyi çözümde temelde yer almadığı halde bir değişkenin mutlaka temele girmesi istenirse, değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değerinden ne kadar zarar edileceğini gösterir. Örneğin r değişkeni en iyi çözümde temelde yer almadığı halde bu değişken zorla temele alınırsa amaç fonksiyonun değerini 0.8182621 değerinin katı kadar arttıracaktır. Q değişkeni temele zorla alınırsa amaç fonksiyonun değerini 1.663323 değerinin katı kadar azaltacaktır. Rapora göre indirgenmiş maliyet değerinin sıfıra eşit olması ikil modelin ilgili kısıtının eşitlik halinde yani sıkı olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

Slack or Surplus terimi, asıl modelde kısıtlara eklenen aylak veya artık değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterir. Dikkat edilirse modelde 2, 3 ve 4 numaralı denklemler eşitlik halindeki kısıt denklemleridir. Eşitlik halindeki kısıt denklemlere aylak/artık değişken eklenmez, yapay değişken eklenir. Modelin en iyi çözümü bulunduğuna göre yapay değişkenin temelde yer almaması gerekir. Çözüm raporunda da görüldüğü gibi en iyi çözümde bu kısıtların yapay değişkenleri sıfır değerini almıştır.

Dual Prices terimi, ikil (dual değişkenlerin) en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterir. Asıl model 5 kısıtlı olduğu için ikil modelde 5 değişken yer alacaktır. İkili değişkenler, modelin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik herhangi bir artışın ya da azalışın amaç fonksiyonu değerini nasıl etkileyeceğini göstermektedir. Buna göre; 2, 5 ve 6 nolu denklemlere karşı gelen ikil değişken değerleri sıfır olduğundan, bu denklemlerin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik bir artışın/azalışın amaç fonksiyon üzerinde etkisinin olmayacağı söylenebilir. 3 nolu denklemin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik bir azalışın amaç fonksiyonu değerini 4 birim azaltacağı, 1 birimlik bir artışın amaç fonksiyonu değerini 4 birim arttıracığı söylenebilir. 4 nolu denklemin

sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik bir azalışın amaç fonksiyonu değerini 4000 birim azaltacağı, 1 birimlik bir artışın amaç fonksiyonu değerini 4000 birim arttıracığı söylenebilir.

Elde edilen meta-modellerin geçerliliği için MBH istatistiği kullanılmıştır. Çalışmada TDOP ile elde edilen N_o ve $\bar{I}$ değerleri için MBH değerleri hesaplanmıştır. Bunun için TDOP ile elde edilen N_o ve $\bar{I}$ değerleri simülasyon modelinde yerine konmuş ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.24’de görüldüğü gibi her iki değişken için de hesaplanan MBH değerleri 0.03 değerinden oldukça küçüktür. Bu, kurduğumuz TDOP modelinin sistemi doğru temsil ettiğini ve modelin geçerli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.24. N_o , $\bar{I}$ ve C için MBH değerleri

Çıktı Değişkeni	TDOP sonuçları	Simülasyon sonuçları	MBH
$\bar{I}$	1519.593	1515.177	0.0029
N_o	1.713	1.736	0.0133
C	12933.83	13007.37	0.0056

4.10. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, en iyi çözümü bulunan bir doğrusal karar modelinde, modeldeki parametrelerin çözümü nasıl etkilediklerine dair yapılan analizdir.

Çalışmada kurulan model non-lineer modeldir. Ancak, modeldeki amaç fonksiyonu veya kısıtlardaki değişkenlerin katsayılarında yapılan değişikliklerin amaç fonksiyonunda veya karar değişkenlerinde oluşabilecek değişiklikleri gözlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Böylece, yöneticiye değiştirilebilir parametrelerle

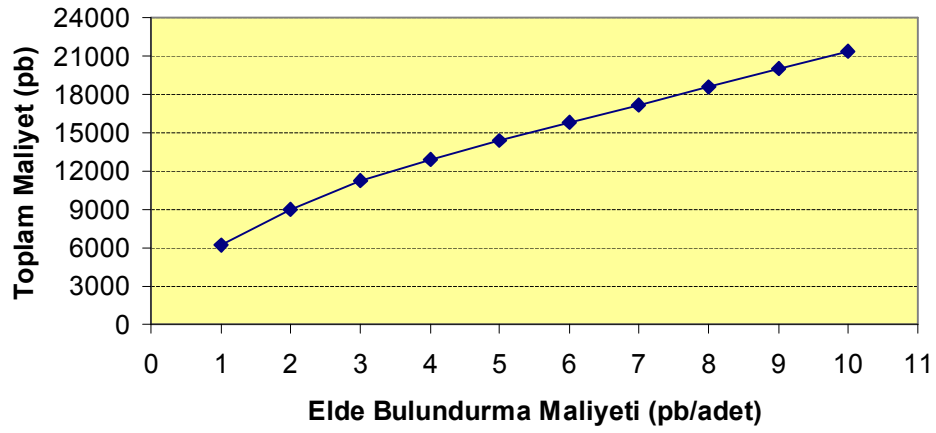
oyunarak amaç fonksiyonunda ya da herhangi bir kısıttaki değişkende olası iyileştirmeler hakkında bilgi verme imkânı sağlanmıştır.

Çalışmada;

- i) Amaç fonksiyonunda yer alan elde bulundurma maliyeti (C_H) değerinin değişimi ile toplam maliyet (C), ortalama sipariş sayısı (N_O), tekrar sipariş verme noktası (r), optimum sipariş miktarı (Q), ortalama elde bulundurulan miktarı ($\bar{I}$), hazırlık süresi (T_S) ve teslim süresi (T_D) değerlerinde oluşabilecek etkinin görülebilmesi,
- ii) Amaç fonksiyonunda yer alan sipariş maliyeti (C_O) değerinin değişimi ile toplam maliyet (C), ortalama sipariş sayısı (N_O), tekrar sipariş verme noktası (r), optimum sipariş miktarı (Q), ortalama elde bulundurulan miktarı ($\bar{I}$), hazırlık süresi (T_S) ve teslim süresi (T_D) değerlerinde oluşabilecek etkinin görülebilmesi,
- iii) Maksimum talep kısıtındaki talep (D_{max}) değerinin değişimi ile toplam maliyet (C), ortalama sipariş sayısı (N_O), tekrar sipariş verme noktası (r), optimum sipariş miktarı (Q), ortalama elde bulundurulan miktarı ($\bar{I}$), hazırlık süresi (T_S) ve teslim süresi (T_D) değerlerinde oluşabilecek etkinin görülebilmesi,
- iv) Hazırlık ve teslim süreleri kısıtlarındaki değerlerin değişimi ile toplam maliyette oluşabilecek etkinin görülmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır.

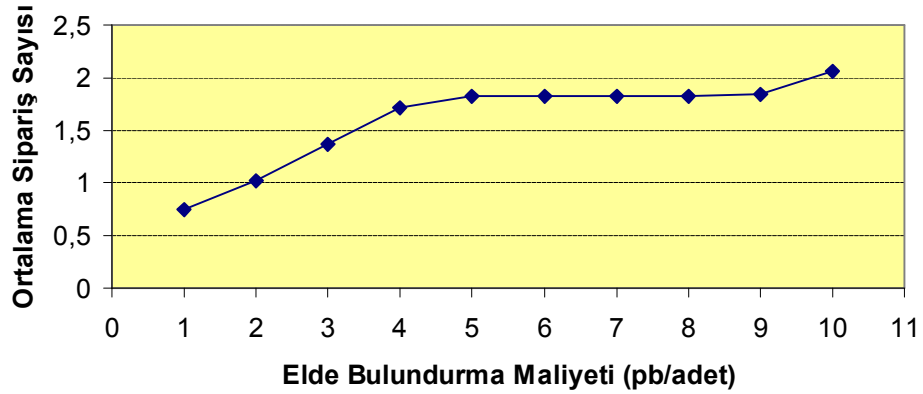
Çizelge 4.25. Elde bulundurma maliyetinin değişimi ile oluşan farklılıklar

C_H (pb/adet)	C (pb)	N_O	r (adet)	Q (adet)	$\bar{I}$ (adet)	T_S (gün)	T_D (gün)
10	21388,63	2,063	420	2318	1313,647	20	1,00625
9	20028,43	1,84	420	2506	1407,425	20	1,00625
8	18615,2	1,827	420	2518	1413,411	20	1,00625
7	17201,79	1,827	420	2518	1413,411	20	1,00625
6	15788,37	1,827	420	2518	1413,411	20	1,00625
5	14374,96	1,827	420	2518	1413,411	20	1,00625
4	12933,83	1,714	756	2684	1519,593	20	25,13089
3	11263,56	1,365	1801	3369	1933,994	120	1
2	9017,33	1,02	1306	4511	2469,205	84	1
1	6228,026	0,745	570	6185	3253,021	20	11,77618



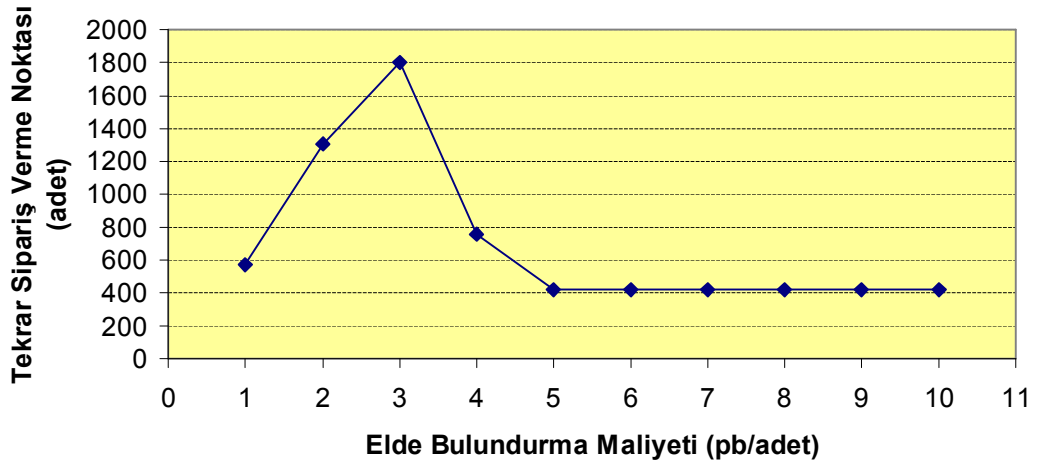
Şekil 4.12. C_H değerine bağlı olarak C değerindeki değişkenlik

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti arttıkça toplam maliyet değerinde de artış görülmektedir.



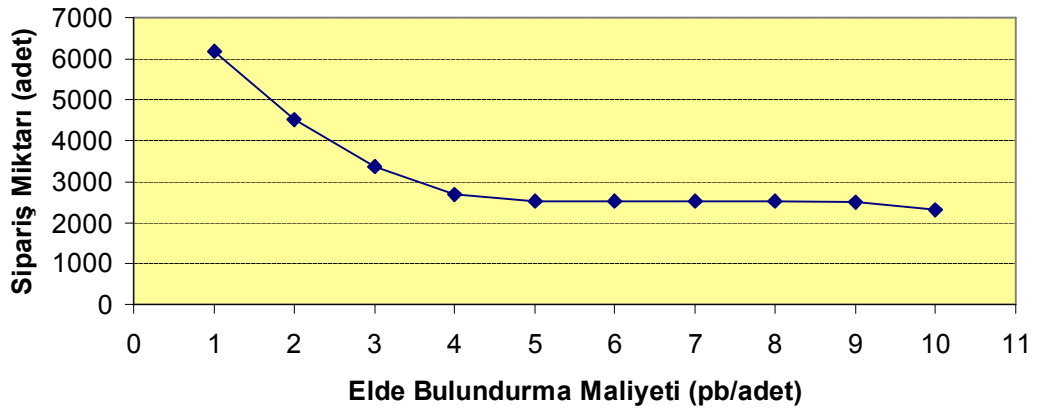
Şekil 4.13. C_H değerine bağlı olarak N_O değerindeki değişkenlik

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 1pb’den 4pb’ine kadar artış gösterdiğinde ortalama sipariş sayısı artış göstermekte, elde bulundurma maliyeti 5pb’den 9pb’e kadar arttırıldığında ortalama sipariş sayısı durağanlaşmakta ve 10pb’den sonra ortalama sipariş sayısı tekrar artış göstermektedir.



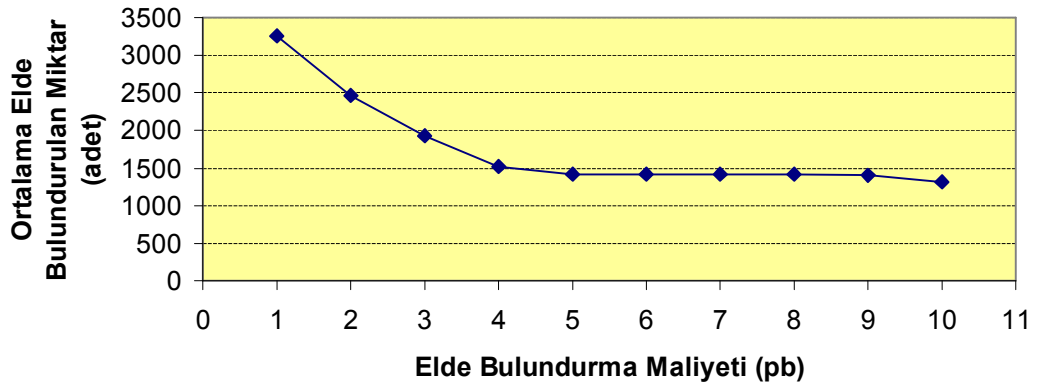
Şekil 4.14. C_H değerine bağlı olarak r değerindeki değişkenlik

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 5pb'inden sonra arttırıldığında tekrar sipariş verme noktası üzerinde bir etkisi olamamakta yani durağanlaşmaktadır.



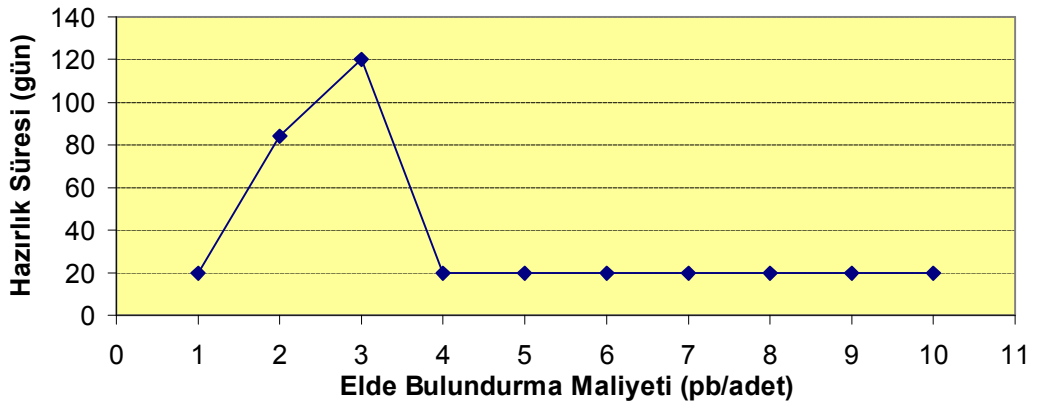
Şekil 4.15. C_H değerine bağlı olarak Q değerindeki değişkenlik

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 1pb'den 4pb'ine kadar artış gösterdiğinde sipariş miktarı azalma göstermekte, elde bulundurma maliyeti 5pb'den 8pb'e kadar arttırıldığında sipariş miktarı durağanlaşmakta ve daha sonra tekrar azalma göstermektedir.



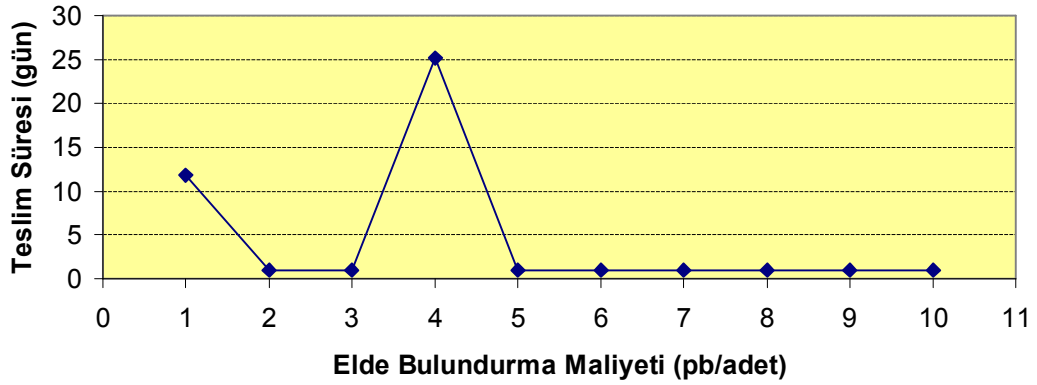
Şekil 4.16. C_H değerine bağlı olarak $\bar{I}$ değerindeki değişkenlik

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 1pb'den 4pb'ine kadar artış gösterdiğinde ortalama elde bulundurulan miktar azalma göstermekte, elde bulundurma maliyeti 5pb'den 8pb'e kadar arttırıldığında ortalama elde bulundurulan miktar durağanlaşmakta ve daha sonra tekrar azalma göstermektedir.



Şekil 4.17. C_H değerine bağlı olarak T_S değerindeki değişkenlik

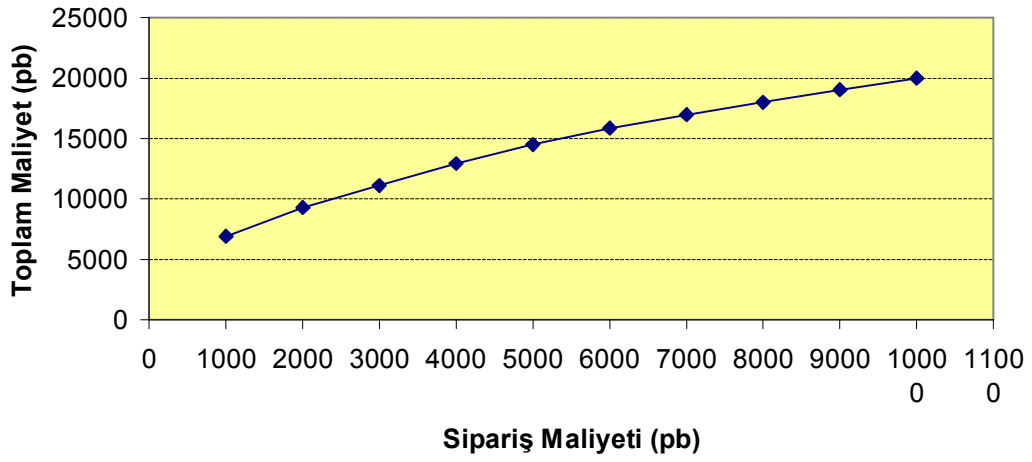
Şekil 4.17'de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 1pb'den 3pb'ine kadar artış gösterdiğinde hazırlık süresi artış göstermekte, elde bulundurma maliyeti 4pb'den sonra arttırıldığında hazırlık süresinde bir değişme olmamakta yani durağanlaşmaktadır.

Şekil 4.18. C_H değerine bağlı olarak T_D değerindeki değişkenlik

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi elde bulundurma maliyeti 5pb’inden sonra arttırıldığında teslim süresi üzerinde bir etkisi olamamakta yani durağanlaşmaktadır.

