

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STOKASTİK VE GÜRBÜZ MODEL ÖNERİLERİ İLE BELİRSİZLİK
ALTINDA TAM ZAMANINDA TEDARİK ZİNCİRİNİN
TASARLANMASI

Beren GÜRSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Selin SONER KARA

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STOKASTİK VE GÜRBÜZ MODEL ÖENERİLERİ İLE BELİRSİZLİK
ALTINDA TAM ZAMANINDA TEDARİK ZİNCİRİNİN
TASARLANMASI**

Beren GÜRSOY tarafından hazırlanan tez çalışması 05.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selin SONER KARA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selin SONER KARA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ, Üye
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan ALTUNTAŞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Selin SONER KARA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Stokastik ve Gürbüz Model Önerileri ile Belirsizlik Altında Tam Zamanında Tedarik Zincirinin Tasarlanması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Beren GÜRSOY

İmza

Bu çalışma literatürde gittikçe popülerleşen tedarik zinciri ağ tasarım konusuna yalın üretim sistemlerinin bir parçası olan tam zamanında kavramının entegre edilmesiyle ağ tasarım problemlerine yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Çalışmada bir fındık işleme tesisinin tedarik zinciri ağ yapısı ele alınarak tam zamanında teslimatı sağlaması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirirken firmanın tercih ettiği hammadde kalitesi incelenerek tam zamanında teslimatın gerçekleşmesinde hammadde kalitesinin etkisi de araştırılmıştır. Hammadde kalitesi ve talepte yaşanan belirsizlikleri ortadan kaldırmak içinse stokastik ve gürbüz programlama yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma boyunca beni yönlendiren ve bilgilerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Selin SONER KARA'ya ve uygulama kapsamında kullanılan verilerin toplanmasında yardımcı olan Sayın Mustafa CAN Bey'e yardımları için teşekkür ederim.

Eğitim hayatımı sonuna kadar destekleyen babam Durmuş'a, annem Seval'e, ablam Berna'ya ve yeğenim Defne'ye, ayrıca yüksek lisans tezimin bitmesinde bana motivasyon sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ'a teşekkür ederim.

Beren GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
2 TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE AĞ TASARIMI	4
2.1 Tedarik Zinciri Kavramı.....	4
2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi	5
2.2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Temel Fonksiyonları	5
2.2.2 Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişim Süreci	6
2.2.3 Tedarik Zinciri Yönetiminin Faydaları	7
2.3 Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı.....	8
2.3.1 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Bileşenleri	9
2.3.2 Tedarik Zinciri Ağ Tasarımının Aşamaları.....	11
2.3.3 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Modelleri	12
2.4 Tam Zamanında Tedarik Zinciri	14
2.4.1 Tam Zamanında Kavramı ve Felsefesi.....	14
2.4.2 Tedarik Zincirinde Tam Zamanında Kavramı.....	16
2.4.3 Tam Zamanında Tedarik Zinciri için Ağ Tasarımı	16
2.4.4 Tam Zamanında Dağıtım için Kalite ve Teslim Zamanının Önemi	17
3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	18
3.1 Tam Zamanında Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü.....	18
3.2 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Literatürü	22
4 KULLANILAN YÖNTEMLER	31
4.1 Stokastik Programlama Yöntemi	31
4.1.1 Stokastik Programlamada Kavramlar	33
4.1.2 İki Aşamalı Stokastik Programlama	34
4.1.3 Stokastik Programlamada Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri..	36

4.1.4 Stokastik Programlamada Stokastik Çözümün Değeri	37
4.2 Gürbüz Optimizasyon Yöntemi.....	38
4.2.1 Belirsiz Doğrusal Optimizasyon Probleminin Gürbüz Eşdeğeri	39
4.2.2 Gürbüz Optimizasyonda Belirsizlik Kümeleri	41
4.2.2.1 Kutu Belirsizlik Kümesi	41
4.2.2.2 Elipsoid Belirsizlik Kümesi.....	41
4.2.2.3 Polihedral Belirsizlik Kümesi	42
4.2.3 Belirsizlik Kümelerinin Kombinasyonları ve Gürbüz Eşdeğerleri ..	42
4.2.3.1 Aralık Belirsizlik Kümesi ve Eşdeğer Modeli	43
4.2.3.2 Aralık-Elipsoid Belirsizlik Kümesi ve Eşdeğer Modeli	44
4.2.3.3 Aralık-Polihedral Belirsizlik Kümesi ve Gürbüz Eşdeğeri	44
5 UYGULAMA	46
5.1 Uygulamanın Kapsamı ve Amacı	46
5.2 Problemin ve Modellerin Tanımlanması.....	46
5.2.1 Deterministik Model Formülasyonu.....	48
5.2.2 Stokastik Model Formülasyonu.....	53
5.2.3 Gürbüz Model Formülasyonu	57
5.3 Uygulama Kullanılan Verileri	62
5.4 Sonuçlar.....	69
5.4.1 Deterministik Modelin Sonuçları	69
5.4.2 Stokastik Modelin Sonuçları	73
5.4.2.1 Senaryo Analizleri.....	74
5.4.3 Gürbüz Modelin Sonuçları.....	77
5.4.3.1 Duyarlılık Analizi	81
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	84
KAYNAKÇA	87
A SENARYOLARDAKİ YENİDEN İŞLEME ORANLARI	93
B PERAKENDECİDE OLUŞAN STOK MALİYETİ	94
C PERAKENDECİDE OLUŞAN YOKSATMA MALİYETİ	96
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	98

SİMGE LİSTESİ

U_{Int}	Aralık belirsizlik kümesi
$U_{Int+Ell}$	Aralık-Elipsoid belirsizlik kümesi
$U_{Int+Pol}$	Aralık-Polihedral belirsizlik kümesi
$\bar{\xi}$	Beklenen değer
$x(\bar{\xi})$	Beklenen değer çözümü
ε_{ij}	Belirsizliğin yüklendiği rastlantı değişkenleri
Ω	Çıktılar kümesi
OC_{kp}	Dağıtım merkezlerinin açılış maliyeti
k	Dağıtım merkezi kümesi
T_{klp}^5	Dağıtım merkezinden perakendeciye maksimum teslim zamanı
T_{klp}^6	Dağıtım merkezinden perakendeciye minimum teslim zamanı
Z_{klp}	Dağıtım merkezinden perakendeciye taşınan ürün miktarı
C_{klp}^3	Dağıtım merkezinden perakendeciye taşınan ürünün birim taşıma maliyet
TS_{klp}	Dağıtım merkezinden perakendeciye ürünün teslim zamanı
I_{kp}^1	Dağıtım merkezinin stok bulundurma maliyeti
K_{kp}^3	Dağıtım merkezinin stok kapasitesi
S_{kp}^1	Dağıtım merkezinin stok miktarı
U_2	Elipsoid belirsizlik kümesi
Ω	Elipsoid belirsizlik kümesinin ayarlama parametresi
$\tilde{c}_j$	Gürbüz modelin amaç fonksiyonundaki belirsiz parametresi
c_j	Gürbüz modelin amaç fonksiyonundaki nominal değeri
$\hat{c}_j$	Gürbüz modelin amaç fonksiyonundaki pozitif sabit dalgalanmaları
Γ_q	Gürbüz modelde belirsizlik kümesini sağlayan ayarlama parametresi
p_q^1	Gürbüz model eşdeğerini sağlayan pozitif değişken
q_q^1	Gürbüz model eşdeğerini sağlayan pozitif değişken
y_{ijqp}^2	Gürbüz model eşdeğerini sağlayan pozitif değişken
$\tilde{b}_i$	Gürbüz modelin sağ taraftaki belirsiz parametresi
b_i	Gürbüz modelin sağ taraftaki nominal değeri

$\hat{b}_i$	Gürbüz modelin sağ taraftaki pozitif sabit dalgalanmaları
$\tilde{a}_{ij}$	Gürbüz modelin sol taraftaki belirsiz parametresi
a_{ij}	Gürbüz modelin sol taraftaki nominal değeri
$\hat{a}_{ij}$	Gürbüz modelin sol taraftaki pozitif sabit dalgalanmaları
$\widehat{a}_q$	Gürbüz modeldeki nominal değerin sapma miktarı
YN_{jqp}	Hammadde kalitesine göre yeniden işleme maliyeti
T_{jqp}^3	Hammaddenin yeniden işleme süresi
J_i	i . kısıttaki belirsiz katsayıların kümesi
P_{iqp}	i . tedarikçiden q . kalitedeki hammaddeyi satın alma maliyeti
q	Kalite düzeyi kümesi
O_{kp}	k . dağıtım merkezinin açılıp açılmama kararını veren değişken
U_∞	Kutu belirsizlik kümesi
Ψ	Kutu belirsizlik kümesinin ayarlama parametresi
D_{lp}	l . perakendecinin talep miktarı
T_{lp}^7	Perakendeciye gelen ürünün toplam teslim süresi
W_{klp}	Perakendecilerin hangi dağıtım merkezinden hizmet aldığını belirleyen değişken
l	Perakendeci kümesi
S_{lp}^2	Perakendecinin stok miktarı
I_{lp}^2	Perakendecinin stok bulundurma maliyeti
B_{lp}	Perakendecinin ürünü yoksatma ceza maliyeti
YM_{lp}	Perakendecinin yok sattığı ürün miktarı
Y_{lp}^1	Perakendecide yoksatma durumunu belirten değişken
p	Periyot kümesi
U_1	Poliheral belirsizlik kümesi
Γ	Poliheral belirsizlik kümesinin ayarlama parametresi
RQ_q	q . kalitedeki hammaddenin yeniden işleme oranı
ξ	Rassal değişken
ξ^k	Rassal değişkenler için olasılık dağılımı
ω	Rassal deneyin çıktıları
$\xi(\omega)$	Rassal deneyden elde edilen rassal değişken
s	Senaryo kümesi
H_s	s . senaryonun gerçekleşme olasılığı

x	Stokastik modelin birinci aşama değişkenleri
$x(\xi)$	Stokastik modelin herhangi bir optimal çözümü
c^T	Stokastik modelin ikinci aşama amaç fonksiyonu katsayısı
$Q(x)$	Stokastik modelin ikinci aşama değer fonksiyonu
y	Stokastik modelin ikinci aşama değişkenleri
$q(\omega)$	Stokastik modelin ikinci aşama probleminin amaç fonksiyonu katsayısı
$h(\omega)$	Stokastik modelin ikinci aşama probleminin sağ taraf katsayısı
$T(\omega)$	Stokastik modelin ikinci aşama probleminin sol taraf katsayısı
K_{iqp}^1	Tedarikçilerin hammadde kapasitesi
i	Tedarikçi kümesi
X_{ijqp}	Tedarikçiden üretim merkezine taşınan hammadde miktarı
C_{ijqp}^1	Tedarikçiden üretim merkezine taşınan ürünün birim taşıma maliyeti
T_{ijp}^1	Tedarikçiden üretim merkezine ürünün teslim zamanı
C_{jqp}^2	Üretim merkezinden dağıtım merkezine taşınan ürünün birim taşıma maliyeti
Y_{jqp}	Üretim merkezinden dağıtım merkezine taşınan ürün miktarı
T_{jqp}^4	Üretim merkezinden dağıtım merkezine teslim zamanı
U_{jp}	Üretim merkezinin kg başına üretim maliyeti
j	Üretim merkezi kümesi
T_{jp}^2	Ürünün üretim süresi
K_{jp}^2	Üretim merkezinin üretim kapasitesi
R_{jqp}	Üretim merkezinde yeniden işlenen hammadde miktarı