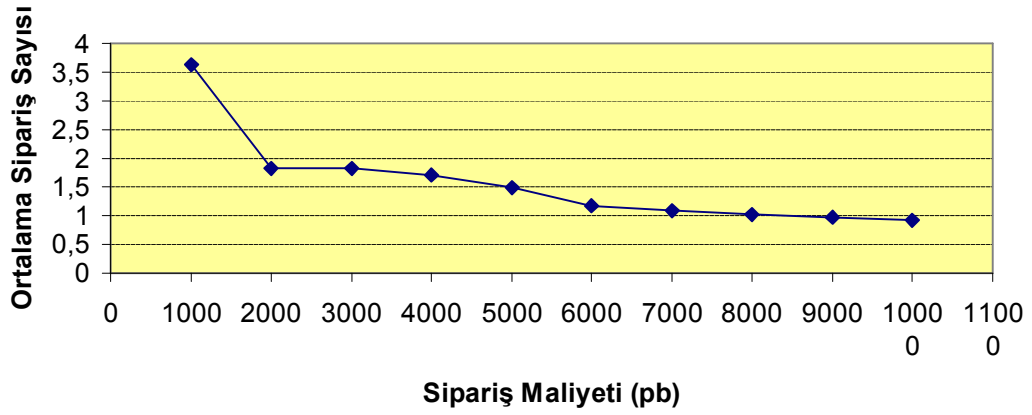
Çizelge 4.26. Sipariş maliyetinin değişimi ile oluşan farklılıklar

C_o (pb)	C (pb)	N_o	r (adet)	Q (adet)	$\bar{I}$ (adet)	T_s (gün)	T_D (gün)
10000	19974,35	0,9246304	1038	4975	2682,011	20	45,37836
9000	19029,01	0,9712949	1168	4736	2571,838	20	54,7123
8000	18034,66	1,01973	1306	4511	2469,205	84,17759	1
7000	16983,54	1,084407	1495	4242	2348,173	97,86649	1
6000	15860,15	1,171677	1739	3926	2207,523	115,5389	1
5000	14544,14	1,484351	1532	3099	1780,596	100,5463	1
4000	12933,83	1,714	756	2684	1519,593	20	25,13089
3000	11134,58	1,826977	420	2518	1413,411	20	1,00625
2000	9307,598	1,826977	420	2518	1413,411	20	1,00625
1000	6927,067	3,639689	908	1264	821,8447	55,35121	1



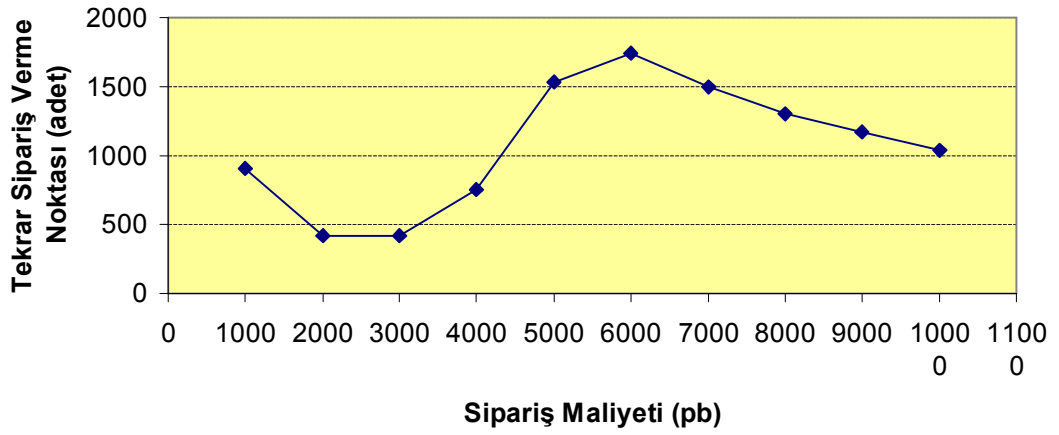
Şekil 4.19. C_o değerine bağlı olarak C değerindeki değişkenlik

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi sipariş maliyeti arttıkça toplam maliyet değerinde de artış görülmektedir.



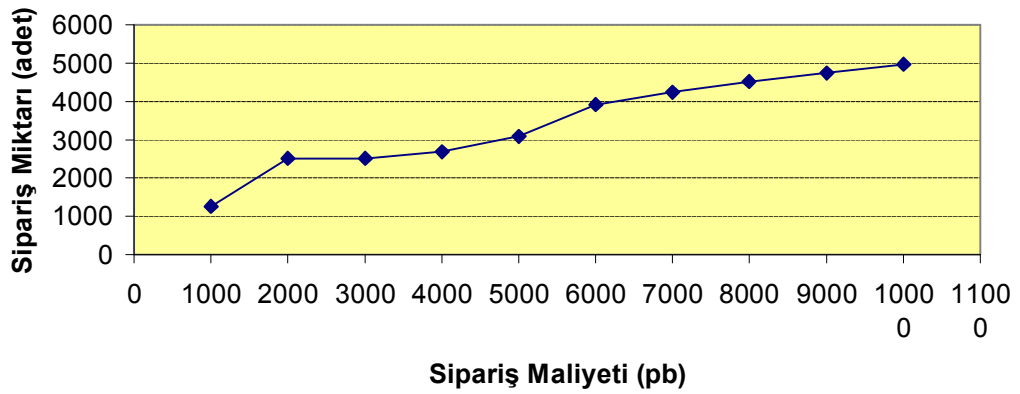
Şekil 4.20. C_o değerine bağlı olarak N_o değerindeki değişkenlik

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi sipariş maliyeti arttırıldıkça ortalama sipariş sayısında azalma görülmektedir. Sadece sipariş maliyeti 2000pb ve 3000pb olduğunda, ortalama sipariş sayısı değerinde bir durağanlık söz konusu olmuştur.



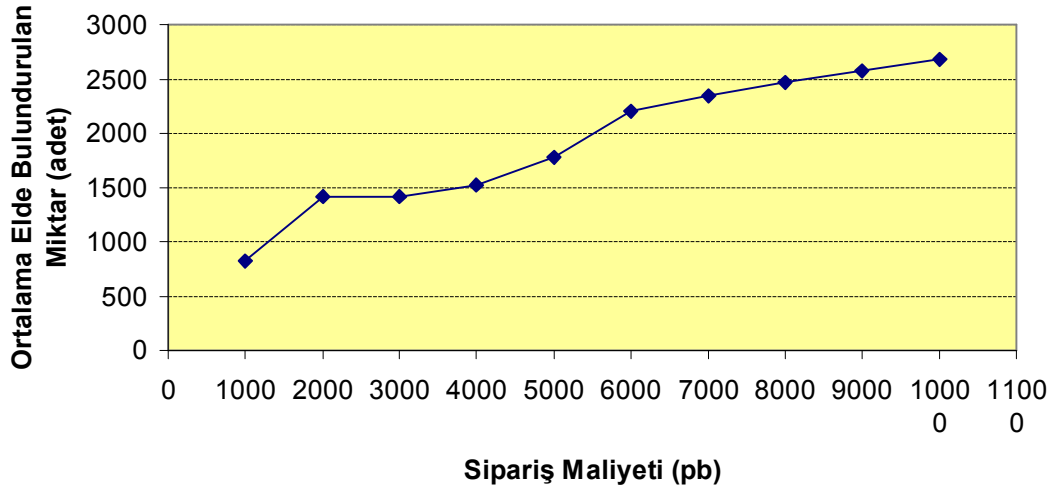
Şekil 4.21. C_o değerine bağlı olarak r değerindeki değişkenlik

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi sipariş maliyeti arttıkça tekrar sipariş verme noktası değeri önce azalmakta, sipariş maliyeti 6000pb olduğunda tekrar sipariş verme noktası maksimum değere ulaşmakta ve sonra tekrar azalmaya başlamaktadır. Sadece sipariş maliyeti değeri 2000pb ve 3000pb olduğunda tekrar sipariş verme noktası değerinde bir durağanlık söz konusu olmuştur.



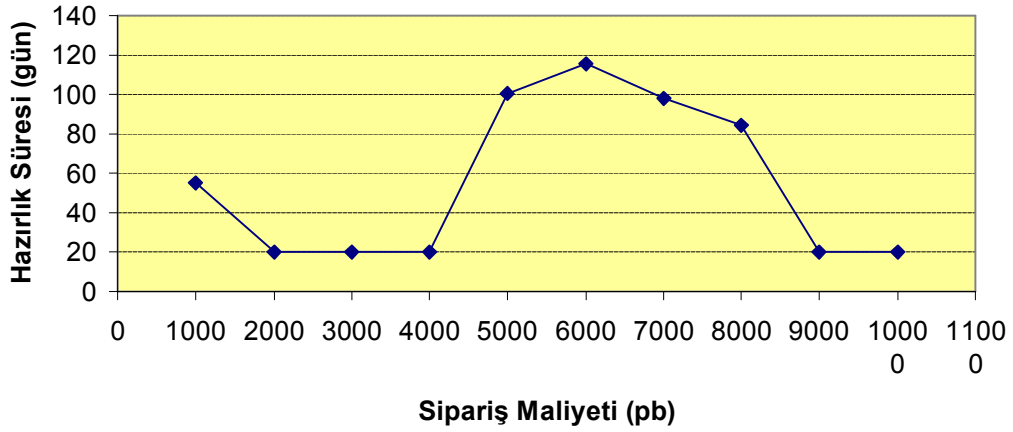
Şekil 4.22. C_o değerine bağlı olarak Q değerindeki değişkenlik

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi sipariş maliyeti arttıkça sipariş miktarı değerinde de artış görülmektedir. Sadece sipariş maliyeti değeri 2000pb ve 3000pb olduğunda sipariş miktarı değerinde bir durağanlık söz konusu olmuştur.



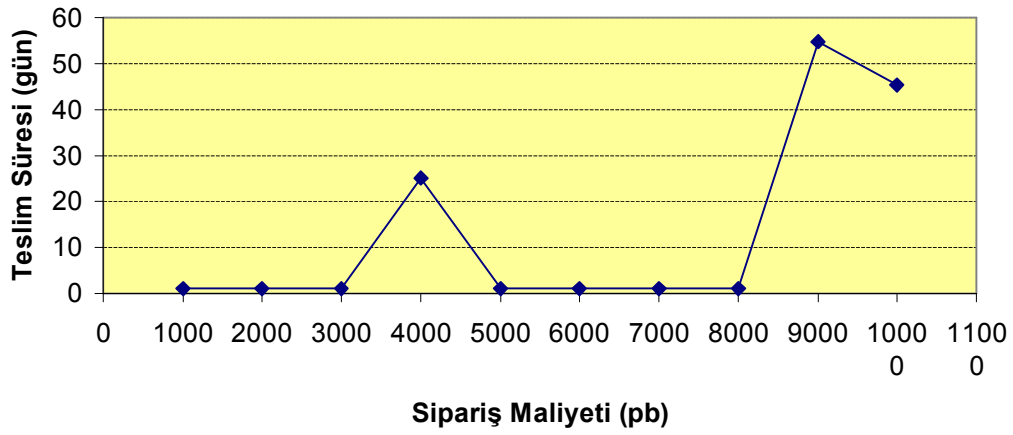
Şekil 4.23. C_O değerine bağlı olarak $\bar{T}$ değerindeki değişkenlik

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi sipariş maliyeti arttıkça ortalama elde bulundurulacak miktar değerinde de artış görülmektedir. Sadece sipariş maliyeti değeri 2000pb ve 3000pb olduğunda ortalama elde bulundurulacak miktar değerinde bir durağanlık söz konusu olmuştur.



Şekil 4.24. C_O değerine bağlı olarak T_S değerindeki değişkenlik

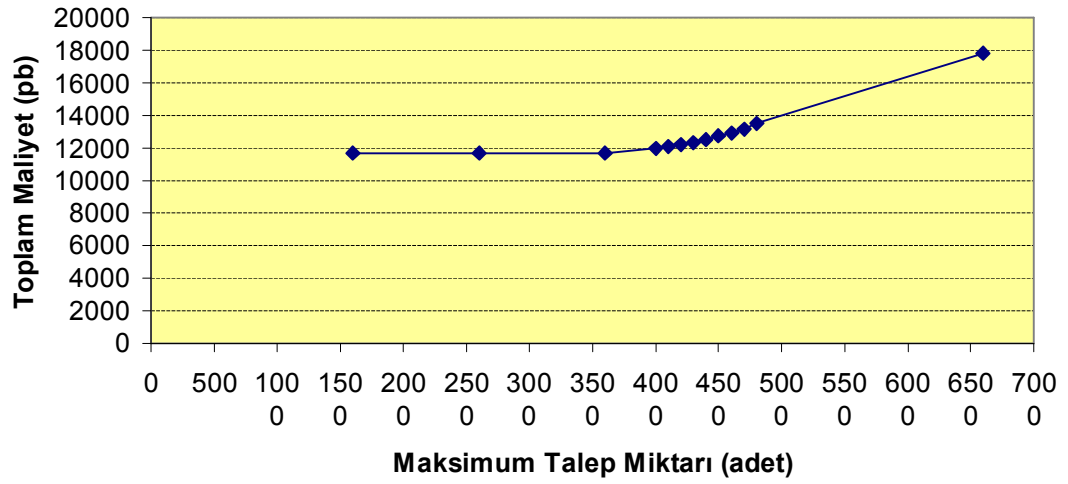
Şekil 4.24'de görüldüğü sipariş maliyeti değeri 2000pb-4000pb aralığında ve 9000pb-10000pb aralığında hazırlık süresi değerinde bir durağanlık olduğu görülmektedir.

Şekil 4.25. C_O değerine bağlı olarak T_D değerindeki değişkenlik

Şekil 4.25'de görüldüğü sipariş maliyeti değeri 1000pb-3000pb aralığında iken teslim süresi değeri bir durağanlık göstermekte, sipariş maliyeti 4000pb olduğunda teslim süresi değeri artmakta ve 5000pb-8000pb aralığında teslim süresi değeri tekrar durağanlık göstermektedir. 9000pb değerinde ise teslim süresi tekrar artış göstermekte ve daha sonra tekrar azalmaya başlamaktadır.

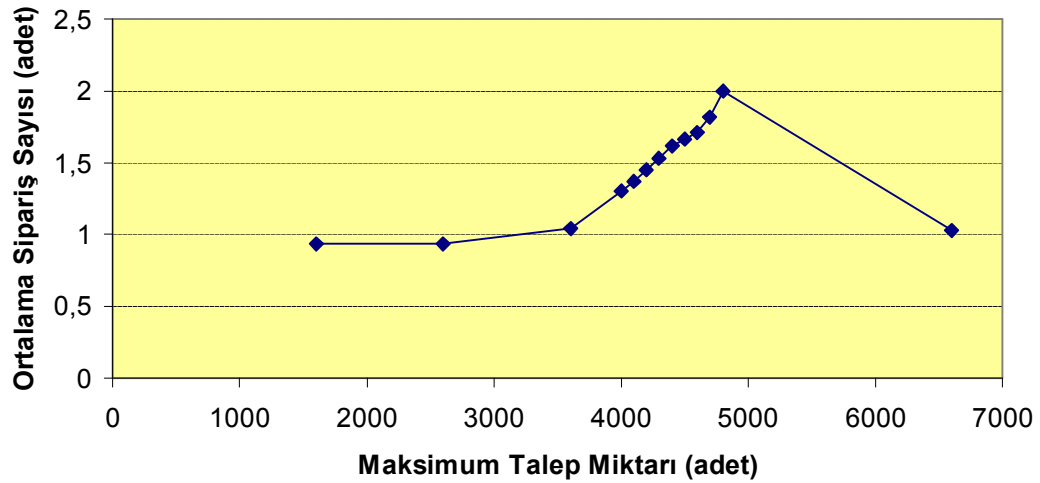
Çizelge 4.27. Maksimum talep değerinin değişimi ile oluşan farklılıklar

D_{max} (adet)	C (pb)	N_o	r (adet)	Q (adet)	$\bar{I}$ (adet)	T_s (gün)	T_D (gün)
1600	11652,38	0,93552	420	3649	1977,58	20	1,006255
2600	11652,38	0,93552	420	3649	1977,58	20	1,006255
3600	11688,27	1,043256	420	3451	1878,81	20	1,006255
4000	11969,38	1,301591	420	3074	1690,76	20	1,006255
4100	12079,67	1,373557	420	2985	1646,36	20	1,006255
4200	12209,28	1,450286	421	2896	1602,03	20	1,006255
4300	12358,72	1,53247	422	2806	1557,21	20	1,149854
4400	12530,39	1,619435	427	2717	1513,16	20	1,508852
4500	12723,06	1,666052	564	2701	1514,71	20	11,34539
4600	12933,83	1,713865	756	2684	1519,59	20	25,13089
4700	13185,67	1,819621	865	2583	1476,8	20	32,95704
4800	13522,19	2,001669	784	2398	1378,88	20	27,14128
6600	17815,54	1,027294	1344	6425	3426,59	86,9299	1



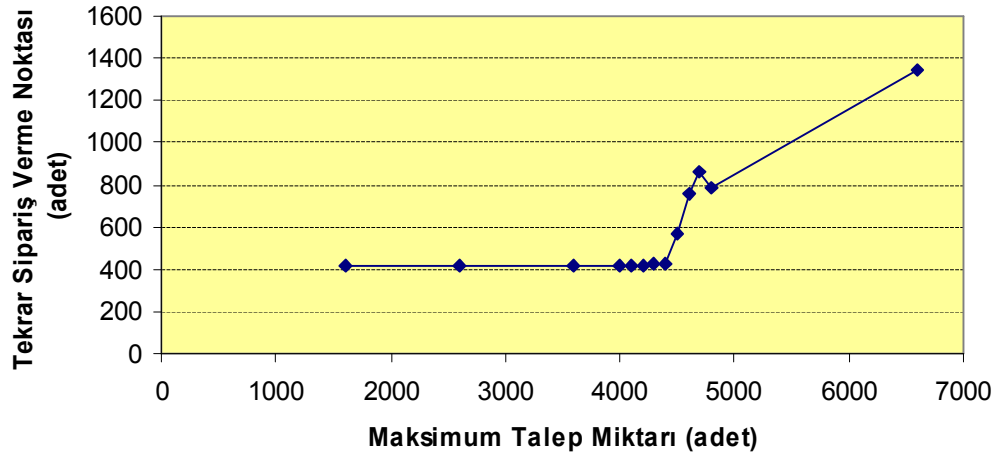
Şekil 4.26. D_{max} değerine bağlı olarak C değerindeki değişkenlik

Şekil 4.26’da görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça toplam maliyet değerinde de artış görülmektedir.



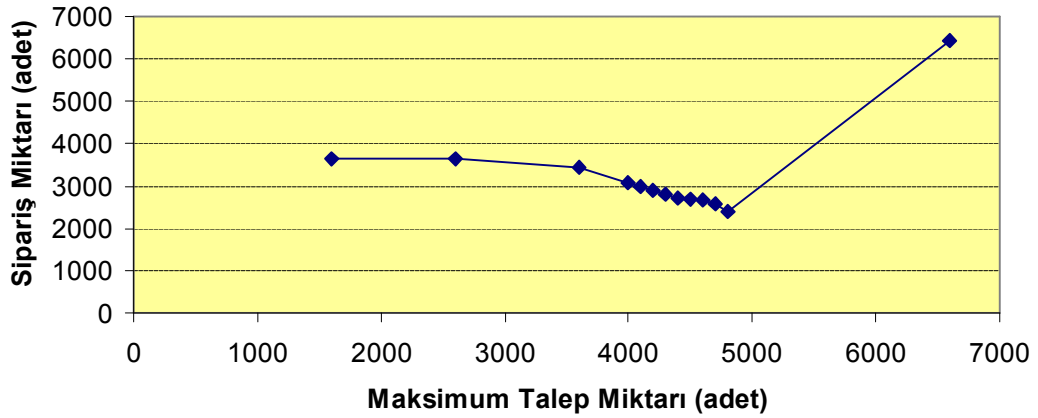
Şekil 4.27. D_{max} değerine bağlı olarak N_o değerindeki değişkenlik

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça ortalama sipariş sayısı değerinde de artış görülmektedir. Maksimum talep miktarı değeri 4800 olduğunda, ortalama sipariş sayısı maksimum değerine ulaşmakta fakat sonra tekrar azalma göstermektedir.



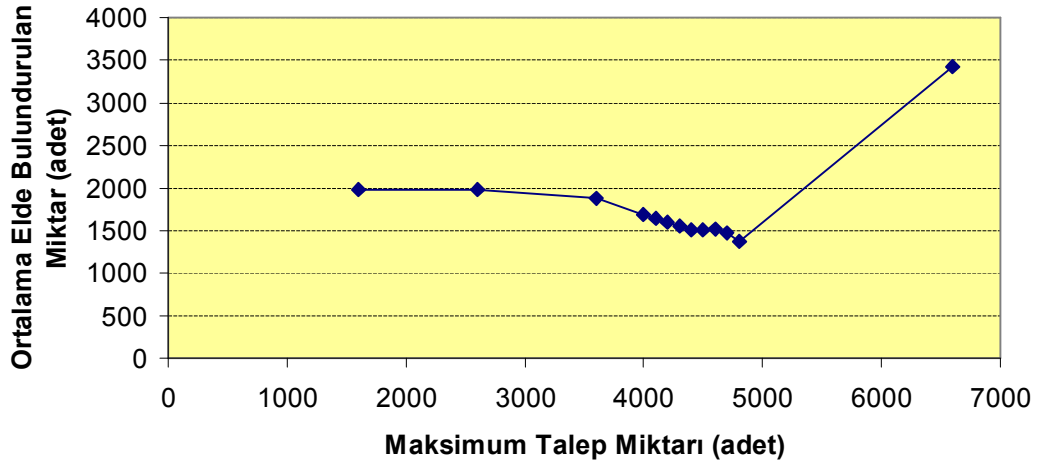
Şekil 4.28. D_{max} değerine bağlı olarak r değerindeki değişkenlik

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça tekrar sipariş verme noktası değerinde belli bir süre durağanlık görülmekte ve daha sonra da artış görülmektedir.



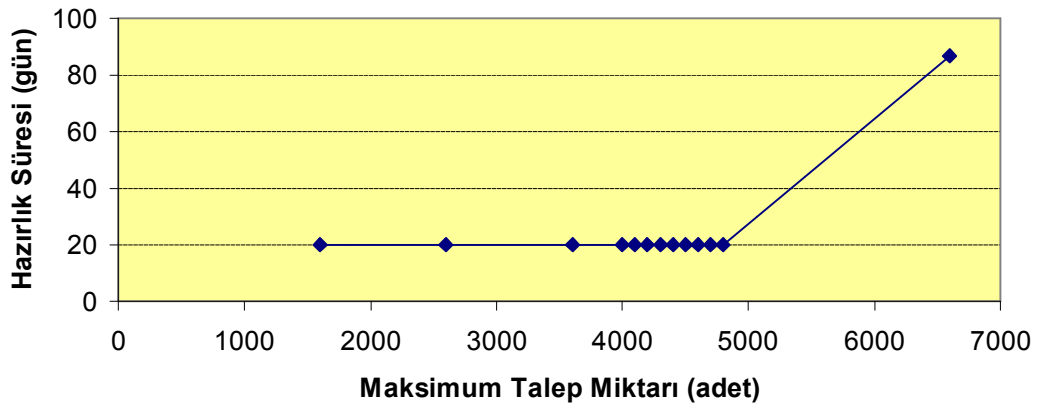
Şekil 4.29. D_{max} değerine bağlı olarak Q değerindeki değişkenlik

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça sipariş miktarı değerinde azalma görülmektedir. Fakat talep miktarında oluşacak ciddi bir artış durumunda sipariş miktarı değerinde bir artış olacağı görülmektedir.



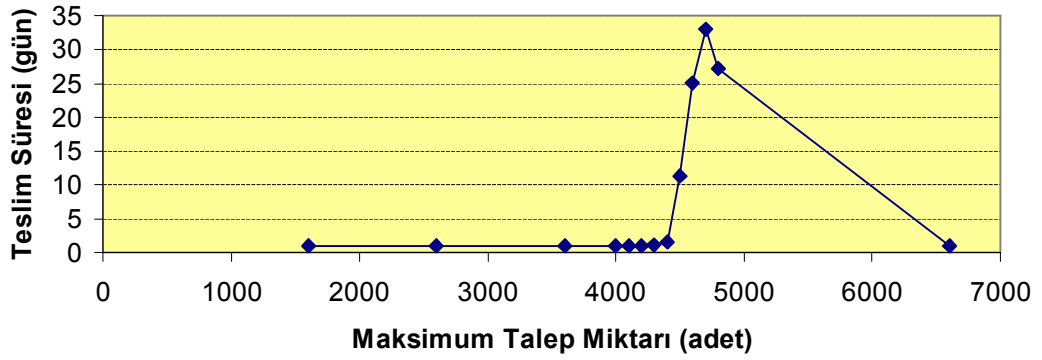
Şekil 4.30. D_{max} değerine bağlı olarak $\bar{T}$ değerindeki değişkenlik

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça ortalama elde bulundurulan miktar değerinde azalma görülmektedir. Fakat talep miktarında oluşacak ciddi bir artış durumunda ortalama elde bulundurulan miktar değerinde bir artış olacağı görülmektedir.



Şekil 4.31. D_{max} değerine bağlı olarak T_s değerindeki değişkenlik

Şekil 4.31'de görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça hazırlık süresi değerinde bir değişiklik söz konusu olmamaktadır. Ancak talep miktarında oluşacak ciddi bir artış durumunda hazırlık süresi değerinde bir artış olacağı görülmektedir.

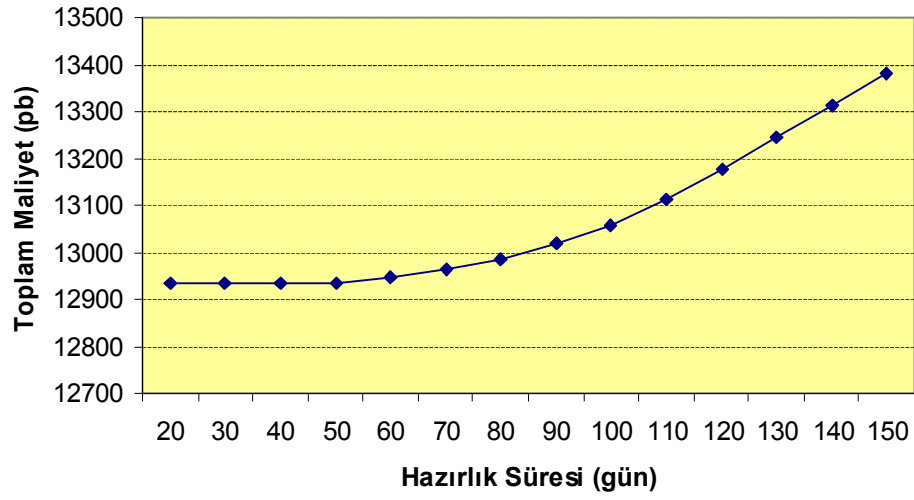


Şekil 4.32. D_{max} değerine bağlı olarak T_D değerindeki değişkenlik

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi maksimum talep miktarı arttıkça teslim süresi değerinde uzun bir süre değişiklik söz konusu olmamaktadır. Ancak talep miktarı 4400 değerinden sonra artış gösterdikçe, teslim süresi değerinde de bir artış olmaktadır. Fakat talep miktarında oluşacak ciddi bir artış durumunda teslim süresi değerinin tekrar azalacağı ve durağan durumdaki değeri alacağı görülmektedir.

Çizelge 4.28. Hazırlık süresinin değişimi ile toplam maliyette oluşan farklılıklar

T_s (gün)	C (pb)
20	12933,83
30	12933,83
40	12933,83
50	12935,83
60	12945,48
70	12962,76
80	12986,40
90	13017,94
100	13057,50
110	13111,07
120	13178,62
130	13244,28
140	13311,16
150	13382,68

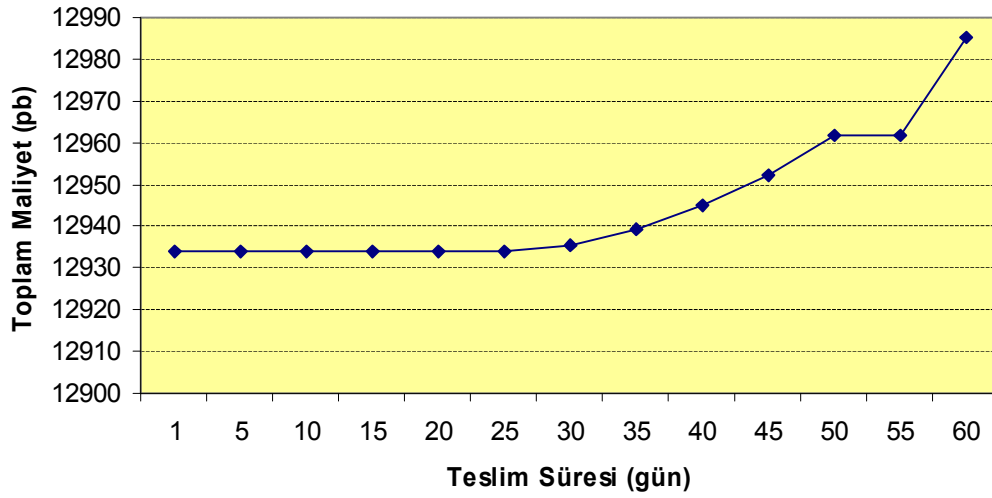


Şekil 4.33. T_s değerine bağlı olarak C değerindeki değişkenlik

Şekil 4.33’de görüldüğü gibi hazırlık süresi 20–50 gün arasında olduğunda toplam maliyet değerinde bir durağanlık görülmektedir. Ancak, 50. günden sonra hazırlık süresi arttıkça toplam maliyet değeri de artmaktadır.

Çizelge 4.29. Teslim süresinin değişimi ile toplam maliyette oluşan farklılıklar

T_D (gün)	C (pb)
1	12933,83
5	12933,83
10	12933,83
15	12933,83
20	12933,83
25	12933,83
30	12935,58
35	12939,40
40	12944,79
45	12952,26
50	12961,55
55	12961,55
60	12985,07



Şekil 4.34. T_D değerine bağlı olarak C değerindeki değişkenlik

Şekil 4.34’de görüldüğü gibi hazırlık süresi 1–30 gün arasında olduğunda toplam maliyet değerinde bir durağanlık görülmektedir. Ancak, 30. günden sonra hazırlık süresi arttıkça toplam maliyet değeri de artmaktadır.

4.11. T_S ve T_D Değişkenlerinin Dışardan Girilmesi Durumunda TDOP

Kurulan TDOP modeli esnektir. Eğer istenirse önceden belirlenen T_S ve T_D değerleri için gerekli r ve Q seviyelerini ve bunlara bağlı olarak da gerçekleşen minimum toplam maliyet değeri hesaplanabilir. Bu amaçla $T_S=30$ ve $T_D=20$ gün için aşağıdaki model kurulmuş ve çözümü elde edilmiştir.

$$\min C = C_H \bar{I} + C_O N_O ;$$

$$r = 129.84921 + 13.8068T_S + 13.92767T_D;$$

$$\bar{I} = 128.15940 + 0.069578r + 0.49882Q ;$$

$$N_O = 7.51559 - 8.92167E-004r - 3.52899E-003Q - 3.47210E-008 r^2 + 5.59100E-007 Q^2 + 6.07381E-007 r Q + 5.43121E-011 r^3 - 2.91225E-011 Q^3 - 8.50949E-011 r^2 Q - 4.14152E-011 r Q^2;$$

$$N_o Q \geq 4600 ;$$

$$Q \geq r$$

$$T_s = 30;$$

$$T_D = 20;$$

$$@GIN(r);$$

$$@GIN(Q);$$

END

Model 38 iterasyonda çözülmüş ve amaç fonksiyonu için global optimum değer 12936,32 olarak elde edilmiştir. N_o , $\bar{I}$, r , T_s , T_D ve Q değişkenleri için elde edilen değerler sırasıyla şu şekildedir: 1.693863; 1540.217; 823; 30; 20 ve 2716.

4.12. Simülasyon Optimizasyon

4.12.1. Meta-model Kısıtları İle Çalıştırılan Model (MKİÇM)

Meta-modelleme ile elde ettiğimiz denklemlerin geçerliliğini göstermek için OptQuest programı ilk aşamada kısıtlara elde edilen denklemler girilerek çalıştırılmıştır.

Öncelikle modeldeki kontrol değişkenleri, kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri ve kontrol değişkenleri için önerilen değerler belirlenir ve programa girilir. Modeldeki kontrol değişkenleri; r , Q , T_s ve T_D 'dir. Çizelge 4.30 kontrol değişkenlerinin değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.30. Meta-model kısıtları ile çalıştırılan model için kontrol değişkeni değerleri

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 3067$	$r = 756$
$1000 \leq Q \leq 7200$	$Q = 2684$
$20 \leq T_S \leq 150$	$T_S = 20$
$1 \leq T_D \leq 60$	$T_D = 25.13089$

Kontrol değişkenleri belirlendikten sonra simülasyon modelinden elde etmek istediğimiz ve amaç fonksiyonda kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenir. Belirlenen çıktı değişkenleri: yıllık ortalama sipariş sayısı, ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı, elde bulundurulan minimum malzeme miktarı. Kontrol değişkenleri ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra, modelde yer alacak kısıtlar yazılır (çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Meta-model kısıtları ile çalıştırılan modelde yer alan kısıtlar

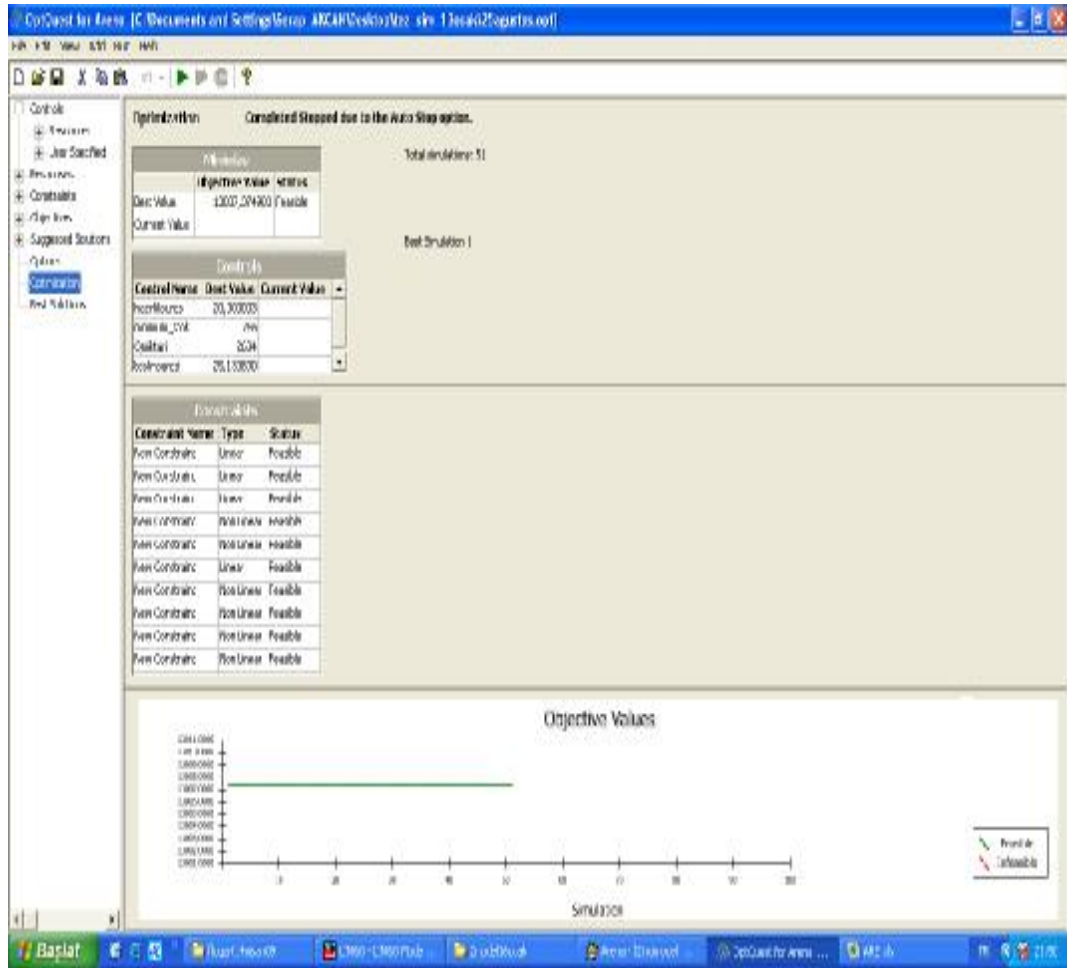
Tipi	Fonksiyonu
Lineer	$Q \geq r$
Lineer	$r > 0$
Lineer	$Q > 0$
Nonlineer	$N_o > 0$
Nonlineer	$\bar{I} \geq 0$
Lineer	$r = 129.84921 + 13.8068T_S + 13.92767T_D$
Nonlineer	$\min I \geq 0$
Nonlineer	$N_o Q \geq 4600$
Nonlineer	$1.0029 * \bar{I} = 128.15940 + 0.069578r + 0.49882Q$
Nonlineer	$N_o = 0.0133(7.51559 - 8.92167E-004r - 3.52899E-003Q - 3.47210E-008r^2 + 5.59100E-007Q^2 + 6.07381E-007rQ + 5.43121E-011r^3 - 2.91225E-011Q^3 - 8.50949E-011r^2Q - 4.14152E-011rQ^2)$

Birinci kısıtta optimum sipariş miktarının en az tekrar sipariş verme noktası kadar olması gerektiği gösterilmiştir. 2., 3., 4. ve 5. kısıtlar işaret kısıtlarıdır. 6. kısıt meta-modelle elde edilen tekrar sipariş verme noktası denklemdir. 7. kısıt elde bulundurulan minimum envanter miktarının en az sıfır olması gerektiğini ifade etmektedir. 8. kısıt bir yıl boyunca satın alınacak malzeme miktarının en az bir yıl boyunca oluşacak maksimum talebi karşılamaya yetecek kadar olması gerektiğini ifade etmektedir. YYBÜ'den elde ettiğimiz verilerde maksimum talep 4600 olduğu için kısıtta bu değer kullanılmıştır. 9. kısıt meta-modelle elde edilen ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı denklemi ve 10. kısıt meta-modelle elde edilen yıllık ortalama sipariş sayısı denklemdir. Her iki meta-model denklemi eşitlik kısıtının OptQuest'de sağlanabilmesi için çizelge 4.14'de gösterilen MBH katsayıları ile çarpılmıştır.

Kısıtlar belirlendikten sonra sıra amaç fonksiyonun yazılmasıdır. Amaç fonksiyon $\min C = 4\bar{I} + 4000N_o$ olarak programa girilmiştir.

Optimizasyon işleminin başlatılması için *Options* bölümüne simülasyon sayısı, simülasyonu durdurma şekli ve replikasyon sayısı girilmelidir. Çalışmada simülasyon sayısı 500 ve replikasyon sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği işaretlenerek durdurulmuştur.

Optimizasyon yapılırken çözüme önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği ile sonlandırıldığından her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 51 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=756$, $Q=2684$, $T_s=20$ ve $T_D=25,13089$ değerleri için $C=13007,37498$ bulunmuştur. Şekil 4.35'de görüldüğü gibi daha iyi çözüm bulunamadığından program burada sonlandırılmıştır.



Şekil 4.35. Meta-model Kısıtları ile Çalıştırılan Model İçin Çözüm Grafiği

4.12.2. Meta-model Kısıtları Olmadan Kurulan Model (MKOKM)

Rassal değişkenlere sahip problemlerin çözümünde problemi matematiksel olarak ifade etmek zordur. Kapalı formülü bulunmayan veya problemin çözümü çok zor ve çok uzun zaman alan bu tip problemlerin çözümü için simülasyon optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmada ele alınan problemde kesikli değerlere sahip olması gereken değişkenler olduğundan metasezgisel yöntemleri içeren OptQuest programı kullanılmıştır.

Problemin çözümü için öncelikle modeldeki kontrol değişkenleri, kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri ve kontrol değişkenleri için önerilen değerler

belirlenir ve programa girilir. Modeldeki kontrol değişkenleri; R , Q , T_S ve T_D 'dir. Çizelge 4.32'de kontrol değişkenleri için başlangıç değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.32. Meta-model kısıtları olmadan kurulan model için kontrol değişkeni başlangıç değerleri

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 3067$	$r = 1000$
$1000 \leq Q \leq 7200$	$Q = 3000$
$20 \leq T_S \leq 150$	$T_S = 50$
$1 \leq T_D \leq 60$	$T_D = 20$

Kontrol değişkenleri belirlendikten sonra simülasyon modelinden elde etmek istediğimiz ve amaç fonksiyonda kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenir. Belirlenen çıktı değişkenleri: yıllık ortalama sipariş sayısı, ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı, elde bulundurulan minimum malzeme miktarı. Kontrol değişkenleri ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra, modelde yer alacak kısıtlar yazılır (çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Meta-model kısıtları olmadan kurulan model için kısıtlar

Tipi	Fonksiyonu
Lineer	$Q \geq r$
Lineer	$r > 0$
Lineer	$Q > 0$
Nonlineer	$N_o > 0$
Nonlineer	$\bar{I} \geq 0$
Nonlineer	$\min I \geq 0$
Nonlineer	$N_o Q \geq 4600$

Kısıtlar belirlendikten sonra sıra amaç fonksiyonun yazılmasıdır. Amaç fonksiyon $\min C = 4\bar{I} + 4000N_o$ olarak programa girilmiştir.

Optimizasyon işleminin başlatılması için *Options* bölümüne simülasyon sayısı, simülasyonu durdurma şekli ve replikasyon sayısı girilmelidir. Çalışmada simülasyon sayısı 500 ve replikasyon sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği işaretlenerek durdurulmuştur.