KISALTMA LİSTESİ

BD	Beklenen Değer
BDÇBD	Beklenen Değer Çözümünün Beklenen Değeri
BG	Bekle ve Gör
BŞ	Burada ve Şimdi
DM	Dağıtım Merkezi
DESGA	Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması
MİP	Malzeme İhtiyaç Planlama
SÇD	Stokastik Çözümün Değeri
TZT	Tam Zamanında Tedarik
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
GAMS	The General Algebraic Modelling System

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tedarik Zinciri Yapısı	5
Şekil 2.2 Tedarik Zinciri Yönetiminin Temel Fonksiyonları[6]	6
Şekil 2.3 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Aşamaları[12]	12
Şekil 2.4 Tam Zamanında Felsefesi[15]	15
Şekil 4.1 Deterministik Optimizasyon Süreci [36]	31
Şekil 4.2 Stokastik Optimizasyon Süreci [36]	32
Şekil 4.3 Belirsizlik Kümelerinin Gösterimi[70]	43
Şekil 5.1 İşletmenin Tedarik Zinciri Ağ Yapısı.....	47
Şekil 5.2 Talep Verilerinin Dağılımı	67
Şekil 5.3 Farklı Sayıdaki Senaryo analizi	77
Şekil 5.4 Belirsizlik değerlerine göre amaç fonksiyonu	79
Şekil 5.5 Yeniden işleme oranlarına göre kısıtların sağlanmama olasılığı	80
Şekil 5.6 Gürbüzlük fiyatı	81
Şekil 5.7 Deterministik Modelden Sapma Miktarı	82
Şekil 5.8 Temin Edilen Hammadde Miktarlarının Değişimi.....	83

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 Model açıklamaları	48
Tablo 5.2 Tedarikçilerden üretim merkezine gerçekleşen taşımanın maliyeti	62
Tablo 5.3 Üretim merkezinden DM'ye gerçekleşen taşımanın maliyeti	63
Tablo 5.4 DM'den perakendecilere taşımların maliyeti ve minimum ulaşım süresi.....	63
Tablo 5.5 Farklı kalitedeki hammaddelerin satın alma maliyeti (TL/kg)	65
Tablo 5.6 Tedarikçi ve dağıtım merkezi kapasiteleri	66
Tablo 5.7 Hammaddelerin yeniden işleme maliyeti	66
Tablo 5.8 Dağıtım merkezlerinin sabit maliyeti	66
Tablo 5.9 Tedarikçi ve dağıtım merkezine temin süresi	67
Tablo 5.10 Deterministik modelin talep verileri (kg)	67
Tablo 5.11 Deterministik modelin özeti.....	69
Tablo 5.12 Giresun kalite hammaddeden temin edilen miktar.....	70
Tablo 5.13 Levant kalite hammaddeden temin edilen miktar	70
Tablo 5.14 Yeniden işlenen hammadde miktarı (kg)	70
Tablo 5.15 Perakendecilerin hizmet aldığı dağıtım merkezleri ve temin süreleri.....	71
Tablo 5.16 Stokastik modelin özeti.....	73
Tablo 5.17 Senaryolara göre temin edilen hammaddelerin yüzdelik oranları	73
Tablo 5.18 Senaryoların analiz sonuçları.....	74
Tablo 5.19 Eşitsizlikler	76
Tablo 5.20 Farklı sayıda senaryoların analizi	76
Tablo 5.21 Gürbüz Modelin Özeti.....	78
Tablo 5.22 Giresun kalite hammaddeden temin edilen miktar(kg)	78
Tablo 5.23 Levant kalite hammaddeden temin edilen miktar(kg).....	78

Tablo 5.24 Sapma değerlerine göre gerçekleşen değişimler.....81

Tablo 5.25 Sapma değerlerine göre temin edilen hammadde miktarları.....83



Stokastik ve Gürbüz Model Önerileri ile Belirsizlik Altında Tam Zamanında Tedarik Zincirinin Tasarlanması

Beren GÜRSOY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Selin SONER KARA

Tedarikçilerden hammadde temini ile başlayan ve ürünlerin müşterilere teslimatına varıncaya kadar bütün dağıtım süreçlerini kapsayan tedarik zinciri yönetimi işletmelerin giderek önem verdiği bir konu haline gelmiştir. İşletmelerin tedarik zinciri yönetiminde dikkat etmesi gereken en önemli unsurlardan birisi de ağ tasarımıdır. Ağ tasarım problemleri tedarik zinciri yönetiminde işletmelerin stratejik seviyede alması gereken kararları içerdiği için en baştan ağın verimli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Tedarik zinciri ağı işletmelerin belirlediği amaçlar doğrultusunda tasarlanmaktadır. Değişen koşullar bu amaçları değiştirirken ağ tasarım problemlerinde uygulanan anlayışları da değiştirmektedir. Müşteri memnuniyetini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalar tedarik zinciri ağ tasarım problemlerini de etkilemektedir. Bu değişikliklerden biri de üretim faaliyetlerinde uygulanan “Tam Zamanında” anlayışının tedarik zinciri boyunca uygulanmasıdır.

Bu çalışmada da fındık işleme tesisinin tedarik zinciri ağına tam zamanında anlayışı uygulanarak doğru ürünün doğru zamanda doğru müşteriye gereksiz maliyet yaratmadan ulaşmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Bu amaç

doğrultusunda 4 tedarikçi, 1 üretim merkezi, 4 olası dağıtım merkezi ve 51 perakendeciden oluşan tedarik zinciri ağı için çok periyotlu karma tamsayılı optimizasyon modeli önerilmiştir. Stokastik ve gürbüz programlama yöntemleri kullanılarak hammadde kalitesi ve talepteki belirsizlikler ile başa çıkılmıştır. Deterministik model, stokastik model ve aralık-poliheral belirsizlik kümesine sahip gürbüz model GAMS 23.5 paket programı ile çözülmüştür. Her bir modelin sonucu değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar sıralı olarak sonuçlar kısmında verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri ağ tasarımı, tam zamanında, stokastik programlama, gürbüz programlama, optimizasyon modeli



Designing Just-in-Time Supply Chain Under Uncertainty with Stochastic and Robust Model Suggestions

Beren GÜRSOY

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Selin SONER KARA

The supply chain management starting with the supply of raw materials from suppliers and covers all distribution processes until the delivery of the products to the customers has become an issue that enterprises have given an increasing attention over decades. With that in mind, one of the most critical elements that enterprises should consider is network design. Since the network design problems involve the decisions that enterprises need to make at the strategic level in supply chain management, the network must be designed efficiently from the very beginning. The supply chain network is designed in accordance with the goals determined by the enterprises. That being case, these aims vary according to the conditions, which affect the approaches used for designing networks. Efforts to increase customer satisfaction have an impact on supply chain network design problems as well. One of these changes is the implementation of the "Just in Time" approach applied in production activities throughout the supply chain.

In this study, it is aimed to ensure that the right product reaches the right customer at the right time without causing unnecessary costs by applying the understanding of the supply chain network of the Hazelnut Processing Plant on

time. For this purpose, a multi-period mixed-integer optimization model has been developed for the supply chain network consisting of four suppliers, one production center, four possible distribution centers, and 51 retailers. The uncertainties caused by raw material quality and demand are considered by employing Stochastic and Robust Programming methods. Deterministic model, stochastic model, and robust optimization model with interval-polyhedral uncertainty set are solved by employing GAMS 23.5 optimization program. The results of each model are evaluated and given respectively within the conclusion section.

Keywords: Supply chain network design, just-in-time, stochastic programming, robust programming, optimization model

1.1 Literatür Özeti

Geçmişten günümüze tedarik zinciri kavramı önemini giderek arttırmış ve işletmeler için kritik unsurlardan biri haline gelmiştir. Tedarikçiden müşteriye kadar uzanan karmaşık ve birbiriyle ilişkili süreçler içeren tedarik zinciri yönetimi işletmelerin rakipleri karşısında rekabet avantajı kazanmaları açısından da oldukça önemlidir. Bu nedenle işletmelerin tedarik zincirlerini sağlam bir şekilde tasarlamaları gerekmektedir. Uzun vadede oluşturulan stratejik planlar içinde yer alan tedarik zinciri ağ tasarımı literatürde de önemli bir çalışma konusu olmuştur. Bu kapsamda yapılan birçok çalışmada amaç tedarik zinciri boyunca maliyetin minimum veya kârın maksimum yapılması olarak belirlenmiştir. Fakat giderek artan rekabet nedeniyle tedarik zinciri ağ tasarım konusunda tercih edilen stratejilerde farklılık göstermeye başlamıştır. Artık işletmeler ağ tasarımını gerçekleştirirken amacını çevreyi korumaya veya müşteri memnuniyetini arttırmaya yöneltmektedir. Bunu gerçekleştirmek içinse tedarik zinciri ağ tasarım problemleri çeşitli yöntemlerle birleştirilmektedir. Bu yöntemlerden birisi de Totaya firması tarafından ortaya atılan ve üretim sistemlerinde kullanılan Just-in-Time anlayışıdır. Bu anlayışa göre gereksiz faaliyetler ve israf oluşturacak unsurların hepsi ortadan kaldırılarak maliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Tedarik zinciri ağında bu amacı uygulamak gereksiz maliyetleri ortadan kaldırırken zamanında ve kaliteli ürün teslimatı ile de müşteri memnuniyetinin artmasını sağlamaktadır. Tam zamanında tedarik zinciri ağ tasarım problemleri alanında yapılan çalışmalarda maliyet minimizasyonunun yanı sıra erken ve geç teslimatların sayısı veya meydana getirdiği ceza maliyetlerini minimum yapmak amaçlanmaktadır.