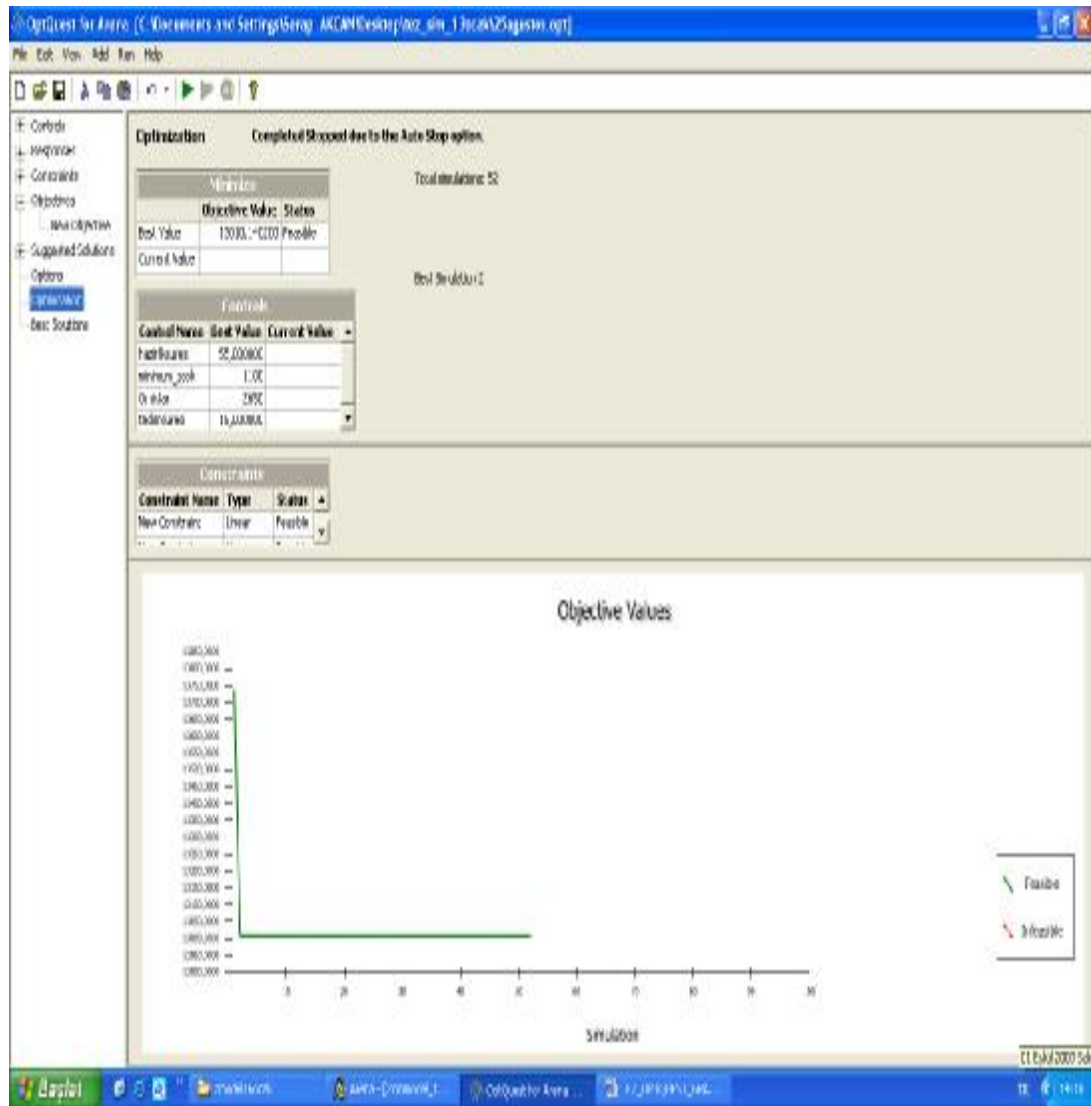
Optimizasyon yapılırken çözüme önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği ile sonlandırıldığından her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 52 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=1734$, $Q=4100$, $T_S=85$ ve $T_D=30,5$ değerleri için $C=13741,1$ bulunmuştur.

Daha sonra kontrol değişkenlerinin sınırları yukarıda elde edilen optimum çözüm değerlerine göre yeniden sınırlandırılır (çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Meta-model kısıtları olmadan kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 1800$	$r = 1734$
$1000 \leq Q \leq 4300$	$Q = 4100$
$20 \leq T_S \leq 90$	$T_S = 85$
$1 \leq T_D \leq 35$	$T_D = 30,5$

Çözüme yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 52 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=1100$, $Q=2650$, $T_S=55$ ve $T_D=18$ değerleri için $C=13010,14$ olarak elde edilmiştir. Şekil 4.36'da OptQuest'in çözüm grafiği görülmektedir.



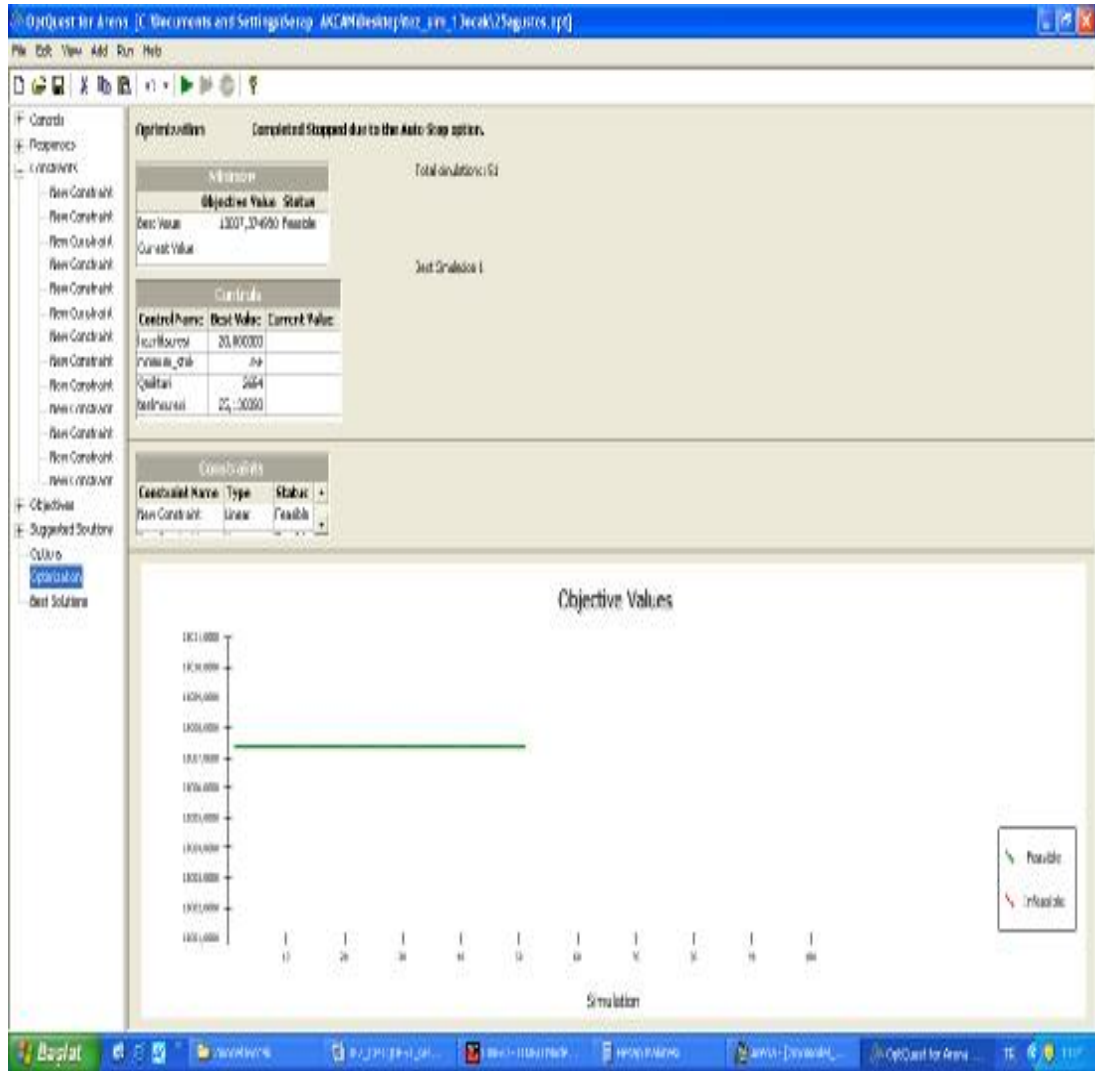
Şekil 4.36. Meta-Model Kısıtları Olmadan Kurulan Model İçin Çözüm Grafiği

Daha sonra kontrol değişkenlerinin sınırları yukarıda elde edilen optimum çözüm değerlerine göre yeniden sınırlandırılır (çizelge 4.35).

Çizelge 4.35. Meta-model kısıtları olmadan kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları²

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 756$	$r = 756$
$1000 \leq Q \leq 2684$	$Q = 2684$
$20 \leq T_S \leq 55$	$T_S = 20$
$1 \leq T_D \leq 26$	$T_D = 25.13089$

Çözüme yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 51 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r = 756$, $Q = 2684$, $T_S = 20$ ve $T_D = 25.13089$ değerleri için $C = 13007.37498$ olarak elde edilmiştir. Şekil 4.37’de OptQuest’in çözüm grafiği görülmektedir.



Şekil 4.37. Meta-Model Kısıtları Olmadan Kurulan Model İçin Final Çözüm Grafiği

4.12.3. Yatak Sayısı Optimizasyonu (YSO)

Çalışmada ele alınan modelde stok kesilmesine ve talebin bir sonraki sipariştten karşılanmasına izin verilmemektedir. Dolayısı ile çalışmada servis düzeyi kısıtı (SDK), kabul edilen hasta sayısının toplam hasta sayısına oranlanması ile hesaplanmıştır. Mevcut sistem için yatak sayıları (YS) ve servis düzeyi oranları (SDO) çizelge 4.36’da görülmektedir.

Çizelge 4.36. Mevcut sistem için yatak sayıları ve servis düzeyi oranları

	Yatak Sayısı	Servis Düzeyi Oranı
Düzye1	2	0.078
Düzye2	11	0.88
Düzye3	13	0.95

Her bir düzey için mevcut yatak sayıları ile servis düzeyini arttırmak mümkün olmamaktadır. Servis düzeyi oranını arttırabilmek için yatak sayısının optimize edilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen yaklaşım ile YSO aşağıda ifade edilmiştir. İlk aşamada Design Expert 6.0 paket programının deneme versiyonunun User Define menüsü ile 53 veri seti oluşturulmuştur. 53 veri seti ile simülasyon sonucunda elde edilen değerler ek-7’de gösterilmektedir.

İkinci aşamada metamodelleri elde etmek için regresyon analizi yapılmış ve metamodellerin doğruluğu R^2 ve düzeltilmiş- R^2 değerleri hesaplanarak gösterilmiştir.

Notasyonlar

X_i : her bir düzey için yatak sayısı ($i=1,2,3$)

O_i : her bir düzey için yatak doluluk oranı ($i=1,2,3$)

S_i : her bir düzey için servis düzeyi oranı ($i=1,2,3$)

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile O_1 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
O_1 = & 83.59831 - 0.76328 X_1 - 0.12380 X_2 + 0.95822 X_3 - 0.034722 X_1^2 \\
& + 6.88179E-003 X_2^2 - 0.036356 X_3^2 + 2.80889E-003 X_1 X_2 \\
& + 0.010182 X_1 X_3 - 6.68321E-003 X_2 X_3
\end{aligned} \quad (4.20.)$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9996 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9995 olarak bulunmuştur.

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile O_2 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
O_2 = & 84.59776 - 0.020186 X_1 - 1.06466 X_2 + 0.82356 X_3 + 3.32251E-003 X_1^2 \\
& - 0.093955 X_2^2 - 0.034398 X_3^2 + 0.012480 X_1 X_2 - 7.67196E-003 X_1 X_3 \\
& + 0.025800 X_2 X_3
\end{aligned} \quad (4.21.)$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9991 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9989 olarak bulunmuştur.

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile O_3 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
O_3 = & 100.07902 - 0.83508 X_1 - 0.76666 X_2 - 2.93305 X_3 + 0.031128 X_1^2 \\
& + 0.035682 X_2^2 + 5.55258E-003 X_3^2 - 9.37904E-003 X_1 X_2 \\
& - 0.016755 X_1 X_3 - 0.018354 X_2 X_3
\end{aligned} \quad (4.22.)$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9975 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9970 olarak bulunmuştur.

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile S_1 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
S_1 = & 5.69486 + 5.67900 X_1 + 0.067760 X_2 - 2.02452 X_3 + 0.064352 X_1^2 \\
& - 0.025849 X_2^2 + 0.15114 X_3^2 - 0.011806 X_1 X_2 - 0.075406 X_1 X_3 \\
& + 0.014579 X_2 X_3 - 5.74078E-003 X_1^3 + 1.25493E-003 X_2^3 \\
& - 3.56439E-003 X_3^3 + 5.37582E-004 X_1^2 X_2 + 3.11262E-003 X_1^2 X_3 \\
& + 2.72953E-005 X_1 X_2^2 + 9.49612E-005 X_1 X_3^2 - 4.55073E-004 X_2^2 X_3 \\
& + 1.06572E-004 X_2 X_3^2 - 1.71649E-004 X_1 X_2 X_3
\end{aligned} \quad (4.23.)$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9999 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9998 olarak bulunmuştur.

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile S_2 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
S_2 = & -5.87602 + 0.30555 X_1 + 15.26909 X_2 - 0.26737 X_3 - 0.033796 X_1^2 \\
& - 0.63605 X_2^2 + 0.017096 X_3^2 - 0.044334 X_1 X_2 + 0.032735 X_1 X_3 \\
& - 0.084594 X_2 X_3 + 7.56673E-004 X_1^3 + 5.91999E-003 X_2^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -1.37137\text{E-}004 X_3^3 + 6.35393\text{E-}004 X_1^2 X_2 - 4.30116\text{E-}004 X_1^2 X_3 \\
& + 2.10492\text{E-}003 X_1 X_2^2 - 2.99590\text{E-}004 X_1 X_3^2 + 4.56575\text{E-}003 X_2^2 X_3 \\
& + 2.53051\text{E-}004 X_2 X_3^2 - 1.02716\text{E-}003 X_1 X_2 X_3 \quad (4.24.)
\end{aligned}$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 1 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9999 olarak bulunmuştur.

X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri ile S_3 bağımlı değişkeni arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile

$$\begin{aligned}
S_3 = & -35.83293 + 1.49251 X_1 + 0.70026 X_2 + 21.66869 X_3 - 0.099445 X_1^2 \\
& - 0.064863 X_2^2 - 1.29555 X_3^2 + 0.037742 X_1 X_2 - 3.40930\text{E-}003 X_1 X_3 \\
& + 0.040263 X_2 X_3 + 1.48710\text{E-}003 X_1^3 + 1.08293\text{E-}003 X_2^3 + 0.028714 X_3^3 \\
& - 2.66963\text{E-}004 X_1^2 X_2 + 2.71895\text{E-}003 X_1^2 X_3 - 4.75647\text{E-}004 X_1 X_2^2 \\
& - 3.45790\text{E-}003 X_1 X_3^2 + 1.78040\text{E-}003 X_2^2 X_3 - 3.73770\text{E-}003 X_2 X_3^2 \\
& - 1.57971\text{E-}003 X_1 X_2 X_3 \quad (4.25.)
\end{aligned}$$

olarak bulunmuştur.

ANOVA analizi ile R^2 değeri 0.9999 ve düzeltilmiş- R^2 değeri ise 0.9999 olarak bulunmuştur.

Üçüncü aşamada metamodellerin geçerliliği için MBH değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.22’de metamodellerin oluşturulmasında kullanılmayan veri setleri ile hesaplanan MBH değerleri gösterilmiştir. Çizelge 4.37’de de görüldüğü gibi elde edilen MBH değerleri %3’den küçüktür ve S_1 için elde edilen meta-modelin optimizasyonda kullanmak için yeterli olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.37. S_1 için mutlak bağıl hata değerleri

	X_1	X_2	X_3	$r_{\text{simülasyon}}$	$r_{\text{metamodel}}$	MBH
1	13	6	14	0,6369	0,6348	0,003297
2	15	7	9	0,7333	0,7353	0,00273
3	20	14	7	0,886	0,8903	0,00485
4	5	11	15	0,2232	0,2271	0,01747
5	18	8	13	0,8224	0,8265	0,00499
6	4	12	10	0,1776	0,1785	0,00507
7	10	13	5	0,5352	0,5317	0,00654
8	9	15	8	0,4530	0,4553	0,00508
9	6	15	11	0,2788	0,2845	0,02044
10	21	5	6	0,9101	0,9159	0,00637
11	11	10	12	0,5440	0,5420	0,003676

Aynı hesaplamalar O_1, O_2, O_3, S_2 ve S_3 çıktı parametreleri için de hesaplanmış ve elde edilen meta-modellerin optimizasyonda kullanmak için yeterli olduğu görülmüştür.

Son aşamada ise elde edilen meta-modellerin kısıt fonksiyonlar olarak kullanılması ile toplam yatak sayısını minimum yapacak matematiksel model kurulmuştur.

Sağlık sektöründe yatak doluluk oranının % 85 olması hem maliyet hem de servis etkinliği açısından kabul edilebilir bir orandır (Gorunescu ve ark.,2002).

Yatak sayısı optimizasyonu; doluluk oranlarının (DO) %45'e eşit ve büyük ve %85'e eşit ve küçük, tüm sistemde servis düzeyi oranlarının %80'e eşit ve büyük olacak şekilde yapılmıştır.

Amaç fonksiyon:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^3 X_i \quad (4.26.)$$

Kısıtlar:

$$2 \leq X_1 \leq 22 \quad (4.27.)$$

$$5 \leq X_2 \leq 15 \quad (4.28.)$$

$$5 \leq X_3 \leq 15 \quad (4.29.)$$

$$0.45 \leq O_i \leq 0.85 \quad (4.30.)$$

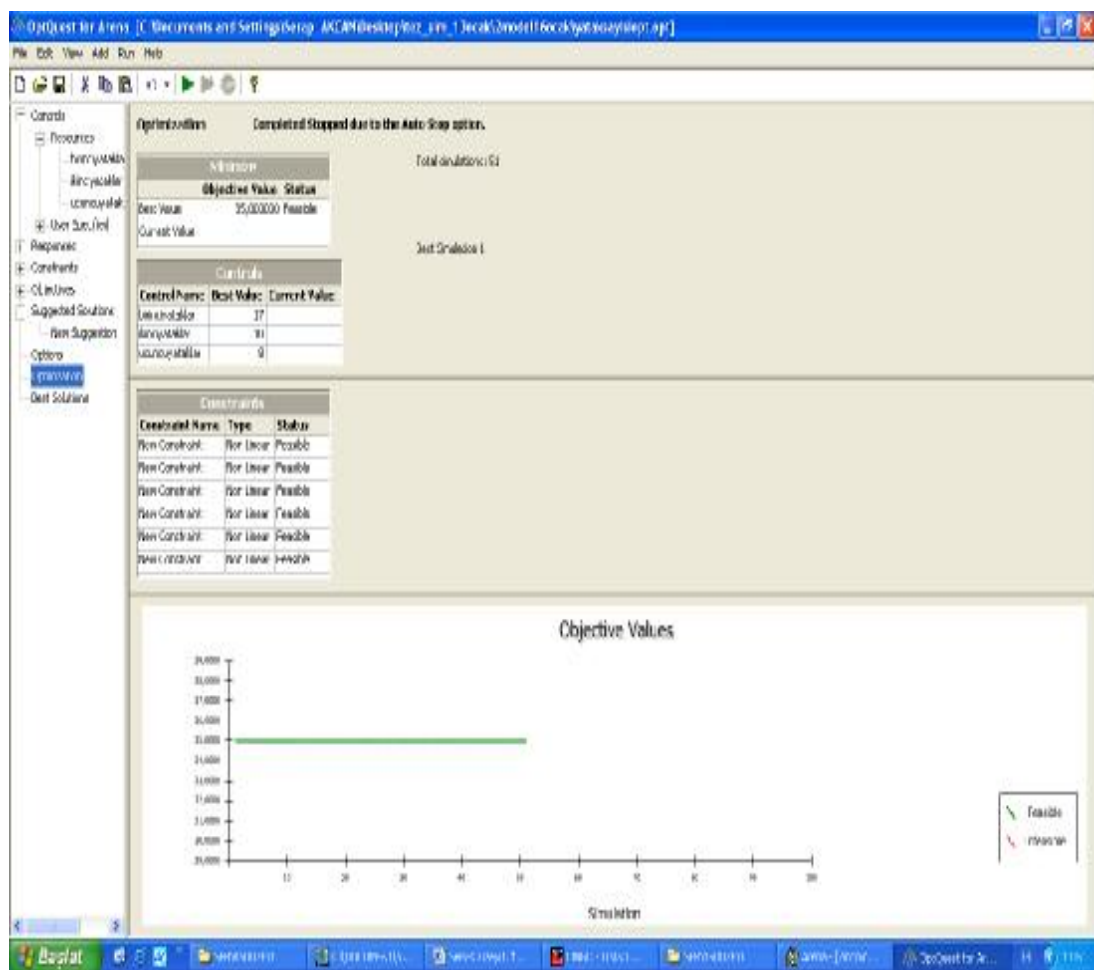
$$S_i \geq 0.80 \quad (4.31.)$$

Her X_i tamsayı

Kurulan matematiksel model LINGO8.0 paket programının deneme versiyonu ile çözülmüş ve toplam yatak sayısı 35 bulunmuştur ($X_1=17, X_2=10,$

$X_3=8, S_1=\% 80.91, S_2=\% 83.82, S_3=\%81.84, O_1=\% 66.71, O_2=\%72.70, O_3=\% 62.33$).

OptQuest ile YSO probleminin çözümü aşağıda ifade edildiği gibidir. Aynı matematiksel model Arena simülasyon programının OptQuest optimizasyon aracı ile de çözülmüş ve toplam yatak sayısı $X_1=17$, $X_2=10$ ve $X_3=8$ olacak şekilde 35 bulunmuştur. Çözüm grafiği şekil 4.38’de görülmektedir.