Bu konuda literatürde yeteri kadar çalışmanın bulunmaması nedeniyle bu tez kapsamında tam zamanında tedarik zinciri ağ tasarım problemi üzerine çalışılmıştır. Ele alınan problem için önerilen deterministik optimizasyon modeli belirsiz parametrelerin dahil olmasıyla Stokastik ve Gürbüz modele

dönüştürülmüştür. Modellerin GAMS 23.5 optimizasyon programında çözümünden elde edilen sonuçlar ise karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin konusunun, amacının ve savunduğu hipotezin yer aldığı giriş bölümü bulunmaktadır. İkinci bölümde tedarik zinciri ve yönetimine dair temel kavramlar anlatılmaktadır. Tedarik zinciri ağ tasarımı ve tam zamanında tedarik zincirinde yer alan unsurlarda ikinci bölümde yer almaktadır. Tezinin üçüncü bölümünde tedarik zinciri ağ tasarım problemi ve tam zamanında tedarik zinciri ağ tasarım problemleri üzerine literatürde yer alan çalışmalara değinilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmada önerilen modellerin çözümü için kullanılan stokastik ve gürbüz programlama yöntemleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise uygulama yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle ele alınan problem tanımlanmıştır. Daha sonra problem için önerilen deterministik, stokastik ve gürbüz model formülasyonları anlatılarak uygulama verilerine yer verilmiştir. Kullanılan çözüm yöntemleri sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve tartışılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada tedarik zinciri ağ tasarım problemlerine yalın üretim sistemlerinin bir parçası olan tam zamanında üretim (TZÜ) felsefesinin uygulanması amaçlanmıştır. Üretim sistemlerinde sıkça kullanılan “Tam zamanında” kavramının tedarik zinciri boyunca uygulanarak talep edilen ürünlerin gereksiz maliyet oluşturmadan istenilen kalitede ve istenilen zamanda müşteriye teslim edilmesi üzerine çok aşamalı, çok periyotlu karma tamsayılı bir model önerilmiştir. Bu kapsamda bir fındık işleme tesisinin tedarik zinciri ağına Just-in-Time anlayışı uygulanmış olup firmanın tercih ettiği hammadde kalitesi incelenmiştir. Önerilen deterministik modele talep ve hammadde kalitesi belirsizliği eklenerek gerçek hayat probleminin ele alınması sağlanmıştır. Belirsizlikleri çözümlmek içinse stokastik ve gürbüz programlama çözüm yöntemleri kullanılmış ve çözülen modellerin sonuçları karşılaştırılarak modelin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

1.3 Hipotez

Tam zamanında tedarik (TZT) anlayışını uygulamaya çalışan tedarik zinciri ağında tam zamanında teslimatı sağlamak için kaliteli hammaddenin tercih edilebilirliği daha yüksektir. Bu hipotezi desteklemek için uygulamada önerilen deterministik, stokastik ve gürbüz modellerin sonuçları birbirini desteklemektedir. En kötü durum senaryosuna odaklanan gürbüz modelin en yüksek amaç fonksiyonuna sahip olması beklenirken verilerin kesin olduğu deterministik modelin ise en düşük amaç fonksiyonuna sahip olması beklenmektedir.



Bu bölümde tedarik zinciri kavramının temel konularına, tedarik zinciri yönetimine ve gelişim süreçlerine değinilmiştir. Tedarik zincirinde ağ tasarımı kavramı, ağ tasarım bileşenleri, aşamaları ve modelleri anlatılmıştır. Daha sonra ise çalışmanın ana konusu olan tam zamanında tedarik zinciri başlığı altında; TZZT kavramı anlatılarak tam zamanında tedarik ve dağıtım için kalite ve teslim zamanının önemi vurgulanmıştır.

2.1 Tedarik Zinciri Kavramı

Tedarik zinciri, müşteri taleplerini belirlemek ve karşılamak üzere sadece tedarikçilerden ve üreticilerden oluşmayan; taşımacıları, depoları, perakendecileri ve onun müşterilerini de içeren ilgili tüm taraflardan oluşmaktadır [1]. Bu zincir, hammaddenin tedarik edilmesi, hammaddelerin ürüne dönüştürülmesi, biten ürünlerin depolanması ve müşterilere gönderilmesi gibi çeşitli süreçleri içermektedir [2]. Tedarik zinciri kavramı, birçok çalışmanın araştırma konusu olmuştur. Bu nedenle literatürde tedarik zinciri kavramı için birçok farklı tanım bulmak mümkündür. Örneğin; Lee ve Billington, tedarik zincirini hammadde temini yapan, onları ara mal ve nihai ürünlere çeviren ve nihai ürünleri müşterilere dağıtan, üretici ve dağıtıcıların oluşturduğu bir ağ olarak tanımlamaktadır [3]. Kopczak ise tedarik zincirinin tedarikçiler, lojistik destek sağlayıcılar, imalatçılar, dağıtımıcılar ve perakendeciler gibi elemanları bir arada bulunduran ve bu elemanlar arasında malzeme, ürün ve bilgi akışının sağlandığı bir kümeden oluştuğunu söylemektedir [4]. Bakıldığında hepsinin vurguladığı nokta tedarik zincirinde yer alan ve tedarik zinciri süreçlerini gerçekleştiren önemli elemanların olduğudur. Tedarik zincirinin yapısını oluşturan bu elemanlar Şekil 2.1' de verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere tedarikçilerden, üreticilerden, dağıtıcılardan, perakendecilerden ve onların müşterilerinden oluşan bu ağda elemanlar arasında iki yönlü olarak malzeme, bilgi ve para akışı gerçekleşmektedir. Genel tedarik zincirlerinde malzeme

tedarikçilerden müşterilere akarken para da müşterilerden tedarikçilere doğru akmaktadır. Geri dönüşlerin olduğu tedarik zincirlerinde ise hatalı malzemeler müşterilerden tedarikçilere akarken para ise tedarikçilerden müşterilere akmaktadır. Malzeme ve para akışının doğru bir şekilde gerçekleşmesi içinde bilgi akışının her iki yönde de doğru ve tam zamanında gerçekleşmesi gerekmektedir.



Şekil 2.1 Tedarik zinciri yapısı

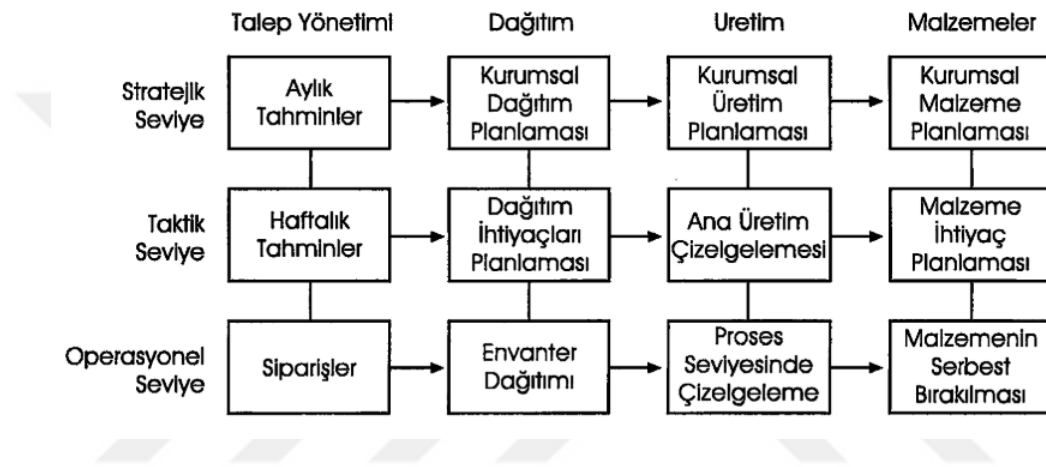
2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi, müşterilerin taleplerini karşılamak için tedarik zinciri içerisinde yer alan tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, perakendeciler ve müşteriler arasında gerçekleşen bütün süreçlerin ve akışların yönetilmesidir. Tedarik zinciri yönetiminde müşteri memnuniyetini arttırmak, çevrim zamanını azaltmak, stok ve faaliyet maliyetlerini azaltmak ve hataları minimum yapmak temel amaçları oluşturmaktadır. Bu amaçları gerçekleştirirken bilgi akışı ve haberleşme firmalar için oldukça önemli bir konu haline gelmektedir. Çünkü bilginin eş zamanlı ve doğru paylaşımı zincir etkinliğini ve rekabet avantajını arttırabilmektedir [5].

2.2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Temel Fonksiyonları

Müşteri taleplerini karşılamak için gerçekleşen tüm süreçlerin yönetilmesi anlamına gelen tedarik zinciri yönetimi; stratejik seviye, taktiksel seviye ve operasyonel seviye olmak üzere üç temel fonksiyonda incelenmektedir.

Şekil 2.2’de verilen seviyeler, kararların alınma süresi ve bu süre içinde alınma sıklığıyla birbirinden ayrılmaktadır. Stratejik seviyede, üretim yeri seçimi, en iyi kaynak bulma stratejileri gibi konular ele alınmaktadır. Bu seviyede alınan kararlar uzun dönemli olup kararların alınma sıklığı oldukça azdır. Taktiksel seviyede, planlama, tahmin yürütme, temin süresi kısa olan malzemelerin siparişi ve mesai sürelerinin çizelgelendirilmesi gibi konular üzerinde durulmaktadır. Operasyonel seviyede ise envanter dağıtımı, detaylı çizelgeleme ve bir makine bozulduğu zaman bir siparişin ne yapılacağı gibi kısa dönemli günlük kararlar alınmaktadır [6].



Şekil 2.2 Tedarik zinciri yönetiminin temel fonksiyonları[6]

2.2.2 Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişim Süreci

Başlangıcı 1960’ lara kadar uzanan, tedarik zinciri yönetiminin temel aşaması olan fiziksel dağıtım aşaması ile ilgili ilk vurgulama Bowersox tarafından yapılmıştır. Bowersox, fiziksel dağıtım aşaması ile ilgili gözlemlerine ek olarak, dağıtım fonksiyonunun kanal-içi entegrasyonla firmalara rekabet avantajı sağlayacağını da öne sürmüştür [5].

1970’lerde Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) sisteminin tanıtılması ile süreç içi çalışmaların; üretim maliyeti, kalite ve teslimde tedarik zamanı üzerine olan etkisinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu dönemde firmalar kendi içlerinde dağıtım faaliyetlerini yürütecek merkezi bir fiziksel dağıtım bölümü oluşturmuş ve her bir faaliyeti bütünüyle ele alan lojistik sisteminin birleştirilmesi gerektiğini anlamışlardır. Böylece sistemin maliyetini bir bütün olarak inceleyen tüm lojistik hizmetleri maliyeti yaklaşımı geliştirilmiştir [5].

1980’lerde rekabet ortamının yoğunlaşması şirketleri düşük maliyetli, yüksek kaliteli ve tasarım esnekliği olan ürünler ortaya çıkarmaya zorlamıştır. Üreticiler çevrim zamanlarında iyileştirme sağlamak ve üretim verimliliğini artırmak için tam zamanında üretim gibi yönetim tekniklerini kullanmaya başlamışlardır. Ayrıca alıcı ile tedarikçi arasındaki iletişimin ve işbirliğinin önemi anlaşılmış ve üreticilerin tedarikçileriyle kurdukları stratejik işbirlikleri sonucunda tedarik zinciri yönetimi fikri ortaya çıkmıştır [7].

1990’larda Tedarik Zinciri Yönetimi Aşaması adıyla literatürde yerini alan bu fikir ile yöneticiler yalnızca kendi firmalarını yönetmenin yeterli olmadığını farkına varmışlardır. Artık kendilerine girdi sağlayan yukarı yöndeki bütün firmalar ile ürünleri son müşteriye ulaştıran aşağı yöndeki tüm firmaların yer aldığı zincirin bütününe yönetmeye başlamış, müşteri memnuniyetini sağlamak içinse bütün üyelerle işbirliği yollarını geliştirmeye çalışmışlardır [5].

2.2.3 Tedarik Zinciri Yönetiminin Faydaları

Üretimin tedarik sorunlarından kaynaklı bir problemden dolayı aksamaması için tüm tedarik sürecinin koordinasyonunu sağlayan Tedarik Zinciri Yönetimi, firmalara birçok fayda sağlamaktadır [8]. Zincir boyunca işletmeler arasında bilgi alışverişi sağlayarak, işletmelerin belirlediği hedefleri gerçekleştirmelerinde yardımcı olan tedarik zinciri yönetiminin firmalara sağladığı katkıları şu şekilde sıralayabiliriz [9];

- Teslimat performansında iyileşme
- Envanter seviyesinin azaltılması ve envanter üzerinde daha yüksek kontrolün sağlanması
- Talep tahmin doğruluğunun artması
- Tedarik çevrim zamanının kısalması
- Toplam tedarik zinciri maliyetlerinin azaltılması
- Verimlilik ve kapasite kullanım oranında artış
- Kalitenin ve hizmet seviyesinin artması
- Müşteri memnuniyetinin ve bağlılığının artması
- Operasyonel karışıklıkların azalması
- Bekleme ve gecikmelerin azaltılması

Tedarik zinciri yönetimi, faaliyetlerin birbirleriyle uyumlu, bütünleşik ve yüksek performanslı olmalarını sağlarken fiyat, kalite ve teknoloji gibi rekabet avantajı sağlayan unsurlarında geliştirilmesinde rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra alıcı ve tedarikçi arasında iletişimi sağlayarak işletme vizyonunun en iyi stratejilerle birleştirilmesine de yardımcı olmaktadır. Tedarik zinciri yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması ile veri doğruluk oranının artması, operasyonel kompleksliğin azaltılması, satınalma, depolama, dağıtım ve tedarikçi seçimi gibi tüm süreçlerin geliştirilmesi sağlanarak işletme performansına olumlu yönde katkılar yapılabilir [10].

2.3 Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

Tedarik zinciri ağı, tedarik zincirini oluşturan tedarikçi, üretici, dağıtım merkezi, perakendeci ve müşterilerin birbirleriyle olan ilişkilerini, zincir içindeki sistemleri, alt sistemleri, operasyonları ve süreçleri kapsayan karmaşık bir yapıdan meydana gelmektedir. Bu karmaşık yapının tasarımının yapılması, modellenmesi ve gerçekleştirilmesi işletmelere etkinlik ve verimlilik açısından rakiplerine göre üstünlük sağlamada yardımcı olmaktadır [11].

Tedarik zinciri ağ tasarımı, müşterinin talep ettiği ürünlerin kaynak noktasından müşteriye ulaşana kadar meydana gelen akışların nasıl gerçekleşeceğini belirlenmesini sağlar. Bu amaçla kurulan modeller tesis sayısı ve yerini, tesislerde gerekli olan ürün çeşitlerini ve açılan tesislerden yararlanacak müşterileri, tesisler arasında gerçekleşen taşıma miktarlarını ve tesislerde bulunan stok miktarlarını belirlemektedir. Tesislerin sayısı, büyüklüğü ve konumlarının, müşteri hizmet gereksinimleri ile üretim, satınalma, stok, tesis ve taşıma maliyetlerinin analizi sonucunda da tedarik zinciri toplam maliyeti etkili bir şekilde belirlenmektedir [12].

Ağ tasarım kararları tedarik zinciri biçimini tanımladığı, tedarik zinciri maliyeti gibi konularda diğer tedarik zincirlerine kısıtlar oluşturduğu ve diğer süreçlerdeki kararları etkilediği için tedarik zinciri performansı açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Tedarik zincirindeki tesislerin rolü, değişken müşteri taleplerinin karşılanmasında esnekliği belirlediği için oldukça önemlidir. Çünkü bir tesisin açılıp açılmama kararı, tesislerin açılması maliyet açısından

oldukça yüksek olduğu için, tedarik zinciri performansında uzun süreli etkilere neden olmaktadır. Ayrıca ağ tasarımı alın kararlrlar ile yapılan arz kaynaklarının ve pazarların etkin dağılımı, tedarik zincirindeki toplam üretkenliği, stok ve taşımacılık maliyetlerini doğrudan etkilediğinden tedarik zinciri performansını da etkilemektedir [1].

2.3.1 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Bileşenleri

Tedarik zinciri ağ tasarımı amaçlar, kısıtlar ve karar değişkenleri olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Ağ tasarımı öncelikle amaçların belirlenmesi gerekir. Amaçlar istenen bir tedarik zinciri ağının oluşmasında ana etkenlerden biridir. Belirlenen amaçlara göre tedarik zinciri ağı şekillenir ve amaçların ne kadarının gerçekleştiğine bakılarak ağın performansı ölçülür. Tedarik zinciri ağ tasarımı firmaların aldığı stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar ağın amaç fonksiyonunun oluşmasında rol oynamaktadır. Bu kararlardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [13];

- Müşteri hizmet seviyesi: Müşteri hizmet seviyesindeki değişiklikler maliyet ve müşteri memnuniyeti arasındaki ikilemin oluşmasına neden olur. Bu nedenle en uygun hizmet seviyesinin belirlenmesi oldukça önemlidir.
- Envanter yönetimi: İşletmelerin aldığı sipariş miktarı, sipariş zamanları ve emniyet stok miktarının belirlenmesi gibi operasyonel kararları içermektedir.
- Taşıma kararları: Bu kararlar, araç rotalarının, taşıma modu ve miktarlarının, taşıma büyüklüğünün belirlenmesi gibi kararlardan oluşmaktadır.
- Üretim kararları: Hangi ürünün nerede ve ne kadar üretileceği, ürünlerin üretilmesinde kullanılan teknolojilerin belirlenmesi gibi kararların alındığı stratejik kararlardır.
- Dağıtım stratejileri: Tedarik zinciri içinde tedarikçiden üreticiye, perakendeciden müşterilere gerçekleşen dağıtımları ilgilendiren kararlardır.

Tedarik zinciri ağ tasarımı belirlenen karar değişkenleri, istenilen ağın oluşmasında verilen kararların sınırlarını belirlemektedir. Tedarik zinciri ağının

performans ölçümleri karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak ifade edildiğinden karar değişkenleri tedarik zinciri ile ilişkili fonksiyonel performansın artmasına katkı sağlamaktadır. Ağ tasarımı için alınan bazı karar değişkenleri şu şekilde ifade edilebilir [14];

- Yer: Bu değişkenler tesislerin ve tedarik kaynaklarının nerede konumlandırılacağı ile ilgi alınacak kararlarda etkili olmaktadır.
- Yerleşim: Hangi fabrikadan hangi müşteriye, pazar dilimine ve tedarikçiye hizmet verileceğinin belirlenmesine yardımcı olan karar değişkenidir.
- Şebeke/Ağ yapısı: Bu karar değişkenleri tedarik zinciri ağının merkezileştirilmesi ya da merkezden uzaklaştırılması kararlarının alınmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca üretim ve dağıtım kaynaklarının tam zamanında kullanılması ya da elimine edilmesi esasında da dayanmaktadır.
- Tesis ve Teçhizat Sayısı: Müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan fabrika, depo, makine ve birleşim noktası sayılarının belirlenmesinde kullanılan karar değişkenleridir.
- Aşama- Katman sayısı: Bu değişken, tedarik zinciri içerisinde bulunan aşamaların sayısını belirlemektedir.
- Hizmet Sıklığı: Dağıtım araçlarının dağıtım-getiri çizelgesini veya rotalarını belirleyen değişkendir.
- Miktar: Tedarik zincirinin her aşamasında en uygun satınalma, üretim ve akış miktarının belirlenmesini sağlayan karar değişkenidir.
- Stok Seviyesi: Hammadde, bölüm, iş süreci, nihai ürün ve stok tutma seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan karar değişkenidir.
- İş Gücü miktarı: Bu değişken üretimde ve dağıtımda kullanılan iş gücünün sayısının belirlenmesini sağlamaktadır.
- Dış kaynak kullanımı: Firmaların hangi hizmet için hangi dış kaynakları kullanmaları gerektiğini, dış kaynak kullanım süresini bu değişken ile belirlemektedir.