Şekil 4.38. OptQuest ile Yatak Sayısı Optimizasyonu

4.12.4. Servis Düzeyi Kısıtları İle Kurulan Model (SDKKM)

Problemin çözümü için öncelikle modeldeki kontrol değişkenleri, kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri ve kontrol değişkenleri için önerilen değerler belirlenir ve programa girilir. Modeldeki kontrol değişkenleri; r , Q , T_S ve T_D 'dir. Çizelge 4.38'de kontrol değişkenleri için başlangıç değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.38. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için kontrol değişkeni başlangıç değerleri

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 3067$	$r = 1000$
$1000 \leq Q \leq 7200$	$Q = 3000$
$20 \leq T_S \leq 150$	$T_S = 50$
$1 \leq T_D \leq 60$	$T_D = 20$

Kontrol değişkenleri belirlendikten sonra simülasyon modelinden elde etmek istediğimiz ve amaç fonksiyonda kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenir. Belirlenen çıktı değişkenleri: yıllık ortalama sipariş sayısı, ortalama elde bulundurulan malzeme miktarı, elde bulundurulan minimum malzeme miktarı. Kontrol değişkenleri ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra, modelde yer alacak kısıtlar yazılır (çizelge 4.39).

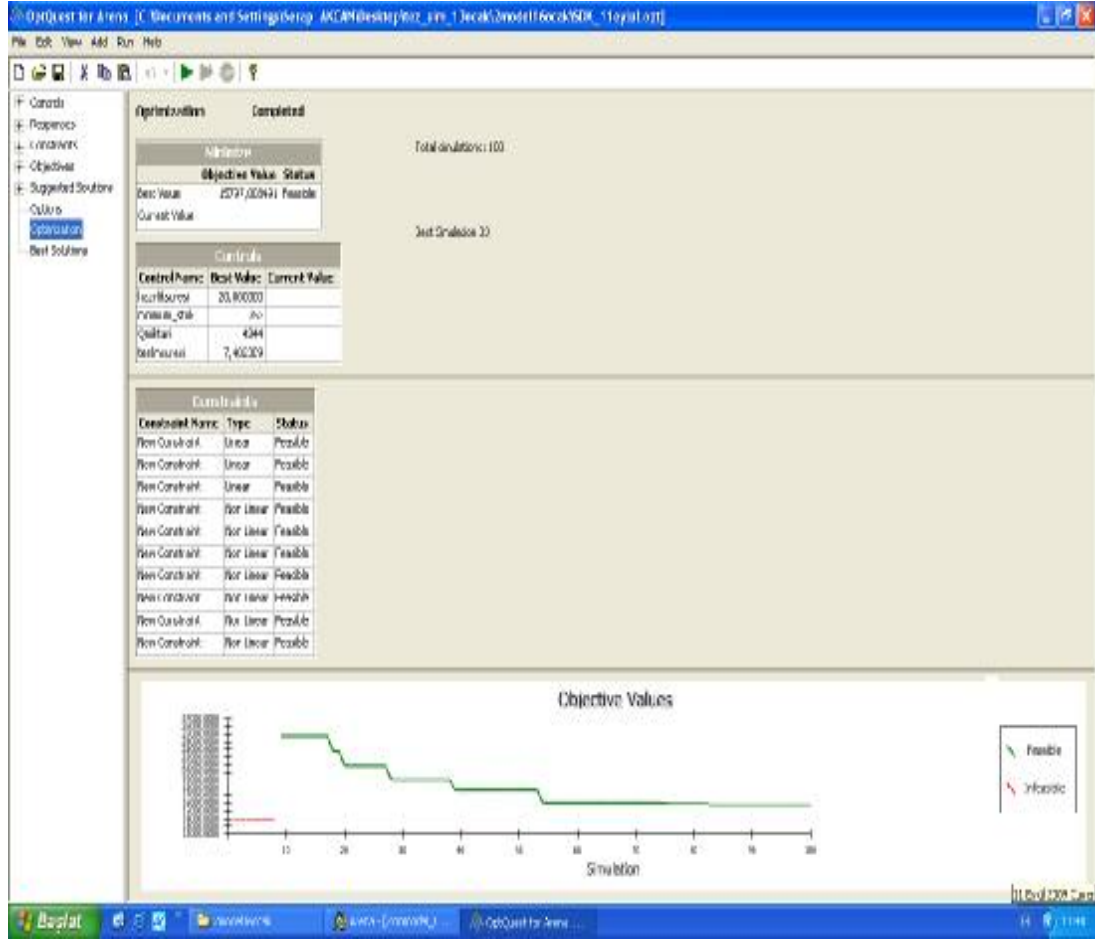
Kısıtlar belirlendikten sonra sıra amaç fonksiyonun yazılmasıdır. Amaç fonksiyon $\min C = 4\bar{I} + 4000N_o$ olarak programa girilmiştir.

Optimizasyon işleminin başlatılması için *Options* bölümüne simülasyon sayısı, simülasyonu durdurma şekli ve replikasyon sayısı girilmelidir. Çalışmada simülasyon sayısı 500 ve replikasyon sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği işaretlenerek durdurulmuştur.

Çizelge 4.39. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için kısıtlar

Tipi	Fonksiyonu
Lineer	$Q \geq r$
Lineer	$r > 0$
Lineer	$Q > 0$
Nonlineer	$N_o > 0$
Nonlineer	$\bar{I} \geq 0$
Nonlineer	$\frac{\text{Düzey1'e kabul edilen hasta sayısı}}{\text{Düzey1'e başvuran toplam hasta sayısı}} \geq 0,80$
Nonlineer	$\frac{\text{Düzey2'ye kabul edilen hasta sayısı}}{\text{Düzey2'ye başvuran toplam hasta sayısı}} \geq 0,80$
Nonlineer	$\frac{\text{Düzey3'e kabul edilen hasta sayısı}}{\text{Düzey3'e başvuran toplam hasta sayısı}} \geq 0,80$
Nonlineer	$\min I \geq 0$
Nonlineer	$N_o Q \geq 4600$

Optimizasyon yapılırken çözüme önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği ile sonlandırıldığından her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 83 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=753$, $Q=4344$, $T_S=20$ ve $T_D=7,402389$ değerleri için $C=15797,008491$ bulunmuştur. Şekil 4.39'da OptQuest'in çözüm grafiği görülmektedir.



Şekil 4.39. Servis Düzeyi Kısıtları İle Kurulan Model İçin İlk Çözüm Grafiği

Daha sonra kontrol değişkenlerinin sınırları yukarıda elde edilen optimum çözüm değerlerine göre yeniden sınırlandırılır (çizelge 4.40).

Çizelge 4.40. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 753$	$r = 753$
$1000 \leq Q \leq 4344$	$Q = 4344$
$20 \leq T_S \leq 50$	$T_S = 20$
$1 \leq T_D \leq 8$	$T_D = 7,402389$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 78 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=596$, $Q=4077$, $T_S=20,288694$ ve $T_D=7,024369$ değerleri için $C=15057,604750$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.41. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları²

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 596$	$r=596$
$1000 \leq Q \leq 4077$	$Q=4077$
$20 \leq T_S \leq 20,288694$	$T_S=20,288694$
$1 \leq T_D \leq 7,024369$	$T_D=7,024369$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.41) ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 67 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=574$, $Q=3959$, $T_S=20,259784$ ve $T_D=6,570373$ değerleri için $C=15022,669208$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.42. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları³

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 574$	$r=574$
$1000 \leq Q \leq 3959$	$Q=3959$
$20 \leq T_S \leq 20,26$	$T_S=20,259784$
$1 \leq T_D \leq 6,58$	$T_D=6,570373$

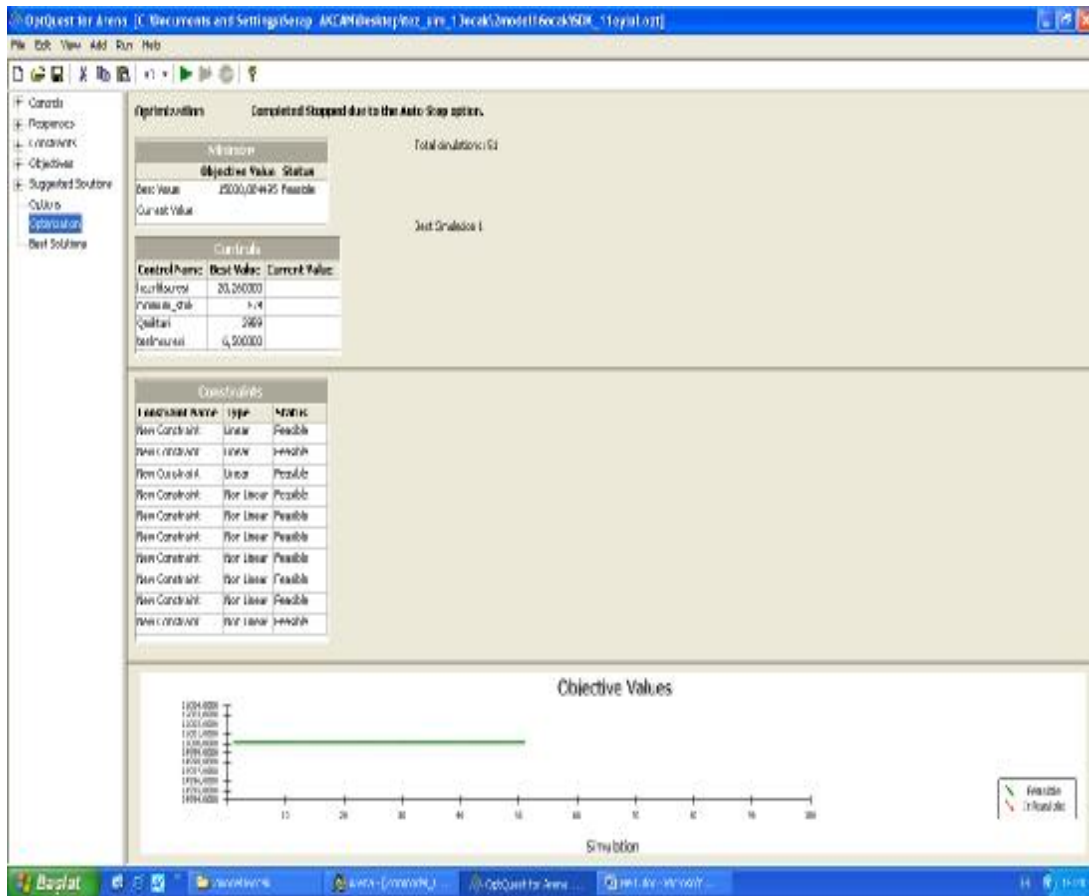
Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.42) ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 54 simülasyon yapılmıştır ve

optimum çözüm; $r=574$, $Q=3959$, $T_S= 20,26$ ve $T_D= 6,58$ değerleri için $C=15000,084495$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.43. Servis düzeyi kısıtları ile kurulan model için yeni kontrol değişkeni sınırları4

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$400 \leq r \leq 574$	$r = 574$
$1000 \leq Q \leq 3959$	$Q= 3959$
$20 \leq T_S \leq 20,26$	$T_S= 20,26$
$1 \leq T_D \leq 6,58$	$T_D= 6,58$

Çözüme yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.43) ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 51 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $r=574$, $Q=3959$, $T_S= 20,26$ ve $T_D= 6,58$ değerleri için $C=15000,084495$ olarak elde edilmiştir. Şekil 4.40’da da görüldüğü gibi daha iyi bir çözüm elde edilemediğinden program sonlandırılmıştır.



Şekil 4.40. Servis Düzeyi Kısıtları ile Kurulan Model İçin Final Çözüm Grafiği

4.13. Stokastik Talep İle Çoklu Malzeme Sipariş Verme Problemi

Çalışmada direk grüplama stratejisi kullanılmıştır. Talep dağılım parametreleri birbirine yakın olan n malzeme önceden tanımlanmıştır. Her bir malzeme için talebin Poisson dağılıma uygun olduğu görülmüştür. Çalışmada sipariş bekletilmesine (backorder), stok kesilmesine izin verilmemekte ve tedarik süresinin sıfır olduğu kabul edilmektedir. Başlangıçta her bir malzemeden elimizde kendi sipariş miktarı kadar olduğu kabul edilmiştir. Her sipariş süresi uzunluğu T 'ye ulaşıldığında, grupta yer alan tüm malzemeler için sipariş verilmektedir ve sipariş maliyeti C_o 'dır. Tüm malzemeler ortak bir bütçeyi (B) paylaşmaktadırlar ve malzemeler için ödenecek para ayrılan bütçeyi geçemez. Amaç, beklenen toplam

maliyeti minimum yapacak her bir malzeme için gerekli sipariş miktarlarını ve siparişler arası süre uzunluğunu bulmaktır.

Çalışma, yeni doğan yoğun bakım ünitesinde kullanılan malzemeler dikkate alınarak yapılmıştır. Yeni doğan bakım ünitesi süreci simülasyon modelleme ile modellenmiş, sipariş miktarlarının ve siparişler arası sürenin belirlenmesi için Arena yazılımının OptQuest optimizasyon aracı kullanılmıştır.

Amaç fonksiyonu:

$$\min C(Q_i) = N_o C_o + h_i \bar{I}_i + p_i Q_i \quad (4.32.)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n p_i Q_i \leq B \quad (4.33.)$$

$$\min I_i \geq 0 \quad (4.34.)$$

(4.32.)-inci eşitsizlik modelin amaç fonksiyonunu ifade etmektedir ve amaç toplam maliyeti minimize etmektir. Toplam maliyet; sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve satın alma maliyeti toplamlarından oluşmaktadır.

(4.33.)-inci eşitsizlik bütçe kısıdını ifade etmektedir. Satın alınan malzemeler için ödenecek ücret önceden belirlenmiş olan maksimum bütçe B 'yi geçemez.

(4.34.)-üçüncü eşitsizlik ise stok kesilmesine izin vermemektedir. Her hangi bir malzemenin elde bulundurulmuş minimum miktarı sıfırın altında olamaz.

Model OptQuest ile çözülmüştür. Örnek problem çözümü için $n = 2$ alınmıştır. Problemin çözümü için öncelikle modeldeki kontrol değişkenleri, kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri ve kontrol değişkenleri için önerilen değerler belirlenir ve programa girilir. Modeldeki kontrol değişkenleri; Q_1 , Q_2 ve T 'dir. Çizelge 4.44'de kontrol değişkenleri için başlangıç değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.44. Çoklu malzeme problemi (ÇMP) için kontrol değişkeni başlangıç değerleri

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$0 \leq Q_1 \leq 2000$	$Q_1 = 1000$
$0 \leq Q_2 \leq 2000$	$Q_2 = 1000$
$0 \leq T \leq 360$	$T = 240$

Kontrol değişkenleri belirlendikten sonra simülasyon modelinden elde etmek istediğimiz ve amaç fonksiyonda kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenir. Belirlenen çıktı değişkenleri: yıllık ortalama sipariş sayısı, her bir malzeme için ortalama elde bulundurulmuş malzeme miktarı, her bir malzeme için elde bulundurulmuş malzeme miktarının minimum değeri. Kontrol değişkenleri ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra, modelde yer alacak kısıtlar yazılır (çizelge 4.45).

Çizelge 4.45. Çoklu malzeme problemi için kısıtlar

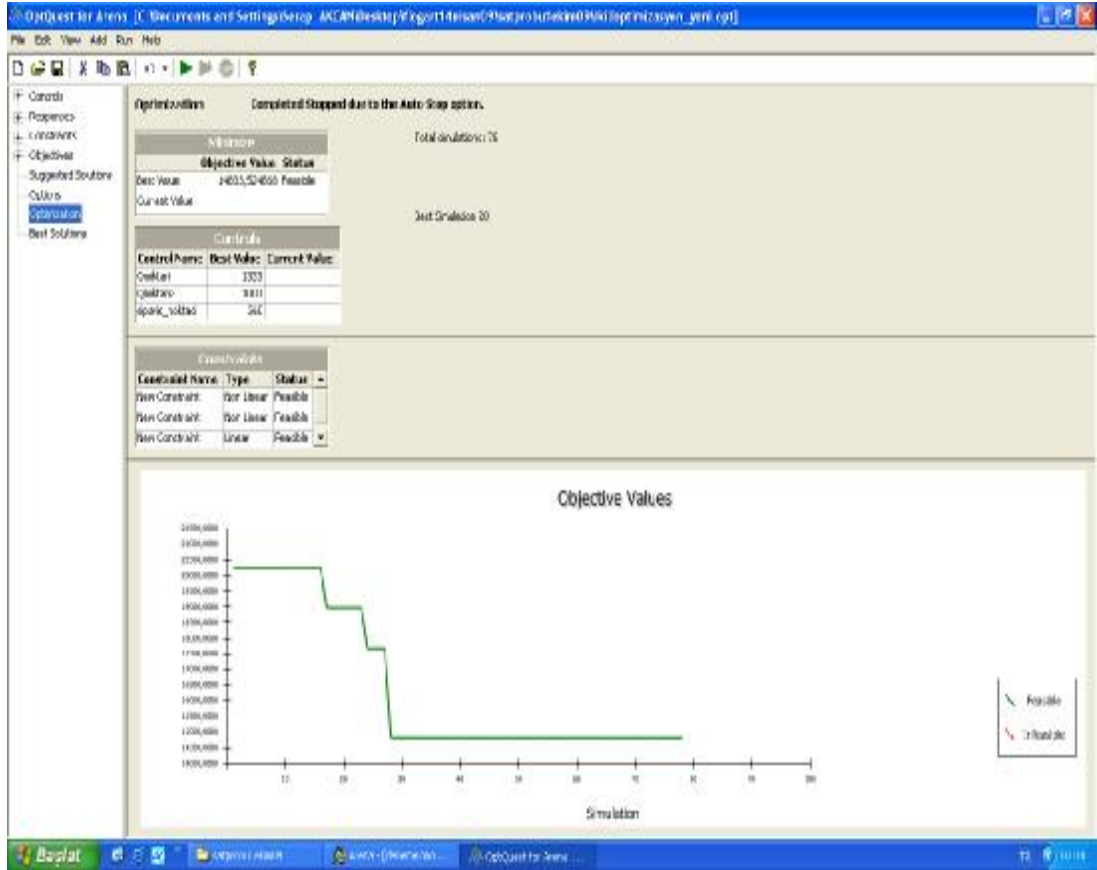
Tipi	Fonksiyonu
Nonlineer	$\bar{I}_1 \geq 0$
Nonlineer	$\bar{I}_2 \geq 0$
Lineer	$3Q_1 + Q_2 \leq 5000$

Kısıtlar belirlendikten sonra sıra amaç fonksiyonun yazılmasıdır. Amaç fonksiyonu; $\min C = 0.9\bar{I}_1 + 0.3\bar{I}_2 + 4000N_o + 3Q_1 + Q_2$ olarak programa girilmiştir.

Optimizasyon işleminin başlatılması için *Options* bölümüne simülasyon sayısı, simülasyonu durdurma şekli ve replikasyon sayısı girilmelidir. Çalışmada simülasyon sayısı 500 ve replikasyon sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği işaretlenerek durdurulmuştur.

Optimizasyon yapılırken çözüme önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Simülasyon OptQuest'in otomatik durdurma seçeneği ile sonlandırıldığından her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 78 simülasyon

yapılmıştır ve optimum çözüm; $Q_1 = 1333$, $Q_2 = 1000$ ve $T = 360$ değerleri için $C = 14833,524868$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.41’de OptQuest’in çözüm grafiği görülmektedir.



Şekil 4.41. Çoklu Malzeme Problemi İçin İlk Çözüm Grafiği

Daha sonra kontrol değişkenlerinin sınırları yukarıda elde edilen optimum çözüm değerlerine göre yeniden sınırlandırılır (çizelge 4.46).