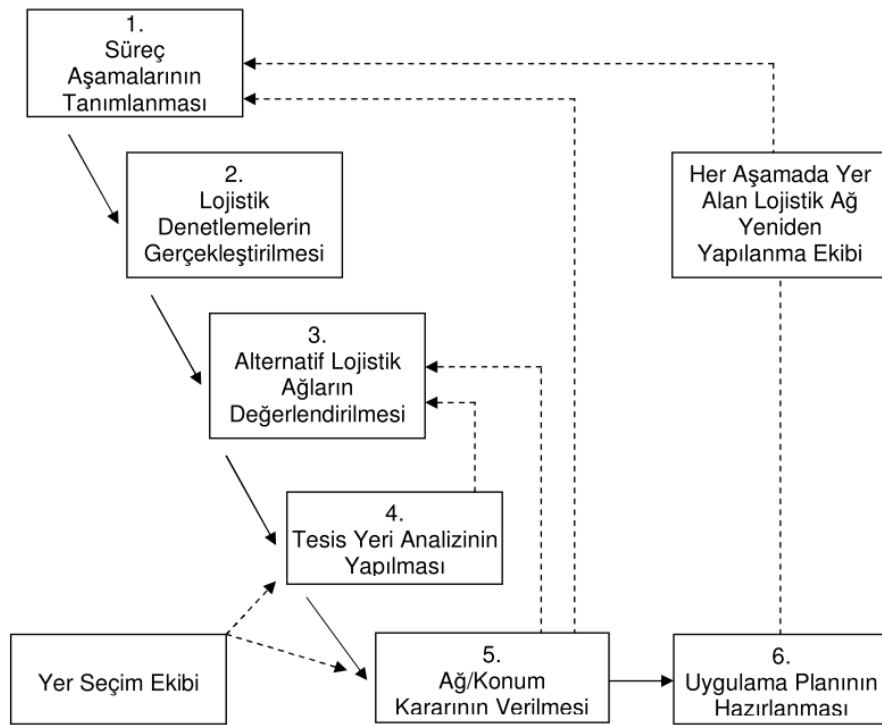
Tedarik zinciri ağ tasarımında kısıtlar ise işletmelerin belirlediği karar alternatiflerinin yapılabilirliklerini göstermektedir. Bu kısıtları şu şekilde özetlemek mümkündür [14];

- **Kapasite:** Tedarik zincirinde bulunan elemanların üretim, tedarik, finans, teknik, iş gücü, sermaye yatırımı ve bilişim teknolojileri adaptasyonu gibi konulardaki yeterliliklerini belirlemektedir.
- **Hizmet Uyumı:** Dağıtım zamanları, üretim süresi, bekleme süreleri ve taşıma süreleri gibi müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen konulardaki kısıttır.
- **Talep kapsamı/miktarı:** Tedarik zinciri kademelerindeki kapasiteleri ve akışları dengelemek amacıyla müşteri taleplerinin miktarını arttırılmış tüketim doğrultusunda dengelenmesini sağlayan kısıttır.

2.3.2 Tedarik Zinciri Ağ Tasarımının Aşamaları

Tedarik zinciri ağ tasarımı yapısı gereği karmaşık süreçlerden oluşmaktadır. Etkin bir ağ tasarımının yapılabilmesi için bu süreçlerin doğru ve eksiksiz bir şekilde tanımlanması ve birbirleriyle eş zamanlı planlanması gerekmektedir. Bu amaçla ağ tasarımı için kılavuz görevi gören, altı adımdan oluşan tedarik zinciri ağ tasarım aşamaları Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Birinci aşamada, tedarik zinciri ağ tasarım parametreleri ve hedefleri belirlenmektedir. Bu aşamada üst yönetimin beklentilerinin iyi anlaşılması ve bu doğrultuda hedeflerin belirlenmesi tasarım sürecinin etkin bir şekilde gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca tasarım sürecinde finansman, insan gücü gibi gerekli olan kaynaklarında iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Aksi halde ileriki aşamalarda kaynak yetersizliğinden meydana gelen hatalar çıkması mümkündür. İkinci aşamada gerçekleştirilen denetlemeler çalışmanın bir sonraki aşamalarında gerekli olan bilgilerin sağlanmasında yardımcı olmaktadır. Bu denetlemelerden sağlanan müşteri ihtiyaçları, mevcut lojistik ağ yapısı ve firmanın tedarik zincirindeki konumu, maliyet değerleri ve performans kriterleri, mevcut ve hedeflenen sistem arasındaki farklılıklar gibi bilgiler ağ tasarımının doğru ve eksiksiz bir şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır. Ağ alternatiflerinin belirlenmesi olan üçüncü aşamada, mevcut sisteme ve oluşturulan alternatif sistemlere sayısal modeller uygulanmaktadır. Bu uygulama ile belirlenen alternatiflerin maliyet etkinlikleri ve fonksiyonellikleri incelenerek amaçlara en uygun ağın belirlenmesi sağlanır. Daha sonra yapılan duyarlılık analizleri ile de seçilen alternatiflerin sınırları tespit edilmektedir. Dördüncü aşamada,

hedeflenen tedarik zinciri ağının belirlenmesiyle tesislerin kurulabileceği bölgelerin analizi yapılmaktadır. Müşteri ve pazarlara yakınlık, vergiler, arazi maliyetleri ve sağladığı yararlar gibi faktörler incelenerek tedarik zinciri ağı için ekonomik olmayan bölgeler elenir. Beşinci aşamada, belirlenen ağ yapısının ve tesis yerlerinin birinci aşamada belirlenen tasarım kriterlerine ve amaçlara uygunluğu değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda karar verilen ağ ve tesis yerleri altıncı aşamada uygulama planına aktarılır. Böylece hazırlanan uygulama planı mevcut tedarik zinciri ağından istenilen ağ yapısına geçilmesinde yol haritası görevi görmektedir [12].



Şekil 2.3 Tedarik zinciri ağ tasarım aşamaları[12]

2.3.3 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Modelleri

Tedarik zinciri ağ tasarımının etkili bir şekilde gerçekleşmesi için probleme uygun modellerin oluşturulması oldukça önemlidir. Bu aşamada modeller elde bulunan ağ tasarım bileşenleri ve veriler ışığında oluşturulmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar tedarik zinciri ağ tasarım modellerini çeşitli başlıklar altında sınıflandırmaktadır. Bu başlıkları, deterministik, stokastik, bulanık, sezgisel, simülasyon tabanlı ve melez modeller olarak özetlemek mümkündür.

Deterministik Modeller; Tüm parametrelerinin sabit ve karar verici tarafından kesin olarak bilindiğinin varsayıldığı, herhangi bir belirsizlik ve olasılığın bulunmadığı modellerdir. Bu modellerin büyük çoğunluğu karma tamsayılı programlama şeklinde oluşturulmaktadır [13].

Stokastik Modeller; Verilerdeki belirsizliklerden dolayı bu modellerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Uzun dönemli, stratejik planlamalarda sıkça kullanılan bu modellerde, yaklaşık veriler kullanılmaktadır. Bu da modellenen sistemleri daha karmaşık ve büyük boyutlu hale getirmektedir. Bu tür modeller sistemlerin gerçek hayattaki davranışlarına daha uygun modellerdir [13].

Bulanık Modeller; Bu modellerde belirsizlikler, kesin olmayan bilginin sayısal gösterimi olan bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Amaç fonksiyonları minimizasyon veya maksimizasyon yerine “maliyetin önemli ölçüde düşürülmesi” gibi belirsiz ifadeler kullanılarak oluşturulmaktadır. Bulanık modeller karar vericilerin bazı kısımları modele uygulayamama sorunlarını ortadan kaldırarak tedarik zinciri gibi karmaşık süreçlerin modellenmesinde büyük avantaj sağlamaktadır [13].

Simülasyon Tabanlı Modeller; Tedarik zinciri ağının bilgisayar ortamında modellenmesine ve maliyet ve hizmet özelliklerinin maliyetler, kısıtlar ve diğer faktörler değiştikçe değişen sonuçların gözlemlenmesine dayalı modellerdir. Sistemin kurulan modeli üzerinden örneklem deneylerinin gerçekleştirilmesini içermektedir [12].

Sezgisel Modeller; Tecrübeler dayalı gerçek faktörlerin dahil edildiği modellerdir. Genellikle büyük boyutlu problemlerin çözümüne olanak sağlamaktadır. Büyük boyutlu problemlerin en uygun sürede çözümünü sağlayan bu modeller mutlak suretle optimal çözümü sağlayamamaktadır. En düşük maliyetli konumlandırma problemlerine olumlu yaklaşımlar ve tahminler sunmaktadır [12].

Melez Modeller; Tedarik zinciri ağ tasarımı modellerinin (Deterministik, Stokastik, bulanık, sezgisel ve simülasyon tabanlı) iki veya daha fazla olmak üzere birlikte kullanıldıkları model türleridir.

2.4 Tam Zamanında Tedarik Zinciri

Günümüzde oldukça önemli bir yere sahip olan bu kavram başlangıçta üretim şekli olarak uygulamaya konmuştur. Fakat uygulanma şeklinden dolayı tüm fonksiyonları incelediği için zaman geçtikçe dağıtım, depolama gibi tedarik zincirinin bütün aşamalarında yerini almıştır. Bu bölümde de TZT felsefesinin tarihine ve ilkelerine değinerek kullanıldığı her yerde yarattığı faydalar ve tedarik zincirindeki yeri anlatılmaktadır.

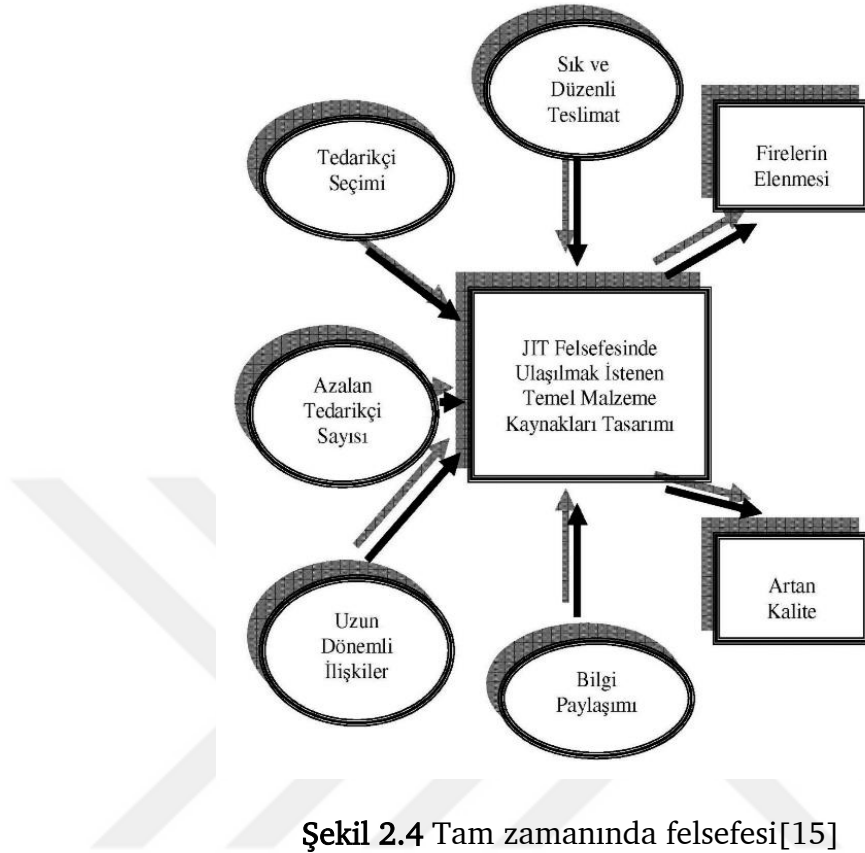
2.4.1 Tam Zamanında Kavramı ve Felsefesi

“Tam Zamanında ” kavramı, Toyota Motor Fabrikası başkanı Taiichi Ohno’nun yönetiminde ikinci dünya savaşından sonra uygulamaya konan bir Japon felsefesidir. Tam zamanında, ürünün değerini arttırmayan tüm unsurları israf olarak gören, işletmelerin insan kaynakları kullanım oranını arttırıp değişken maliyetleri azaltmayı hedefleyen ve bunu yaparken kaliteden ödün vermeden etkili ve etkin bir stok yönetim politikası oluşturmayı amaçlayan bir felsefesidir [15]. Bu felsefe istenilen ürünün istenilen zamanda, istenilen yerde ve istenilen miktarda üretilmesini, israfların azaltılırken kalitenin arttırılmasını sağlamaktadır. Tam zamanında felsefesi, israfın ortadan kaldırılması, sürekli kalite iyileştirmesi ve operasyon planlama ve uygulamasına çalışanların katılımının teşvik edilmesi olmak üzere üç temel ilkeye dayanmaktadır [16]. İsrafın ortadan kaldırılması ilkesinde yer alan en önemli yedi israfı şu şekilde sıralamak mümkündür [15];

- Fazla üretimden kaynaklanan israf
- Beklemeden kaynaklanan israf
- Ulaştırmadan kaynaklanan israf
- Stoktan kaynaklanan israf
- Süreçten kaynaklanan israf
- Hareket israfı
- Hatalı üründen kaynaklanan israf

Bu israfları ortadan kaldırmayı amaçlayan tam zamanında bununla birlikte malzeme ihtiyacı tespitinden üretime, üretimden ürünün dağıtılmasına ve son

kullanıcıya kadar olan tüm sürecinde sürekli, dengeli ve tam zamanında gerçekleşmesini sağlamaya çalışmaktadır [15].



Şekil 2.4 Tam zamanında felsefesi[15]

Şekil 2.4' te gösterildiği gibi tam zamanında felsefesi işletmelerde gereksiz faaliyetlerin, taşımaların ve stokların azalmasına yardım ederek maliyetlerde önemli miktarda azalma sağlamaktadır. Ayrıca toplam akış süresindeki azalmalar, üretim miktarındaki artışlar, teçhizat ve iş gücü kullanım oranındaki artmalar sayesinde işletmelerde verimlilik hızlı bir artış göstermektedir. Tüm bunları gerçekleştiren tam zamanında, kaliteye verdiği önem sayesinde müşteri memnuniyetinde de önemli artışlar sağlamaktadır [15]. Tam zamanında felsefesi uygulanırken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da Şekil 4'te olduğu gibi bilgi paylaşımıdır. Süreçlerin tam zamanında gerçekleşmesi için bilgi paylaşımı oldukça önemlidir. Bu kapsamda tam zamanında üretimi gerçekleştirirken bilgi paylaşımını kolayca sağlamak için ürünle ilgili her bilgiyi içeren, ürünün kimlik kartı olarak da ifade edilen Kanban sistemi oluşturulmuştur. Kanban sistemi ile ürünler için sadece gerekli parçalar, gerekli miktarda ve gerektiği zaman

üretilmektedir. Böylece birbirine bağlanan prosesler arasında ara stok da meydana gelmemektedir [8].

2.4.2 Tedarik Zincirinde Tam Zamanında Kavramı

Tam zamanında kavramı sadece üretim ile ilgili konularda değil, malzeme temininden depolamaya, bakım oranından mühendislik tasarımına, satıştan üst yönetime kadar üretim sistemlerinin diğer alanlardaki iletişimiyle de ilgilenmektedir. Çünkü tam zamanında aslında tüm sistemin zaman ve kaynak israflarını önlemeyi, israfları ortadan kaldırmak yoluyla iş verimliliğini sağlamayı ve sürekli iyileştirmeyi amaçlayan bir stratejidir. Özetle tam zamanında, sürekli iyileştirmelerle ve tüm birimlerin katılımıyla minimum maliyet ve maksimum müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçlayan bir felsefedir [17]. Bu nedenle tedarik zinciri içerisinde de “tam zamanında” kavramının kullanılması tüm sistemler için oldukça önemlidir. Çünkü tedarik zinciri, üretimin aksamadan çalışmasında ve ürünlerin müşterilere ulaştırılmasındaki görevi üstlenmektedir. Bu görevi yerine getirirken tam zamanında ilkelerinin uygulanması verimli dağıtım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu felsefe ile her tedarikçinin doğru miktarda ürünü doğru zamanda doğru yere tedarik etmesi sağlanmaktadır [18]. Böylece tedarik zinciri maliyetlerinin büyük bölümünü içeren envanter kontrolü ve dağıtım planlaması gibi temel lojistik süreçlerin oluşturduğu maliyetler büyük ölçüde azalırken müşterilerin hizmet seviyesi ve memnuniyeti büyük oranda artmaktadır [19].

2.4.3 Tam Zamanında Tedarik Zinciri için Ağ Tasarımı

Tam zamanında felsefesi, tedarik zinciri ağ yapısının oluşturulması sırasında da farklılıklar göstermektedir. Tam zamanında tedarik zincirlerinde, klasik tedarik zinciri ağ yapısında kullanılan amaçlar, kısıtlar ve karar değişkenlerinin yanı sıra tam zamanında dağıtımı ve kusursuz kaliteyi sağlamak adına ek amaç fonksiyonları, kısıtlar ve karar değişkenleri kullanılmaktadır. Tam zamanında kavramı tedarik zinciri ağ tasarım modellerinin amaç fonksiyonlarında genellikle erken/geç teslimatlardan ve kalitesizlik durumundan kaynaklanan ceza maliyetleri olarak dâhil edilir [20]. Bazı çok amaçlı kurulan modellerde maliyet minimizasyonuna ek olarak erken veya geç teslimat sayılarının minimizasyonu

da amaç fonksiyonuna yansıtılmaktadır. Tam zamanında kullanılan kısıtlarda ise tedarik zincirinde kullanılan kısıtların yanı sıra teslim süresi ve stok miktarı gibi kısıtlar eklenerek israfların ve gecikmelerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Tam zamanında felsefesini sağlamak için kullanılan karar değişkenlerinde ise hatalı ve hatasız ürün miktarı, tedarikçi ve tesis yeri seçiminde kullanılan kriterler ve teslim zamanı gibi kararları görmek mümkündür.

2.4.4 Tam Zamanında Dağıtım için Kalite ve Teslim Zamanının Önemi

Gelen malzemeden üretime, üretimden teslimatlara kadar gerçekleşen operasyon süreçlerinin tüm yönlerini birleştirmeye çalışan JIT, israf azaltma ve üretimde katma değer artırma yoluyla verimliliği arttırmak için geliştirilmiştir. Bu amaçla tam zamanında anlayışının başarılı olması için işletmelerin kaynağında kaliteli ürünler üretmesi gerekmektedir. Yani “ilk seferde doğru yapmak” tam zamanında başarının anahtarını oluşturmaktadır [21]. Aksine tek seferde kaliteli ürüne ulaşmayan işletmeler daha sonraki süreçlerde ürünün kalitesizliğinden kaynaklanan birçok maliyetle karşı karşıya kalabilmektedir. Bunun yanı sıra kalitesiz ürünün müşteriye ulaşması durumunda meydana gelen müşteri memnuniyetsizliği işletmeler için müşteri kaybına bile yol açabilmektedir. Tedarik zincirinde JIT ilkelerinin uygulanması ile dağıtımda teslimat zamanları da önemli bir yer edinmiştir. Çünkü ürünün erken teslimi sonucunda tedarikçide, üreticide ya da perakendecide ürününün müşteriye teslimine kadar geçen sürede depolama maliyeti oluşabilir. Ürünün geç teslim edilmesi ise müşteri kayıplarına neden olabilir. Bu nedenle teslimatların hem erken hem de geç teslim edilmesi durumunda işletmeler için ceza maliyetleri oluşabilir [22].

Tedarik zinciri ağ tasarımı literatüründe birçok çalışma yer almaktadır. Son yıllarda bu konuda çalışma sayısı da giderek artmaktadır. Tam zamanında üretimin tedarik zincirine entegre edildiği çalışmalar ise yeni gelişmekte olan bir konudur. Bu bölümde de tedarik zinciri ağ tasarım problemleri üzerine çalışan ve JIT kavramını tedarik zinciri ağ tasarım problemlerinde kullanan çalışmalara yer verilmiştir.