Çizelge 4.46. Çoklu malzeme problemi için yeni kontrol değişkeni sınırları¹

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$0 \leq Q_1 \leq 1333$	$Q_1 = 1333$
$0 \leq Q_2 \leq 1000$	$Q_2 = 1000$
$0 \leq T \leq 360$	$T = 360$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri ile başlanır. Her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 72 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $Q_1=1069$, $Q_2=1000$ ve $T=360$ değerleri için $C=10306,973636$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.47. Çoklu malzeme problemi için yeni kontrol değişkeni sınırları²

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$900 \leq Q_1 \leq 1100$	$Q_1 = 1058$
$700 \leq Q_2 \leq 1010$	$Q_2 = 1000$
$210 \leq T \leq 360$	$T = 360$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.47) ile başlanır. Her biri m=10 replikasyon olmak üzere toplam 171 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $Q_1=1053$, $Q_2=907$ ve $T=359$ değerleri için $C=9552,910074$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.48. Çoklu malzeme problemi için yeni kontrol değişkeni sınırları³

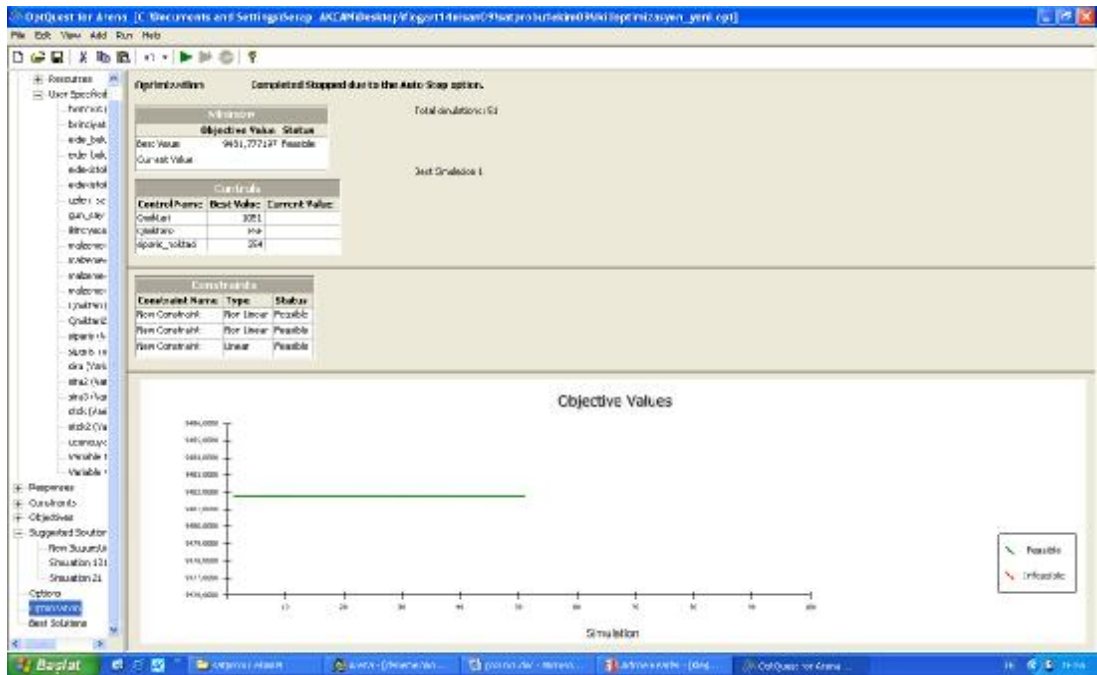
Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$900 \leq Q_1 \leq 1053$	$Q_1 = 1053$
$700 \leq Q_2 \leq 907$	$Q_2 = 907$
$210 \leq T \leq 359$	$T = 359$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.48) ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 71 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $Q_1=1051$, $Q_2=856$ ve $T=354$ değerleri için $C=9481,777197$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.49. Çoklu malzeme problemi için yeni kontrol değişkeni sınırları4

Kontrol değişkeni sınırları	Önerilen değer
$900 \leq Q_1 \leq 1051$	$Q_1= 1051$
$700 \leq Q_2 \leq 856$	$Q_2= 856$
$210 \leq T \leq 354$	$T = 354$

Çözümüne yeni önerilen kontrol değişkeni değerleri (çizelge 4.49) ile başlanır. Her biri $m=10$ replikasyon olmak üzere toplam 51 simülasyon yapılmıştır ve optimum çözüm; $Q_1=1051$, $Q_2=856$ ve $T=354$ değerleri için $C=9481,777197$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.42’de de görüldüğü gibi daha iyi bir çözüm elde edilemediğinden program sonlandırılmıştır.



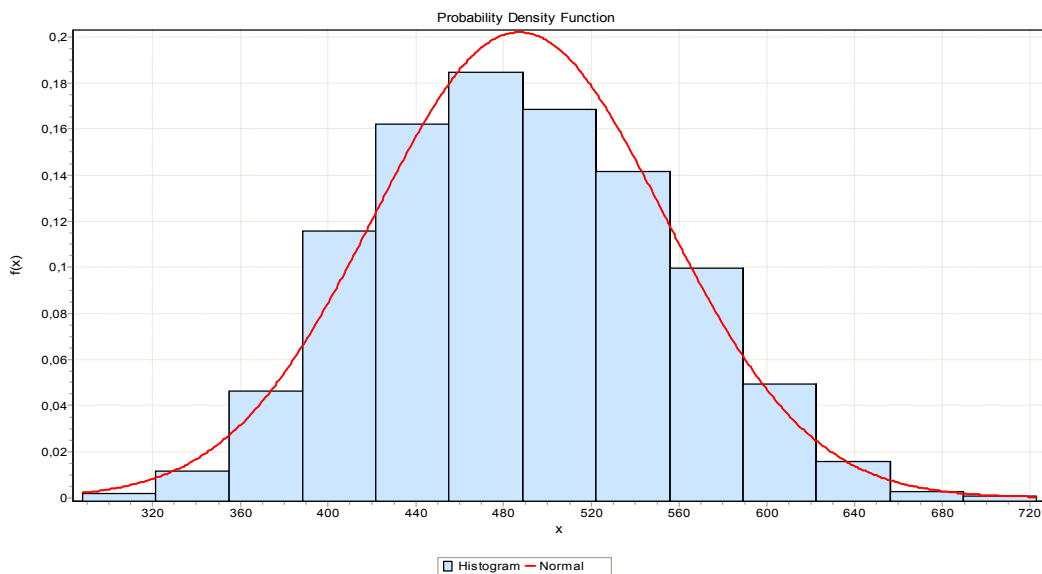
Şekil 4.42. Çoklu Malzeme Problemi İçin Final Çözüm Grafiği

4.14. Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımının Bulunması

Çalışmada talebin ve tedarik süresinin rassal olduğu durumda, tekrar sipariş verme noktasını farklı servis düzeylerinde ($\alpha = \%90$, $\alpha = \%95$ ve $\alpha = \%99$) hesaplamak için tedarik süresince oluşan talebin dağılımının bulunması amaçlanmıştır.

Analitik çözüme alternatif olarak r düzeyinin hesaplanmasında simülasyon modelinden yararlanılmıştır. Kopytov ve arkadaşları da 2007 yılında buna benzer bir çalışma yapmışlar ve r düzeyinin analitik olarak hesaplanmasının oldukça zor olduğunu bu nedenle simülasyon modelini tercih ettiklerini söylemişlerdir.

Talebin poisson dağılıma ($\lambda = 0.5$) ve tedarik süresinin düzgün dağılıma uygun olduğu simülasyon modeli kurulmuş ve modelde tedarik süresince oluşan talepler elde edilmiştir. Tedarik süresinin 30 gün ile 45 gün arasında değiştiği kabul edilmiştir. Simülasyon uzunluğu 1800 gün olmak üzere simülasyon modeli 100 replikasyon çalıştırılmış ve 4694 veri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin normal dağılıma uygunluğu, EasyFit 4.0 istatistik paket programı ile araştırılmıştır (şekil 4.43). Tedarik süresince oluşan talep verilerinin $\mu = 487.16$ ortalamalı ve $\sigma = 66.077$ standart sapmalı normal dağılıma uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 4.43. Tedarik Süresince Oluşan Talebin Dağılımı

α servis düzeyi, herhangi bir dönemin sonunda elde bulundurulan stoğun belirli bir kritik düzeyin altına düşmemesinin olasılığı olarak tanımlanabilir (Bookbinder ve Tan, 1988).

$\alpha = 0.90$, $\alpha = 0.95$ ve $\alpha = 0.99$ servis düzeyleri ile tekrar sipariş verme noktası r 'nin değeri normal dağılım tablosu kullanılarak hesaplanmış ve aşağıdaki gibidir;

$$r = \mu + Z_{\alpha} \sigma$$

$$\mu = 487.16, \sigma = 66.077 \text{ ve } Z_{0.90} = 1.282 \text{ için } r = 571.8707$$

$$\mu = 487.16, \sigma = 66.077 \text{ ve } Z_{0.95} = 1.645 \text{ için } r = 595.8567$$

$$\mu = 487.16, \sigma = 66.077 \text{ ve } Z_{0.99} = 2.326667 \text{ için } r = 640.8992$$

Tedarik süresince oluşan talebin %90 olasılıkla karşılanması için $r = 571.8707$, tedarik süresince oluşan talebin %95 olasılıkla karşılanması için $r = 595.8567$ ve tedarik süresince oluşan talebin %99 olasılıkla karşılanması için $r = 640.8992$ olmalıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**5.1. Çalışmanın Özeti**

Bu çalışmada tek malzemeli envanter sistemi, sürekli kontrol (r, Q) politikası kullanılarak talebin rassal ve tedarik süresinin karar değişkeni olduğu durum için sağlık sektöründe uygulamalı olarak ele alınmıştır. Çalışmada amaç toplam maliyeti minimize edecek r ve Q seviyelerinin belirlenmesidir.

Çalışmada tedarik süresince oluşan talep hastanede tedavi gören hasta sayısına bağlıdır. İncelenen sağlık sektöründe hasta gelişlerinin, hastaların tedavi süresince ünitelerdeki yatış sürelerinin, hastaların üniteler arası geçiş oranlarının rassal olması her bir ünitedeki hasta sayısının stokastik bir süreç gibi davranmasına sebep olmaktadır.

Herhangi bir malzemeye olan talep hastanın durumuna göre günden güne değişim göstermektedir. Dolayısıyla, talep de stokastik bir süreç göstermektedir.

Bu çalışmada sağlık sektöründen alınan gerçek veriler ve uzman görüşleri dikkate alınarak tedarik süresi için düzgün dağılım ile elde edilen veri setleri deney seti olarak kullanılmış ve beklenen toplam maliyeti minimum yapacak en uygun tedarik süresi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada simülasyon meta-modelleme tabanlı yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni yaklaşımda regresyon fonksiyonları ele alınan envanter sisteminde olduğu gibi zor problemler için simülasyon modeli ile birleştirilmiştir. Çalışmada toplam maliyeti minimize edecek yıllık ortalama sipariş sayısı ve ortalama elde bulundurma miktarı değerlerini hesaplamak için gerekli fonksiyonlar meta-modelleme ile elde edilmiş ve elde edilen meta-modeller kısıt fonksiyonları olarak kullanılarak tamsayılı non-lineer programlama modeli kurulmuş ve gerekli r ve Q düzeyleri belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca kesikli parametrelerin optimizasyonu için kullanılan meta-modellerle simülasyon optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bunun için Arena simülasyon modelleme yazılımının OptQuest optimizasyon aracı kullanılmıştır.

OptQuest, ele alınan problem için servis düzeyi kısıtı dikkate alınmayarak ve servis düzeyi kısıtı dikkate alınarak olmak üzere iki farklı model için kullanılmıştır.

Çalışmada farklı bir stok politikası olan çoklu malzeme envanter problemi stokastik talep ve anlık tedarik süresi koşulları altında incelenmiş ve beklenen toplam maliyeti minimum yapacak her bir malzeme için optimum sipariş miktarları ve siparişler arası süre kurulan model ile bulunmuştur.

Yukarıda anlatılan modellerin dışında, talebin ve tedarik süresinin rassal olduğu durumda farklı servis düzeylerinde tekrar sipariş verme noktasının ne olması gerektiği sorusuna cevap verecek yeni bir model kurulmuştur. %90, %95 ve %99 servis düzeyleri için tekrar sipariş verme noktaları belirlenmiştir.

5.2. Araştırma Sonuçları

- i) Envanter yönetimi birçok sektörde en büyük öneme sahiptir. Çünkü firmalar gelirlerinin büyük bir oranını malzeme giderlerine harcamaktadırlar. Ancak bu konuda yapılan çalışmaların çoğu üretim sektöründedir ve literatürde sağlık sektöründe envanter yönetimi ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Sağlık sektöründe stok düzeylerinin düzgün bir biçimde işlev görmesi hastalara iyi hizmet verilebilmesi ve maliyetin azaltılması açısından önemlidir. Bu çalışma ile literatürde eksikliği duyulan sağlık sektöründe envanter yönetimi konusuna katkı sağlanmış ve eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.
- ii) Gerçek hayatta hastaların hastaneye gelme oranları, tedavi süresince hastanede bulunma zamanları, bir birimden başka bir birime sevk edilme oranları, tedavi süresince ihtiyaç duydukları malzemeyi kullanma oranları rassaldır. Bu çalışma gerçek hayattaki tüm bu rassallıkları göz önüne alarak yapılmıştır. Dolayısı ile yöneticilerin siparişi ne zaman ve ne kadar vermeliyim sorularına cevap vermelerine yardımcı olacaktır.
- iii) Hastanede malzeme satın alma süreci kamu ihale usulüne göre yapılmaktadır. Kamu ihale sürecindeki en önemli kısıt ihaleye itiraz için 15 gün itiraz süresinin beklenmesidir. Bu süre siparişin verilmesi için gerekli hazırlık

süresinin asgari 15 günün üzerinde olması gerektiğini ifade etmektedir. Bu durum da tekrar sipariş verme noktasının belirlenmesini etkilemektedir. Çalışmada kamu ihale süreci dikkate alınmış ve böylece r ve Q seviyelerinin daha sağlıklı ve gerçek hayata uygun bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır.

- iv) Toplam maliyetin minimizasyonunu sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada tedarik süresini oluşturan hazırlık süresi ve teslim süresi değişkenleri kontrol değişkeni olarak ele alınmıştır. Böylece yöneticilerin hazırlık ve teslim sürelerine müdahale etmelerine olanak sağlanmıştır.
- v) Çalışmada optimizasyon için hem simülasyon meta-modelleme ile yeni bir yaklaşım geliştirilmiş hem de simülasyon optimizasyon için geliştirilmiş bir yazılım (OptQuest) kullanılmıştır. Ancak çalışmada geliştirilen yaklaşımın OptQuest'ten daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür.
- vi) Çalışmada geliştirilen yeni yaklaşım için kurulan simülasyon modeli hasta gelişleri, LOS, üniteler arası geçiş oranları, malzeme kullanım oranı ve tedarik süresi parametrelerinin değiştirilmesi ile kolayca farklı sistemlere uygulanabilir.
- vii) Geliştirilen yeni yaklaşımda kurulan TDOP ile toplam maliyeti minimum yapacak r ve Q düzeylerinin belirlenmesi için simülasyon modelinin tekrar tekrar çalıştırılmasına gerek kalmamaktadır.
- viii) Diğer yandan, geliştirilen yeni yaklaşım birçok araca (simülasyon modelleme, deneysel tasarım, regresyon analizi ve matematiksel modelleme) ihtiyaç duymaktadır. Ve tabi ki bu araçları kullanacak uzman kişilere de ihtiyaç duymaktadır. Fakat gerçek yaşamda malzemeye olan talep hastanedeki hasta sayısına bağlıdır ve bu hasta sayısı günden güne değişim göstermektedir. Bu nedenle, bu rassallıkları dikkate alarak (r , Q) politikasının kullanımı gerekmektedir. Bu da ancak bu çalışmada geliştirilen yeni yaklaşımın kullanımı ile mümkün olacaktır.
- ix) Çalışmada ele alınan sistemde hasta taleplerinin bekletilmesi söz konusu olamamaktadır yani kurulan modelde stok kesilmesine izin verilmemektedir. Çünkü ele alınan sistem sağlık sektörüdür. Bu nedenle çalışmada tedaviye kabul edilen hastaların ihtiyaç duydukları malzeme açısından servis

düzeyinin (talep edilen malzemenin stoktan karşılanması) %100 karşılandığı kabul edilmektedir.

- x) Çoklu malzeme envanter problemi için sürekli ve periyodik gözden geçirme kontrol sistemlerinin kombinasyonundan oluşan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.
- xi) Çalışmada ele alınan envanter sisteminde %100 servis düzeyinin dikkate alınması ile envanteri elde bulundurma maliyetinin artabileceği düşünülerek; %90, %95 ve %99 servis düzeyleri için tekrar sipariş verme noktalarının ne olması gerektiği sorusuna cevap aranmıştır.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

İleride yapılacak çalışmalarda;

- i) OptQuest'in çözüm performansı ile karşılaştırılacak yeni bir sezgisel algoritma geliştirilebilir.
- ii) Çalışmada hasta taleplerinin bekletilmesi söz konusu olmamaktadır. Servis düzeyi oranı talebin bekletilmesinin söz konusu olduğu herhangi bir sistem dikkate alınarak hesaplanabilir. Buna bağlı olarak toplam maliyetin hesaplanmasında talebin bekletilmesi ve kayıp talepler de matematiksel modele kısıt olarak eklenebilir.
- iii) Çoklu malzeme envanter problemi için talebin ve tedarik süresinin rassal olduğu durum göz önüne alınarak beklenen toplam maliyeti minimum yapacak tekrar sipariş verme noktalarının ve optimum sipariş miktarlarının ne olması gerektiği sorularına cevap verecek yeni bir yaklaşım geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- AKSOY, Y. ve ERENGUC, S.S., 1988. Multi-item inventory models with coordinated replenishments: A survey. *International Journal of Operations and Production Management*, 8: 63-73.
- ARGON, N.T., GÜLLÜ, R. ve ERKİP, N., 2001. Analysis of an inventory system under backorder correlated deterministic demand and geometric supply process. *Int. J. Production Economics*, 71: 247- 254.
- AXSATER, S., 2006. A simple procedure for determining order quantities under a fill rate constraint and normally distributed lead-time demand. *EJOR*, 174: 480–491.
- BANKS, J., CARSON, J.S. ve NELSON, B.L., 1996. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall, new Jersey, 548.
- BARTON, R.R., MECKESHEIMER M., 2006. *Metamodel Based Simulation Optimization*. Handbooks in OR& MS, Vol.13.
- BASHYAM, S., FU M.C., 1998. optimization of (s, S) inventory systems with random lead times and a service level constraint. *Management Science*, Vol. 44, No. 12, Part2, 243- 256.
- BOOKBINDER, J.H. ve TAN, J., 1988. Strategies for the probabilistic lot-sizing problem with service-level constraints. *Management Science*, Vol:34, No:8, 1096-1108.
- CHEN, X. ve SIMCHI-LEVI, D., 2006. Coordinating inventory control and pricing strategies: The continuous review model. *Operations Research Letters*, 34: 323–332.
- CHUNG, C.A., 2004. *Simulation Modeling Handbook*. CRC Pres, New York.
- COCHRAN, J. K. ve BHARTI A., 2006, A multi - stage stochastic methodology for whole hospital bed planning under peak loading. *Int. J. Industrial and System Engineering*, 1: 8 – 35.
- COYLE, J.J., BARDI, E.J. ve LANGLEY, C.J., 1996. *The management of Business Logistics* (6 th ed.). St. Paul, MN: West Publishing Company.

- CRAMA, Y., PASCUAL, R. ve TORRES, A., 2004. Optimal procurement decisions in the presence of total quality discounts and alternative product recipes. *EJOR*, 159: 364- 378.
- ÇAKANYILDIRIM, M., BOOKBINDER, J. H. ve GERCHAK, Y., 2000. Continuous review inventory models where random lead time depends on lot size and reserved capacity. *Int. J. Production Economics*, 68: 217–228.
- DARWISH, M.A., 2008. Joint determination of order quantity and reorder point of continuous review model under quantity and freight rate discounts. *Computers & Operations Research*, 35 (12): 3902- 3917.
- DELLAERT, N. ve POEL E., 1996. Global inventory control in academic hospital. *Int. J. Production Economics*, 46–47: 277- 284.
- DEMİR, M.H. ve GÜMÜŞOĞLU, Ş., 2003. Üretim Yönetimi. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 819.
- DEGRAEVE, Z., LABRO E., ROODHOOFT F., (2004). Total cost of ownership purchasing of a service: The case of airline selection at Alcatel Bell. *European Journal of Operational Research*, 156: 23–40.
- DUCLOS, L.K., 1993. Hospital Inventory Management for Emergency Demand. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Fall 1993, 30- 37.
- DURAN, A., GUTIERREZ, G. ve ZEQUEIRA, 2004. A continuous review inventory model with order expediting. *Int. J. Production Economics*, 87: 157–169.
- DUTTA, P., CHAKRABORTY, D. ve ROY, A.R., 2007. Continuous review inventory model in mixed fuzzy and stochastic environment. *Applied Mathematics and Computation*, 188: 970–980.
- ELMAS, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 192s.
- FIELD, A., 2005. *Discovering Statistics Using SPSS*. Sage Publications, London, 779.
- GLOVER, F., LAGUNA, M., 1997. *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.