3.1 Tam Zamanında Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü

Ghasimi ve Ghodsi [23], 2009 yılında yaptıkları çalışmada tam zamanlı lojistik felsefesini benimseyen üç seviyeli tedarik zincirinde bozulabilir ürünler için üç yeni envanter modeli sunmaktadır. Birinci modelde tüm malların müşterilere zamanında teslim edildiği ve hiçbir bozulmanın meydana gelmediği varsayılarak sade bir model oluşturulmuştur. İkinci modelde ürünlerin bazılarının müşteriye teslim edilmeden bozulduğunu ve zarar gören ürünlerin maliyetlerini içeren daha gerçekçi bir model ortaya konmuştur. Üçüncü modelde ise son kullanma tarihi yaklaşan ürünlerin satış fiyatının azaltıldığı durumlar göz önünde bulundurulmuştur. Sunulan modellerde üretim, taşıma, koruma, erken ve geç teslimat ve işlenen malların maliyetini içeren tüm tedarik zincirinin toplam maliyetini minimize etmek amaçlanmaktadır. Önerilen modelleri incelemek için farklı boyutlarda rastgele üretilen on örnek problem Genetik Algoritma ve CPLEX çözücüsü kullanılarak çözümlenmiştir. Her iki yaklaşımında beklenen sonuçları verdiği gözlemlenmiş ve modellerin doğruluğu gösterilmiştir.

Wang, Fung ve Chai [24], yaptıkları çalışmada sınırlı tedarik kapasitesi altındaki depolar ve perakendeciler arasında tam zamanında dağıtımı planlayan bir model önermektedir. Önerilen modelde amaç üretim ve taşıma maliyetlerinin yanı sıra erken ve geç teslim ceza maliyetlerini de minimize etmektir. Çalışmada kısıtlı tedarik kapasitesine sahip depoların perakendeci gereksinimlerini tam

zamanında karşılayamayacağı ve kapasite yetersizliğinde depoların ürünleri ya geç ya da erken teslim etmek zorunda kalacağı durumu incelenmektedir. Erken teslim edilmesi durumu perakendecide stok maliyeti oluşurken geç teslim etme durumunda ise perakendecide güvenilirlik kaybı ve tazminat ödemesine sebebiyet verebilir. Bu iki durumda oluşmaması için önerilen model matematiksel çıkarım kullanılarak doğrusal bir programlama problemine çevrilmiş ve simplex prosedürü ile çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sunulan modelin daha etkili dağıtım planı sunabileceğini göstermektedir.

Farahani ve Elahipanah [19], 2008 yılında yaptıkları çalışmada müşteri taleplerini zamanında karşılamanın maliyetleri düşüreceğini ve hizmet seviyesini arttıracaklarını vurgulayarak tam zamanında dağıtım yapan bir tedarik zinciri ağı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Çok dönemli, çok ürünli ve çok kanallı bu modelde maliyetlerin yanı sıra teslimat süreleri ve kapasite kısıtlamalarını da dikkate alan iki amaç oluşturulmuştur. Birinci amaç toplam taşıma, elde bulundurma ve satın alma maliyetlerini minimize ederken, ikinci amaç ise zamanında teslim edilmeyen ürün miktarı ve bu teslimatların ilgili teslim tarihlerini aştığı süreyi dikkate alarak erken teslim edilmesini ve gecikmesini en aza indirmektedir. Önerilen modelin küçük boyutlu problemleri LINGO optimizasyon programı ile çözümlenirken gerçek boyutlu büyük problemlerin çözümü içinse domine olmayan hibrit sınıflandırma genetik algoritması uygulanmıştır.

Wang ve Sarker [25], 2006 yılındaki çalışmalarında tam zamanında felsefesini uygulamak için kanban sisteminin kullanıldığı çok aşamalı bir tedarik zinciri sistemini incelemişlerdir. Karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama ile formüle edilen modelde amaç hammadde maliyetlerini, WIP maliyetlerini ve son ürün maliyetlerini içeren toplam tedarik zinciri maliyetini minimize etmektir. Kanban sayısını, parti büyüklüğünü ve parti sayısını da optimal olarak belirleyen model dal ve sınır algoritması ile çözümlenmiştir. Dal sınır algoritmasıyla oluşan büyük hesaplama süresini ortadan kaldırmak içinde bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar tedarik zincirinde envanter, israf edilen işçilik ve müşteri hizmetlerinin azaltılmasındaki iyileştirmenin kanban mekanizması aracılığıyla önemli ölçüde başarıldığını göstermektedir.

Ghasimi, Ramli ve Saibani [26], tedarik zincirlerinde maliyet minimizasyonu ve uygun döngü uzunluğunun seçilmesi konularının kapsamlı incelenmediğinin tespiti üzerine 2013 yılında hatalı ürünlerin bulunduğu tedarik zinciri ağları için yeni bir matematiksel model ortaya koymuşlardır. Önerilen modelde, kusurlu kalitedeki ürünlerin tamamının tamir edilemez olduğu varsayılırken, hurda olarak kabul edilen bu ürünlerin doğrudan müşterilere düşük fiyattan satıldığı varsayılmaktadır. Modelde üretim, dağıtım, bakım, elde bulundurma, yok satma maliyetlerinin ve hatalı ürün miktarlarının minimizasyonu amaçlanmaktadır. Maliyetlerin minimize edilmesine ek olarak model, tam zamanında felsefesini kullanarak ekonomik üretim miktarını ve müşteri teslim süresinin önemine göre her döngünün uygun uzunluğunu belirleyebilmektedir. Modelin çözümü için CPLEX çözücüsü ve Genetik Algoritma kullanılmış ve modelin performansını göstermek için çıktılar karşılaştırılmıştır. Ayrıca her döngünün uygun uzunluğunun belirlenebilmesi için model aynı parametreler ve boyutlar kullanılarak LINGO programında çözümlenmiştir.

Memari, Ahmad ve Hassan [18], tam zamanında lojistik problemleri için genellikle küçük boyutlu ve deterministik problemlerin üzerinde durulduğuna dikkat çekerek 2017 yılında yayınladıkları makalede büyük ölçekli bir tam zamanında lojistik problemini çözümlmek için karma tamsayılı doğrusal optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde farklı belirsiz kaynaklarla baş etmek için uygulamadaki iki ana belirsizlik kaynağı olan müşteri talebi ve tedarikçi kapasiteleri üçgen bulanık parametreler olarak kabul edilmektedir. Önerilen modelde taşıma maliyetleri, stok tutma ve yok satma dahil toplam lojistik maliyetlerinin minimizasyonu hedeflenmektedir. Problemin çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Harmoni Arama algoritması uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Parçacık Sürü Optimizasyonunun performans ölçütlerine göre Harmoni Arama Algoritmasından daha verimli bir performans gösterdiği ortaya konmuştur. Her iki algoritma parametresi Yanıt Yüzeyi ve Taguchi yöntemi kullanılarak ayarlanmıştır.

Memari ve arkadaşları [22], 2016 yılında tam zamanında dağıtım politikasının karbon emisyonunu nasıl etkilediği üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada çok dönemli ve çok kademeli bir dağıtım ağında birden fazla ürünün

tam zamanında dağıtımı için iki amaçlı bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Kurulan modelde toplam lojistik maliyetini azaltmak ve dönem başına izin verilen maksimum karbon kotasını en aza indirmek amaçlanmaktadır. Modelin, karbon emisyon üst sınırının değiştirilmesi ile tam zamanında dağıtım kapsamında toplam maliyet ve emisyonlar üzerindeki etkisini göstermesi ve karbon emisyonunun sınırlandırıldığı durumlarda ise envanter bulundurma ve dönem başına yok satma seviyesi arasındaki ilişkileri analiz ederek yöneticilerin JIT dağıtım politikası ile ilgili kritik kararlar almasına yardımcı olması beklenmektedir. Çalışmada modelin çözümü için Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması-II (DESGA-II) yöntemi geliştirilmiş ve çözüm yaklaşımının daha da iyi sonuç vermesi için Ateş Böceği Algoritması ile hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Çeşitli boyutlardaki problemler ile DESGA-II hibrit yaklaşımı ve klasik genetik algoritma yöntemi karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş hibrit yaklaşımının sadece çözüm kalitesini iyileştirmekle kalmayıp ayrıca optimuma yakın sonuca ulaşım süresini de kısalttığı gözlemlenmiştir.

Yang, Ho ve Kao [27], 2016 yılındaki çalışmalarında lojistik modellerinin faydalarını arttırmak için belirsiz teslim süresi ve kusurlu kalite kısıtları altında tam zamanında envanter modelini öne sürmüşlerdir. Önerilen model, üretim akışının ve hata oranının sistem maliyetleri üzerindeki etkisini göstermek için bir örnek ile çözümlenmiştir. Çözüm yöntemi içinse karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Daha sonra parçacık sürü optimizasyonu ve LINGO’da uygulanan model karınca kolonisi algoritmasının daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Son olarak da araştırma sonuçlarının gerçek operasyonlarda karar vericileri destekleyen yönetsel yaklaşımlar sağlayabileceği belirtilmiştir.

Memari, Rahman ve Ahmad [28], 2014’teki çalışmalarında tedarik zinciri ağında tam zamanında dağıtım politikasının yanı sıra dağıtımın çevreye verdiği etkileri de göz önünde bulunduran karma tamsayılı doğrusal programlama modelini ele almışlardır. Model üreticiden dağıtım merkezine ve dağıtım merkezinden perakendecilere gerçekleşen dağıtımın teslim sürelerini optimize ederken tüm sistemin karbon emisyonunu minimize etmeyi amaçlamaktadır. Üretilen model çok amaçlı genetik algoritma ve DESGA-II olmak üzere iki çeşit genetik algoritma yöntemi ile çözülmüştür. Çözümünden elde edilen sonuçlar, karbon emisyon

miktarındaki azalmanın teslim süresini arttırdığı ve aynı şekilde teslim süresini azaltmaya çalışmanın da karbon emisyon miktarını arttırdığını göstermektedir. Sonuçta karar vericinin kabul edilebilir fizibil bir çözümü şirketin önceliklerine göre seçmesi gerektiği belirtilmiştir.

3.2 Tedarik Zinciri Ağ Tasarım Literatürü

Almaraj ve Trafalis [29], 2019 yılındaki çalışmalarında kusurlu kalite üretim kapsamında birden çok belirsizlik içeren kapalı döngü tedarik zinciri için ağ tasarım modelleri önermişlerdir. Çalışmada taramanın her zaman mükemmel olmadığı ve uygulamada kalite hatalarının daha olası olduğu varsayılmış ve ürünlerin spesifikasyon değerlerinden saparken kalite kaybı miktarları ölçülmüştür. Ele alınan problem için üç farklı belirsizlik içeren modeller gübüz optimizasyon yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Kurulan modellerde amaç toplam tedarik zinciri maliyetini minimize etmektir. Önerilen modellerin doğruluğunu göstermek için sayısal örnekler verilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışmanın kullanılmasıyla karar vericilerin kendi belirsizlikleri için gübüz modeller oluşturabileceğini göstermektedir.