- GOOSSENS, D.R., MAAS, A.J.T., SPIEKSMAN, F.C.R. ve KLUNDERT, J.J., 2007. Exact algorithms for procurement problems under a total quantity discount structure. *EJOR*, 178: 603- 626.
- GORUNESCU, F., MCLEAN, S.I., MILLARD, P.H., 2002. Using a queuing model to help plan bed allocation in a department of geriatric medicine. *Health Care Management Science*, 5 : 307 – 312
- GOYAL, S.K., 1974. Determination of optimum packaging frequency of items jointly replenished. *Management Science*, 21: 436-443.
- GROOTHUIS, S., HASMAN, A. & MERODE, G. G., 2000. Simulation as Decision Tool for Capacity Planning. *Computer Methods and Programs in Medicine*, 66:139-151.
- GROOTHUIS, S., HASMAN, A., PETRA, E. J, LENCER, N., JANSSEN, J.J., JANS, J.D.M., STAPPERS, L.M., DASSEN, W.R.M., DOEVENDANS, P.A.F.M. & MERODE, G.G., 2004. Predicting capacities required in cardiology units for health failure patients via simulation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 74:129 – 141.
- GÜLLÜ, R., ÖNOL, E. ve ERKİP, N., 1999. Analysis of an inventory system under supply uncertainty. *Int. J. Production Economics*. 59: 377- 385.
- GÜLLÜ, R., 1998. Base stock policies for production inventory problems with uncertain capacity levels. *EJOR*, 105: 43–51.
- HAKSEVER, C. ve MOUSSOURAKIS, J., 2005. A model for optimizing multi-product inventory systems with multiple constraints. *Int. J. Production Economics*, 97: 18- 30.
- HILL, R.M., 2007. Continuous-review, lost-sales inventory models with Poisson demand, a fixed lead time and no fixed order cost. *EJOR*, 176: 956–963.
- HILL, R.M., SEIFBARGHY, M. ve SMITH, D.K., 2007. A two echelon inventory model with lost sales. *EJOR*, 181: 753- 766.
- HOSHINO, K., 2001. On switching-type mixed-ordering policy based on monitoring forecasting error. *Int. J. Production Economics*, 71: 373- 380.

- HOQUE, M.A. ve GOYAL, S.K., 2006. A heuristic solution procedure for an integrated inventory system under controllable lead time with equal or unequal sized batch shipments between a vendor and a buyer. *Int. J. Production Economics*, 102: 217- 225.
- HUARNG, F., 1997. Hospital materials managements in Taiwan : A survey. *Proceedings - Annual Meeting of the Decision Sciences Institute*, 3: 1483–1485.
- HUNG, Y.F. ve CHANG, C.B., 1999. Determining safety stocks for production planning in uncertain manufacturing. *Int. J. Production Economics*, 58: 199-208.
- JEDDI, B.G., SHULTES, B.C. ve HAJI, R., 2004. A multi-product continuous review inventory system with stochastic demand, backorders, and a budget constraint. *EJOR*, 158: 456–469.
- JEULAND, A. ve SHUGAN, S., 1985. Managing channel profits. *Marketing Science*, 2 (3): 239- 272.
- JOSE, L.A.S., SICILIA, J. ve LAGUNA J.G., 2005. The lot size-reorder level inventory system with customers impatience functions. *Computers & Industrial Engineering* 49: 349–362.
- KAPUR, R. ve MOBERG, C., 1987. Evaluating inventory turns for a hospital environment. *Computers & Industrial Engineering*, 13 (1–4): 73- 77.
- KHOUBA, M. ve GOYAL, S., 2008. A review of the joint replenishment problem literature: 1989-2005. *EJOR*, 186: 1-16.
- KLEIJNEN, J.P.C., SARGENT, R.G., 2000. A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. *EJOR*, 120: 14- 29.
- KLEIJNEN, J.P.C., WAN, J., 2007. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 15: 354- 362.
- KLEIJNEN, J.P.C., BEERS, W., NIEUWENHUYSE, I.V., 2008. Constrained optimization in simulation: a novel approach. Discussion Paper, Tilburg University.
- KOPYTOV, E., GREENGLAZ, L., MURAVYOV, A., PUZINKEVICH, E., 2007. *Computer Modelling and New Technologies*, 11 (1): 21-30.

- KOWALSKI, J.C., 1991. Materials Management Crucial to Overall Efficiency. *Healthcare Financial Management*, 40: 42- 44.
- KOWALSKI, J.C., 1998. CEO's and CFO's Express Concern about Materials Management. *Healthcare Financial Management*, 56- 60.
- KOWALSKI-DICKOW ASSCIATES, Inc. 1994. *Managing Hospital Materials Management*. American Hospital Publishing, Inc.
- KRAJEWSKI, L.J. and RITZMAN, L.P., 1996. *Operations Management Strategy and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, New York, 878.
- KWAK, N.K., DURBIN, E. ve STANLEY, D., 1991. An inventory model for optimizing purchasing of intravenous fluids for hospitals: A case study. *Journal of Medical Systems*, 15 (2): 171- 181.
- LAW, A.M. ve KELTON, W.D., 2007. *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, New york, 709.
- LEE, J.Y. ve SCHWARZ, L.B., 2007. Leadtime reduction in a (Q; r) inventory system: An agency perspective. *Int. J. Production Economics*, 105: 204–212.
- MERKURYEVA, G., 2004. *Metamodelling for simulation applications in production and logistics*.
- MITRA, S. ve CHATTERJEE, A.K., 2004. Echelon stock based continuous review (R,Q) policy for fast moving items. *Omega*, 32: 161- 166.
- MOHEBBI, E. ve HAO, D., 2006. When supplier_s availability affects the replenishment lead time-An extension of the supply-interruption problem. *EJOR*, 175: 992–1008.
- MONTGOMERY, D. C., 2004, *Engineering Statistics*. John Wiley & Sons, New York, 461.
- NAHMIAS, S., 1997. *Production and Operations Analysis*. McGraw-Hill, Singapore, 858.
- NICHOLSON, L.A., 2000. A multi-echelon inventory approach for a distribution system in the health care industry. PhD. Thesis, The University of Florida.
- NGUYEN, J.M., SIX, P., ANTONOLI, D., GLEMAIN. P., POTEL, G., LOMBRAIL, P. & LE BEUX, P., 2005. A simple method to optimize

- hospital bed capacity, *International Journal Of Medical Informatics*, 74 : 39 – 49.
- ÖZTEMEL, E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 238s.
- ÖZTÜRK, A., 2005. *Yöneylem Araştırması*. Başak Matbaacılık, Ankara, 869.
- REGO, C., ALIDAEE, B., 2005. *Metaheuristic Optimization Via Memory and Evolution*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 466s.
- RIDGE, J. C., JONES, S. K, NIELSEN, M. S. & SHAHANI, A. K., 1998. Capacity planning for intensive care units, *European Journal Of Operational Research*, 105 : 346 – 355.
- RIEZEBOS, J., 2006. Inventory order crossovers. *Int. J. Production Economics*, 104: 666- 675.
- SALAMEH, M.K. ve ark., 2003. Continuous review inventory model with delay in payments. *Int. J. Production Economics*, 85: 91- 95.
- SEES, R.H., 1999. Pharmacy inventory management in multihospital systems: an exploratory study of ownership and inventory management practices on efficiency. PhD Thesis, The Pennsylvania State University.
- SEIFBARGHY, M. ve JOKAR, M.R.A., 2006. Cost evaluation of a two-echelon inventory system with lost sales and approximately Poisson demand. *Int. J. Production Economics*, 102: 244–254.
- SILVER, E.A., PYKE, D.F. ve PETERSON, R., 1998. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons, New York, 754.
- SPEEDING, P.E., 1998. Revisiting time phased order points for the health care industry. *IIE Solutions*, 30 (2): 22–24.
- SUCKY, E., 2005. Inventory management in supply chains: A bargaining problem. *Int. J. Production Economics*, 93–94: 253- 262.
- ŞATIR, A. ve CENGİZ, D., 1987. Medicinal Inventory Control in a University Health Centre. *The Journal of the Operational Research Society*, 38 (5): 387– 395.
- TAHA, H.A., 2000. *Yöneylem Araştırması*. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 910.
- ULUCAN, A., 2004. *Yöneylem Araştırması*. Siyasal Kitabevi, Ankara, 484.

- VAN, L.D. ve MALSTROM, E.M., 1984. Materials Management System For Medical/Surgical Supplies. Fall Industrial Engineering Conference, American Institute of Industrial Engineers, 430- 436.
- YALÇINKAYA, Ö., BAYHAN, G.M., 2009. Modelling and optimization of average travel time for a metro line by simulation and response surface methodology. EJOR, 196: 225- 233.

ÖZGEÇMİŞ

Almanya’da doğdu. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora başladı. 2005-2006 Güz Yarıyılında Erasmus Programı ile Almanya’da Flensburg Üniversitesinde 6 ay bulundu.

2001 yılından günümüze Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

EKLER

EK-1: Envanter Modellerinin Sınıflandırılması

	ENVANTER MODELLERİNİN SINIFLANDIRILMASI													
	Talep		Tedarik Süresi		Kontrol Zamanı		İndirimler		Aşırı Talep		Kademe Sayısı		Malzeme Sayısı	
	Deterministik/ Sabit	Stokastik/ Değişken	Deterministik/ Sabit	Stokastik/ Değişken	Periyodik	Sürekli	Yok	Var	TSSK	Kayıp Satış	Tek	Çok	Tek	Çok
Şatır ve Cengiz (1987)		Normal	+		+									+
Güllü (1998)		Erlang			+				+				+	
Çakanyıldırım ve ark. (2000)	+			Üstel		+			+				+	
Argon ve ark. (2001)	+			Geometrik	+				+				+	
Salameh ve ark. (2003)	+			Normal		+								
Jeddi ve ark. (2004)		Normal				+			+					+
Jose ve ark. (2005)	+		Anlık			+							+	
Seifbarghy ve Jokar (2006)		Poisson	+			+			+	+		+		
Axsater (2006)		Normal	+			+			+		+			
Chen ve Levi (2006)		Poisson	Anlık			+		+						
Mohebbi ve Hao (2006)		Poisson		Erlang		+				+				
Hill ve ark. (2007)		Poisson	+			+				+		+	+	
Hill (2007)		Poisson	+			+				+				
Kopytov ve ark. (2007)		Poisson		Normal		+				+			+	
Darwish (2008)		1.Düzgün 2.Normal	+			+		+		+			+	

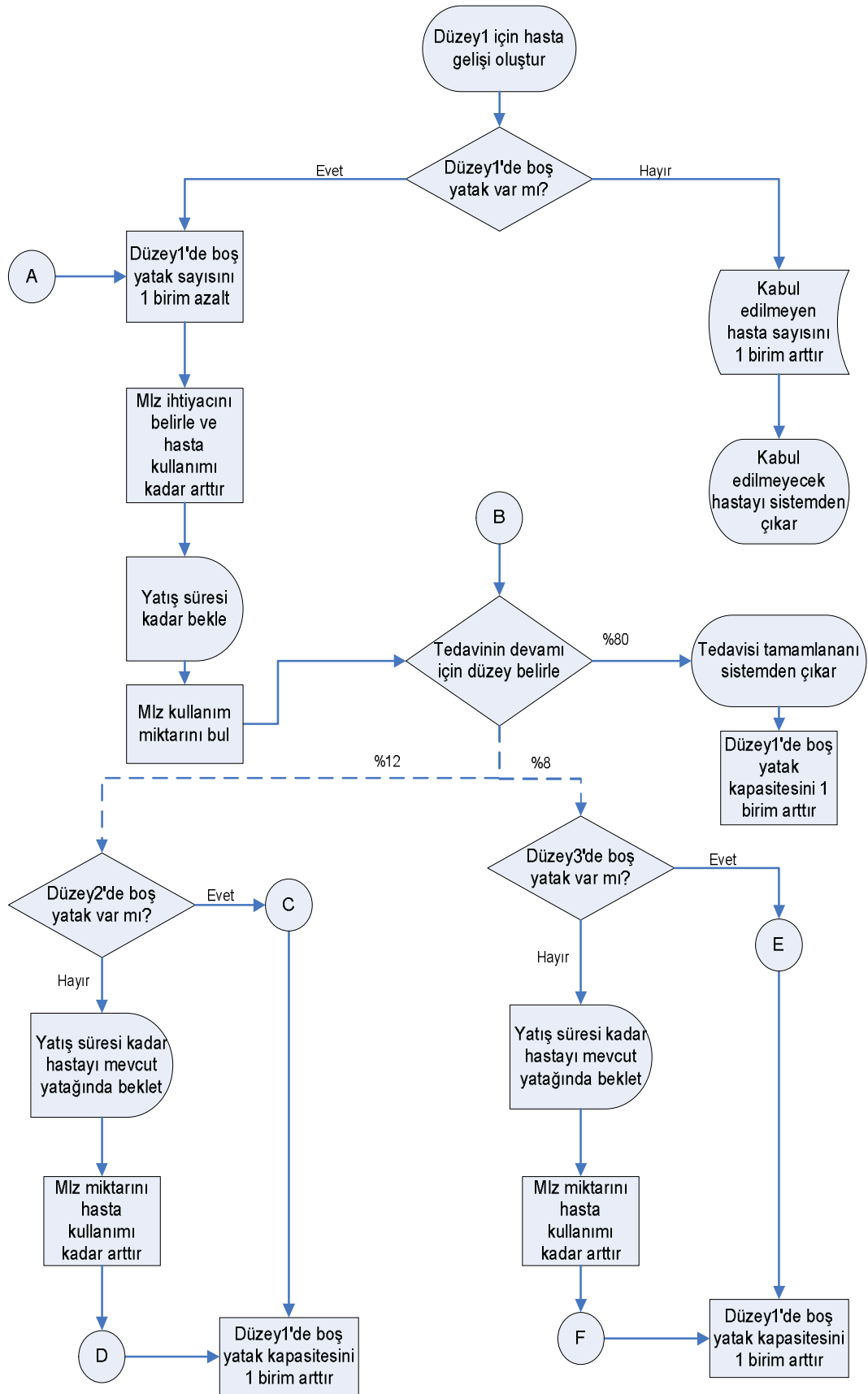
EK-2: Literatürün Genel Değerlendirmesi

YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM	YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM
1998	Güllü	Her bir periyot kriteri için beklenen ortalama maliyet altında optimum stok düzeyini hesaplamak	G/G/1 Kuyruk Modeli	2001	Argon ve ark.	Talep sürecindeki değişimlerin etkilerini incelemek, her periyottaki karı maksimum yapmak	Renewal (yenileme) teorisi
1999	Hung ve Chang	Belirsiz üretim için emniyet stok düzeylerini belirlemek	Simülasyon, Lineer Programlama	2001	Hoshino	Sabit aralıklarla siparişleme politikası ve sabit büyüklükte siparişleme politikasını karşılaştırmak	Matematiksel model
1999	Güllü ve ark.	Beklenen elde bulundurma ve backorder maliyetlerini minimize etmek	Stokastik dinamik programlama, newsboy-like formülasyonu	2003	Salameh ve ark.	Ödemeler geciktirildiği zaman satıcının her birim için toplam beklenen karını maksimum yapacak ROP ve Q belirlemek	Matematiksel model
2000	Çakanyıldırım ve ark.	Tedarik süresinin parti büyüklüğü ile orantılı olduğu durum için Q ve ROP miktarlarının belirlemek	Lineer ve konkav (içbükey) modeller	2004	Mitra ve Chatterjee	Hızlı tüketim malları için DeBodt ve Graves tarafından geliştirilen kademeli stok temelli sürekli kontrol modelini iki aşamalı seri sistem için geliştirmek	Debodt ve Graves Modeli
2004	Duran ve ark.	Envanter politikasındaki değişkenler tamsayı olduğunda global minimal maliyetler ile politika değişkenlerini (Q,r,r _e) elde etmek için algoritma geliştirmek	Moinzadeh ve Nahmias (1988), Hadley ve Whitin (1963) Modelleri	2004	Jeddi ve ark.	Satın alma maliyetlerinin ürünlerin tesliminde ödendiği ve toplam envanter yatırımının belirli bir değeri geçtiğindeki olasılık kısıtları ile beklenen toplam yıllık maliyeti minimum yapmak	Lagrange multiplier tekniği, nonlinear optimizasyon

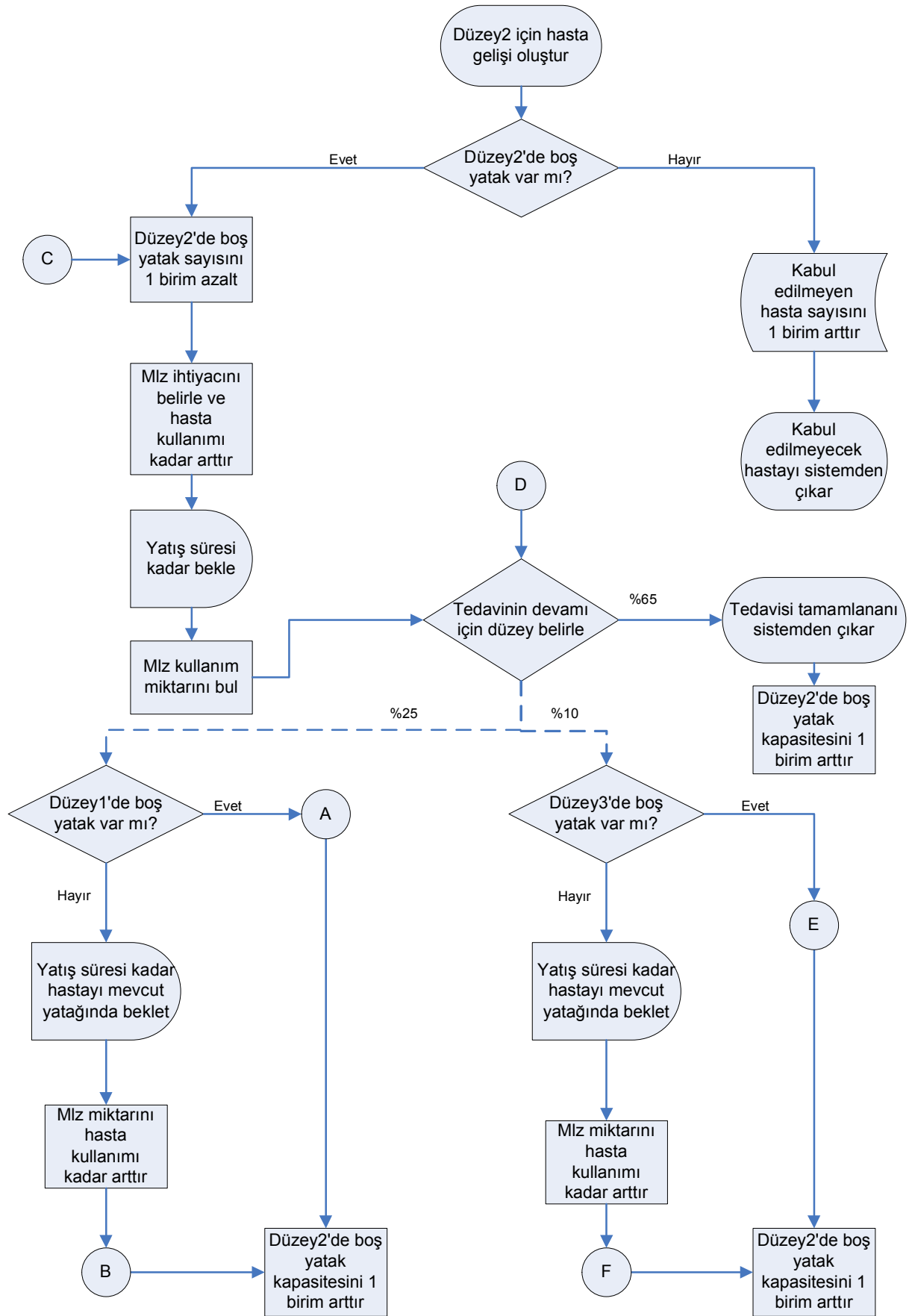
YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM	YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM
2005	Haksever ve Moussourakis	Çoklu kısıtlar ile çoklu-ürün envanter sisteminde Q ve ROP belirlemek	Karışık tamsayı programlama	2006	Hoque ve Goyal	Alıcı ve tedarikçi arasında kontrol edilebilir tedarik süresi yaklaşımı ile bütünleşik envanter sistemi için tedarik süresi, envanter taşıma ve siparişleme ya da kurulumun toplam maliyetini minimum yapmak	Sezgisel yöntem
2005	Sucky	Tedarik zincirinde tedarikçiler ile alıcılar arasındaki sipariş ve üretim politikalarının koordinasyonu için toplam maliyeti minimum yapacak EOQ miktarını belirlemek, koordinasyon için pazarlık etme modelleri sunmak	Analitik yaklaşım	2006	Riezebos	Sipariş çaprazlamalarının ve sipariş çaprazlamalarının koşullarının anlaşılabilirliğini iletmeyi sağlamak	Çaprazlama
2006	Jose ve ark.	Kısmi geciktirmelerin olduğu envanter sürecinde EOQ, ROP ve minimum toplam maliyeti belirlemek	Nonlineer model	2006	Axsater	ROP ve Q belirlemek ve doluluk oranı kısıtı altında toplam maliyeti minimum yapmak	Lineer interpolasyon yaklaşımı, polinomal yaklaşımlar
2006	Seifbarghy ve Jokar	Merkezi bir ambar ve birçok perakendeciden oluşan ve sürekli kontrol politikası ile kontrol edilen envanter sisteminde her durumda parti büyüklüklerini veren optimum ROP bulan yaklaşık bir maliyet fonksiyonu geliştirmek	Kuyruk teorisi, Simülasyon	2006	Chen ve Levi	Tüm planlama ufkunun ötesinde beklenen iskontoğu ya da ortalama karı maksimize edecek envanter politikasını ve fiyatlama stratejisini bulmak	Yarı-Markov karar süreci, dinamik programlama Renewal reward teorisi

YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM	YIL	YAZAR	AMAÇ	YÖNTEM
2006	Mohebbi ve Hao	Tekrarlanan bir siparişin tedarik zamanında tedarikçinin elde edilebilirliğini araştırmak	Markov zinciri, Analitik model	2007	Darwish	Ulaşım ve satın alma maliyetlerini sürekli kontrol envanter modelleri ile bütünleştirerek her birim zaman için beklenen toplam maliyeti minimum yapacak Q ve ROP bulmak	Matematiksel model
2007	Hill ve ark.	Sistemdeki ortalama stok ve perakendecilerden toplanan toplam parçaları belirlemek için süreçler ve sistem davranışı geliştirmek	Matematiksel model, simülasyon	2007	Dutta ve ark.	Optimizasyonda eş zamanlı ortaya çıkan bulanıklığın ve rassallığın olduğu sürekli kontrol envanter sisteminde toplam maliyeti minimum yapacak Q ve ROP belirlemek	Bulanık mantık
2007	Hill	Peş peşe siparişlerin yerleştirilmesi arasındaki gecikme ile kayıp satış modelleri dikkate alınarak toplam maliyeti minimum yapmak	D/M/1 kuyruk modeli, simülasyon, 'myopic' sezgisel yöntem				

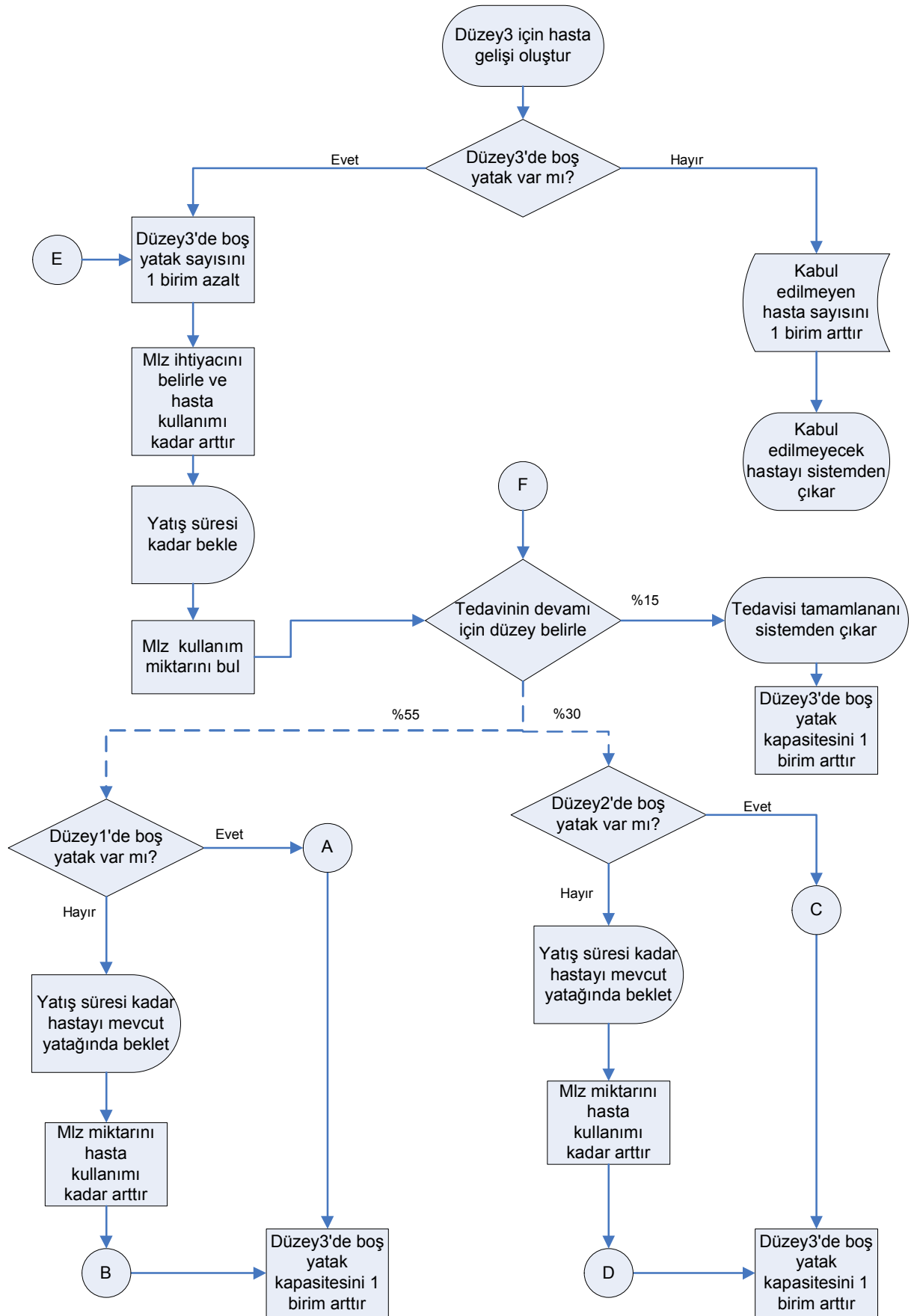
EK-3: Düzey1, Düzey2, Düzey3 Akış Şemaları



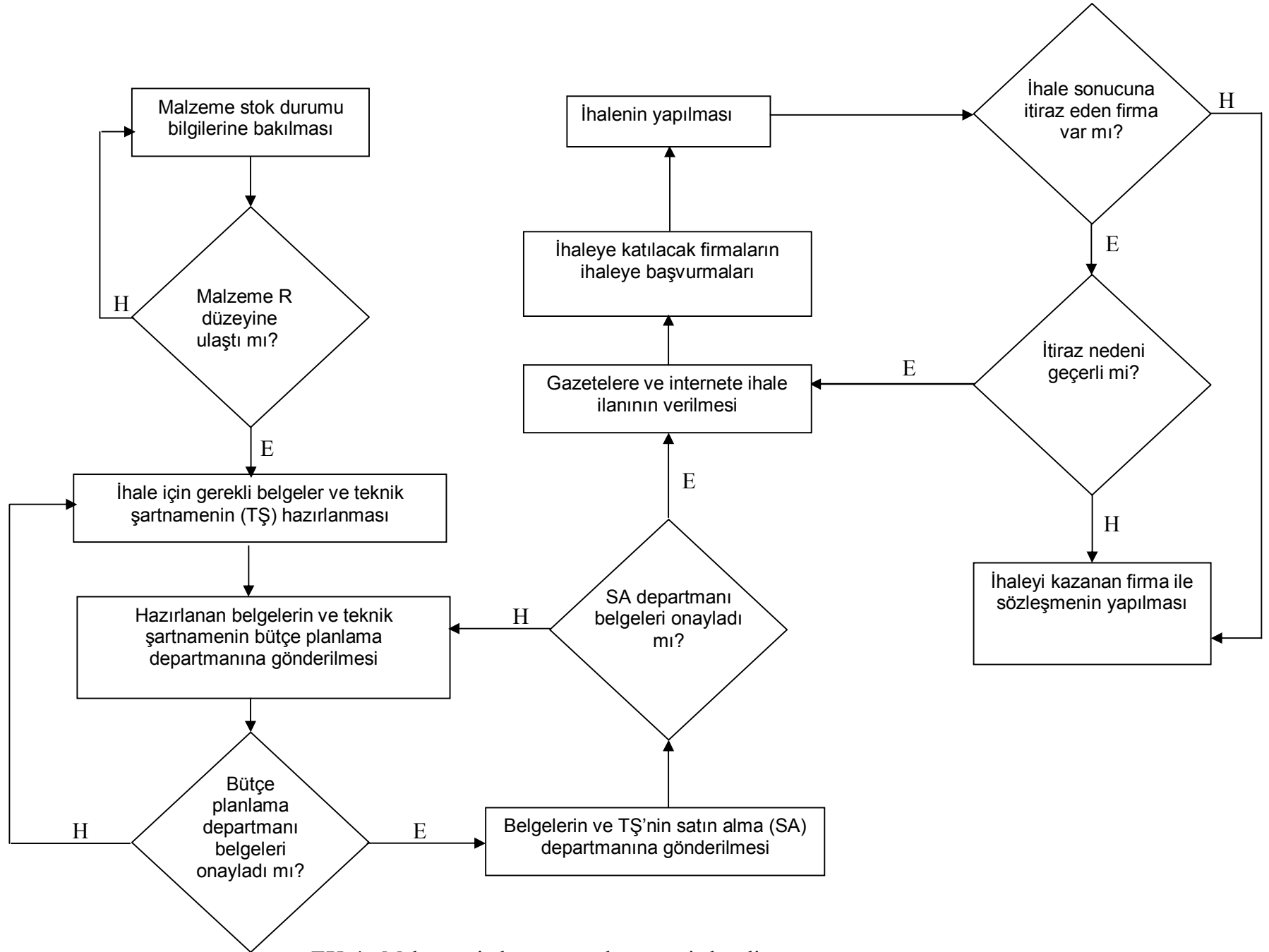
Düzey1 Akış Şeması



Düzey2 Akış Şeması

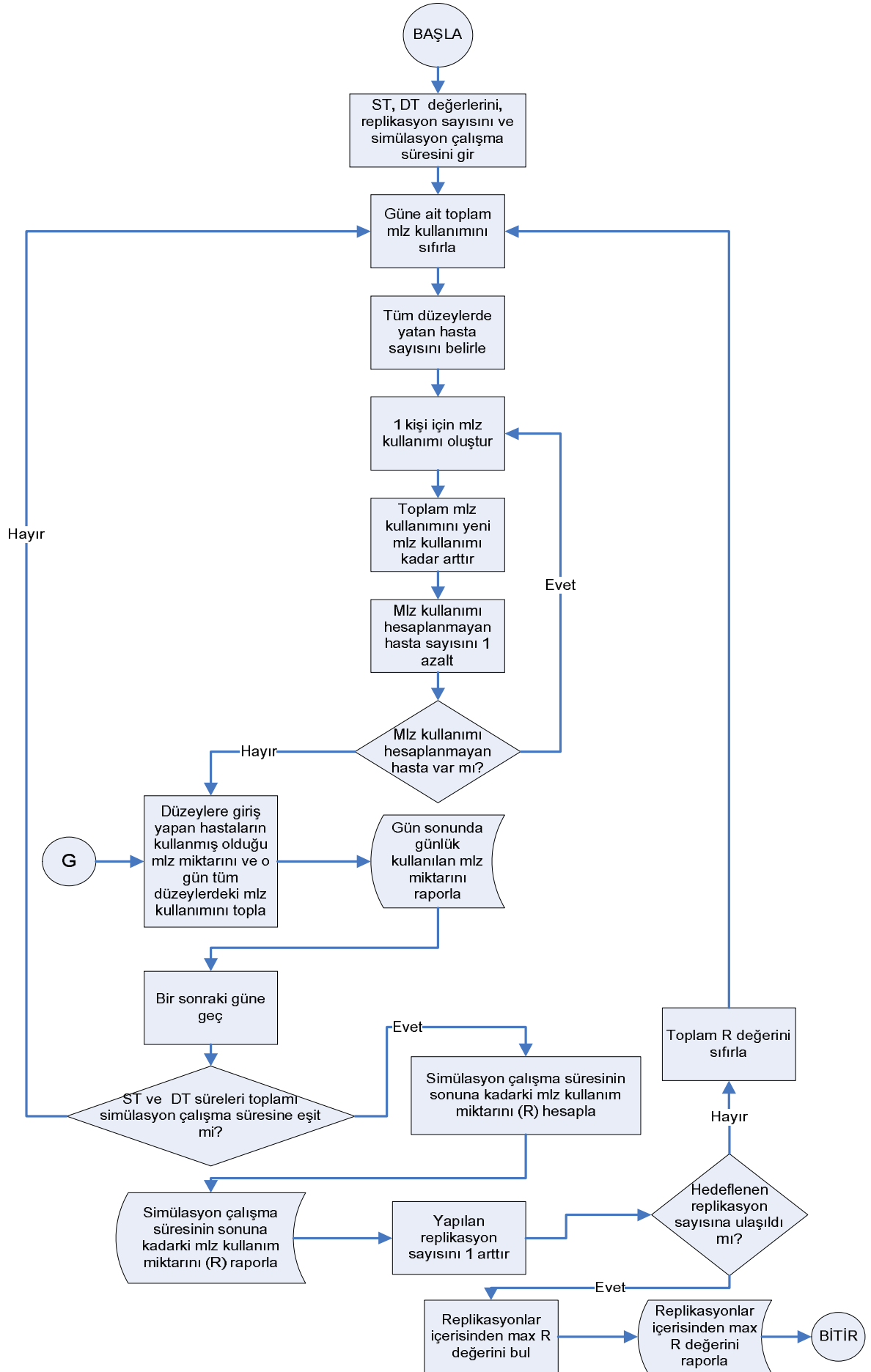


Düzyey3 Akış Şeması

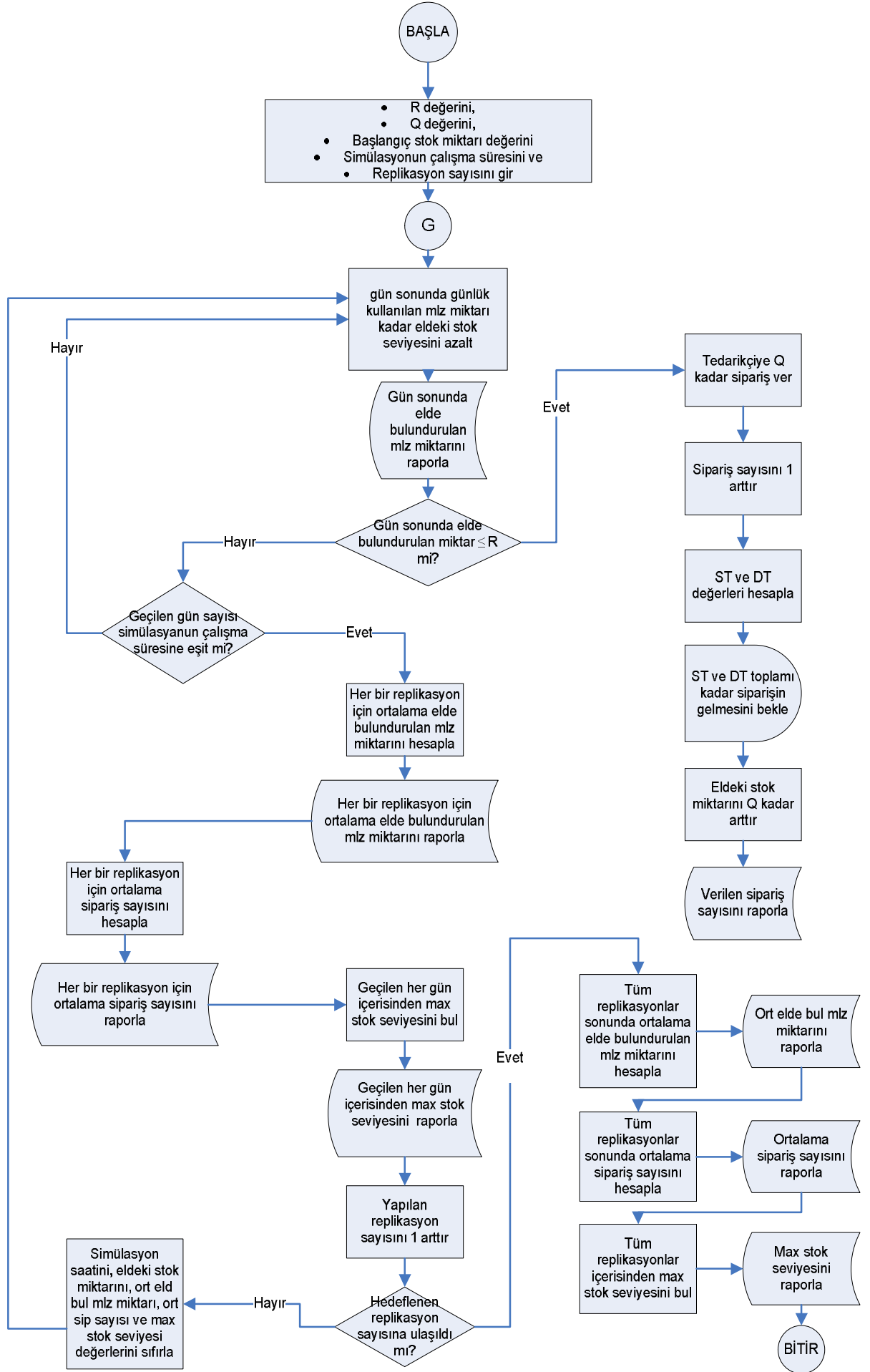


EK-4: Malzemenin hastaneye alım süreci akış diyagramı

EK-5: İlk Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı



EK-6: İkinci Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı



EK-7: YSO İçin Veri Seti

	Yatak Sayısı			Servis Düzeyi Oranı			Yatak Doluluk Oranı		
	Düzey1	Düzey2	Düzey3	Düzey1	Düzey2	Düzey3	Düzey1	Düzey2	Düzey3
1	12	8	10	59,94	73,92	90,44	75,92	77,58	57,57
2	12	10	15	58,92	83,84	99,07	76,35	73,41	40,89
3	2	5	15	7,43	51,1	97,35	87,81	83,43	51,01
4	22	5	15	90,9	51	98,8	59,03	83,6	43,37
5	12	13	13	58,9	93,77	97,76	76,26	64,76	45,55
6	17	10	13	79,24	83,06	97,71	67,83	74	45,68
7	2	15	10	8,06	97,48	86,27	86,41	56,99	63,61
8	17	8	8	80,69	73,41	81,08	66,5	77,66	64,06
9	12	13	8	60,75	94,37	82,19	75,33	63,28	62,87
10	7	10	8	34,73	85,53	79,87	81,78	71,33	65,78
11	2	10	10	8,05	84,72	85,8	86,6	72,19	64,29
12	22	5	10	91,42	50,96	89,37	58,12	83,3	59,15
13	7	13	13	33	94,17	97,16	82,52	63,95	48,19
14	12	8	13	59,15	73,63	97,31	76,32	77,93	47,47
15	2	5	10	7,93	51,8	84,46	87,19	82,78	66,22
16	12	15	15	58,73	97,08	99,2	76,32	58,74	39,7
17	17	8	10	79,81	72,99	90,71	67,33	78,14	56,88
18	17	13	8	80,49	93,83	82,51	66,63	64,46	62,15
19	17	13	13	79,18	93,23	97,91	67,87	65,74	44,72
20	7	8	13	33,28	74,27	96,71	82,53	77,49	49,86
21	2	15	15	7,74	97,13	98,04	86,77	58,44	47,93
22	12	10	5	63,76	85,53	56,64	73,49	70,54	73,52
23	7	8	10	33,87	74,63	89,19	82,24	77,09	59,8
24	22	15	5	92,87	97,41	57,33	54,87	56,85	72,19
25	7	10	10	33,83	84,99	89,72	82,21	72,15	58,91
26	12	5	15	58,8	52,13	98,73	76,53	83,14	43,97
27	12	13	10	59,5	93,99	91,48	75,92	64,22	55,64
28	17	13	10	79,67	93,53	91,83	67,41	65,22	54,81
29	2	10	15	7,71	83,8	97,9	87,01	73,23	48,67
30	2	5	5	9,59	53,33	49,54	85,34	81,01	79,12
31	12	10	13	59,05	83,99	97,59	76,28	73,23	46,45
32	2	10	5	9,41	86,61	50,04	85,19	68,9	78,32
33	22	15	15	91,01	96,59	99,3	58,67	60,58	38,76
34	12	5	5	64,3	52,54	54,53	73,26	81,63	75,42
35	22	10	10	91,4	82,86	91,33	57,98	74,11	55,69
36	17	10	10	79,84	83,45	91,34	67,35	73,6	55,78
37	12	15	5	63,37	97,91	57,27	73,63	54,9	72,88
38	17	10	8	80,71	83,9	81,75	66,54	73,03	63,07
39	22	15	10	91,36	96,74	92,04	58,03	59,94	54,33
40	17	8	13	79,18	72,76	97,44	67,89	78,44	46,83
41	12	8	8	61,17	74,32	80,84	75,24	77,04	64,56
42	12	5	10	59,97	52,29	89,2	75,96	82,81	59,69
43	7	8	8	34,92	75,12	79,31	81,78	76,48	66,54
44	7	13	10	33,55	94,43	90,11	82,2	63,2	58,23
45	22	10	5	92,97	84,06	56,44	54,76	71,99	73,12
46	7	10	13	33,18	84,56	96,98	82,51	72,67	48,88
47	12	15	10	59,51	97,3	91,61	75,94	58,02	55,38
48	7	13	8	34,52	94,88	80,36	81,76	62,15	65,14
49	2	15	5	9,32	98,18	50,06	85,14	52,86	78,08
50	12	10	10	59,82	84,25	91,01	75,93	72,84	56,49
51	12	10	8	60,97	84,67	81,49	75,29	72,2	63,67
52	22	10	15	91,02	82,49	99,16	58,65	74,55	40,05
53	22	5	5	92,96	50,91	53,83	54,63	82,31	75,27