Fattahi, Govindan, Keyvanshokoo [30], 2017 yılındaki çalışmalarında müşteri taleplerinin, teslimat sürelerine göre kendilerine hizmet veren tesislere bağlı olduğu çok dönemli bir tedarik zinciri ağ tasarım problemini ele almaktadır. Problemden müşteri talepleri stokastiktir ve tesislerin kapasitesi olası aksaklıklar nedeniyle de rastgele olarak değişmektedir. Önerilen modelde amaç, tedarik zinciri maliyetlerini en aza indirmek ve bazı kısıtlamalar ile tedarik zinciri duyarlılık riskini sınırlamak olarak belirlenmiştir. Çözüm yöntemi olarak geliştirilen çok aşamalı stokastik programlama ile aksaklıkların tesis kapasiteleri üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Modelin gerçek verilere ve rastgele oluşturulmuş problemlere uygulanması ile elde edilen sonuçlar, modelin uygulanabilirliğini, risk ölçüm politikalarının performansını ve belirlenen stratejilerin tedarik zincirinin dayanıklılığı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Fattahi, Govindan ve Keyvanshokoo [31], 2018 yılında müşteri taleplerinin farklı ürünler için stokastik ve fiyata bağlı olduğu çok dönemli bir tedarik zinciri ağının yeniden tasarımı üzerine çalışmışlardır. Çalışmada müşterilerin fiyata

duyarlı talepleri stokastik varsayılarak lokasyon, kapasite, fiyat, dağıtım ve talep karşılama kararlarını aynı anda veren çok aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. Müşteri taleplerindeki mevcut belirsizlik sınırlı bir senaryo seti ile modellenmiştir. Senaryolar latin hiperküp örnekleme yöntemi kullanılarak üretilmiş ve daha sonra uygun bir senaryo ağacı oluşturmak için ileri senaryo yapım tekniği kullanılmıştır. Modellerde tedarik zinciri gelirinin belirli bir planlama süresi boyunca maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Çok aşamalı stokastik programlama modeli karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli şeklinde formüle edilerek Benders Ayırıştırma Algoritması ile çözülmüştür. Sayısal sonuçlardan ise stokastik modelin önemi ve Bender Algoritmasının iyi performans gösterdiği elde edilmiştir.

Aldoukhı ve Gupta [32], sağladığı finansal ve çevresel katkılardan dolayı araştırmacıların dikkatini çeken kapalı döngü tedarik zinciri tasarımı üzerine çalışmışlardır. 2019 yılında yayınlanan makalelerinde aşağı yönlü ürün ikamesine izin verilen kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarlama modeline yer vermişlerdir. Önerilen modelde amaç toplam tedarik zinciri maliyetlerini minimize etmektir. Bunun yanı sıra karbon sınırı ve ticareti, karbon vergisi, karbon sınırı ve karbon dengesi politikası olmak üzere dört adet karbon düzenleme politikası da değerlendirilmiştir. Modelde ürün talebine ilişkin belirsizlik ve iade edilen ürün sayısı da dikkate alınmaktadır. Belirsizlikleri ortadan kaldırmak ve modeli çözmek için gürbüz optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda karbon üst sınırının, vergi değerinin, karbon satış ve satın alma fiyatlarının ve dengeleme fiyatının değiştirilmesiyle önerilen her bir senaryonun çözüm ve gürbüz çözüm değerinin etkileneceği gösterilmektedir.

Öndin [33], 2018 yılındaki tez çalışmasında ileri ve geri yönlü akışları dikkate alan bütünleşik lojistik ağ sistemine sahip üçüncü parti lojistik şirketinin ağ tasarımı üzerine çalışmıştır. Bu kapsamda kurulan modelde, mevcut toplama ve teslimat merkezlerinin açık ya da kapalı olması durumunun değerlendirilmesi, merkezler arasındaki gönderim miktarlarının ne olacağının belirlenmesi ve firmanın karının maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Çözüm yöntemi olarak deterministik, stokastik ve metasezgisel bir yöntem olan genetik algoritma

tabanlı bir model kullanılmıştır. Stokastik modelleme yöntemi talep belirsizliğini ortadan kaldırmak için kullanılmış ve deterministik modelleme yöntemi için sabit bir talep değeri oluşturmuştur. Genetik algoritma ile de optimum olmasa da optimale yakın bir değer elde edilmiştir. Daha sonra bu üç yöntemin sonuçları da ikili olarak birbirleriyle karşılaştırılmaktadır.

Alavi ve Jabbarzadeh [34], çalışmalarında ticaret ve banka kredisi finansman seçeneklerini tedarik zinciri ağ tasarım problemlerine dahil eden, Stokastik Gürbüz optimizasyon modeli sunmaktadır. Makalede, müşteri talebinin belirsiz olduğu durumlarda tedarik zinciri yapılandırma kararlarını ve finansman stratejilerini belirlemek için bir model önerilmiştir. Model finansman kararlarının yanı sıra tesislerin yeri ve sayısını belirlerken talep belirsizliği altında beklenen tedarik zinciri karını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Belirsizlikleri gidermek için kullanılan stokastik gürbüz optimizasyon modelinin yanı sıra problemin büyük ölçekli durumlarını çözmek için de lagrangian genişletmesi algoritması geliştirilmiştir. Sunulan model ve çözüm yöntemleri gerçek bir vakada uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarla ticari kredi ve banka kredisinin kullanılmasının tedarik zinciri karında önemli iyileşmelere yol açabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca yapılan vaka çalışmasından ticari kredinin banka kredisinden daha üstün olduğu da anlaşılmıştır.

Sadghiani, Torabi ve Sahebjamnia [35], çalışmalarında daha kararlı ağlara olan ihtiyacı karşılamak için sağlam ve dayanıklı ağlar tasarlama konusunu ele almışlardır. İlk olarak tedarik tesislerinin konumu, mağazalar için kapsama planı ve her mod için gerekli araç sayısı gibi kararları vermek üzere deterministik bir yerleşim modeli öne sürmüşlerdir. Daha sonra da bu modeli sağlam ve esnek bir perakende ağı tasarlamak için senaryo oluşturma ve kesinti profili oluşturma yoluyla olasılıklı senaryo temelli gürbüz modele genişletmişlerdir. Geliştirilen modellerin uygulanabilirliğini göstermek için rastgele oluşturulan örnekler ve gerçek bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar, belirsizlik altındaki çoklu yerleşim modelinin daha ayrıntılı senaryolar ürettiği için deterministik yerleşim modelinden daha iyi kapsama planı sağladığını göstermektedir. Ayrıca, bolluk ölçüsü olarak perakende mağazalarının birden

fazla yere yerleştirilmesinin ağın dayanıklılığını da önemli ölçüde arttırdığı da gözlemlenmiştir.

Ayvaz [36], 2013 yılında yayınladığı doktora tez çalışmasında, atık elektronik eşyaların geri dönüşümü için tersine lojistik ağ tasarım konusu kapsamında deterministik ve iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Deterministik modelde tüm parametrelerin bilindiği varsayılırken Stokastik modelde geri dönen ürün miktarı ve kalitesi belirsiz olarak varsayılmıştır. Toplam tedarik zinciri maliyetini minimize etmeyi amaçlayan modeller sayısal örnek ve gerçek veriler üzerinde uygulanmıştır. Uygulama sonuçları, önerilen Stokastik modelin ekonomik açıdan daha etkin olduğunu ve varsayılan belirsizlikleri gidererek çalışmanın karar vericilere yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Azaron, Venkatadri ve Doost [37], araştırmalarında belirsizlik altındaki tedarik zincirinde beklenen net bugünkü değeri maksimize etmek ve net bugünkü değer varyansını minimize etmek için çok amaçlı Stokastik programlama yaklaşımı kullanmışlardır. Modelde tedarik zincirinde üretim sahalarındaki üretim seviyelerinin, depolardaki envanter seviyelerinin, taşıma modlarının ve taşıma miktarlarının sadece bir dönemde değil, planlama süresi boyunca belirlendiği varsayılmıştır. Üretim tesislerindeki talep, işleme süreleri, ulaşım süreleri ve üretim sürelerinin farklı dağılımlara sahip olması nedeniyle de parametreler belirsizlik olarak kabul edilmiştir. Net bugünkü değer varyansı da Gürbüz modeli geliştirmek için modele ek bir amaç fonksiyonu olarak eklenmiştir. Ortaya çıkan çok amaçlı model E-kısıtlama metodu kullanılarak çözümlenmiştir.

Farrokh, Azar, Jandaghi ve Ahmadi [38], 2017 yılında hibrit belirsizlik altında geri dönüşüm ve bertaraf süreçlerinin de dâhil olduğu kapalı döngü tedarik zinciri modeli konusu üzerinde çalışmışlardır. Oluşturdukları karma tamsayılı doğrusal programlama modeli toplam tedarik zinciri maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada belirsizlik parametreleri; parametrelerin oluşma olasılıklarına göre senaryoya dahil edilmesi ve her bir senaryodaki değerlerinin olasılık dağılımlarına göre belirlenmesi olmak üzere iki yönüyle incelenmektedir. Belirsiz parametrelere dayalı bulanık senaryolarla başa çıkmak için de Gürbüz

bulanık stokastik programlama adı verilen yeni bir programlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen modelin performansı, simülasyon yoluyla ortalama maliyet ve değişkenlik açısından diğer modellerle karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar toplam değişkenliği azaltmada önerilen modelin diğer modellere göre üstün olduğunu göstermektedir.

Fattahi ve Govindan [39], çalışmalarında biyokütle arzının mevsimselliğini ve tesislerin kapasitesinin olası kesintiler nedeniyle rastgele değiştiği talep merkezlerini içeren biyoyakıt tedarik zinciri ağının tasarlanması ve planlanmasına odaklanmaktadır. Bu kapsamda oluşturulan modelde toplam tedarik zinciri maliyetinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir bir planlama oluşturmak için çevresel performanslar, sosyal beklentiler, sera gazı emisyonları ve ekonomik kalkınma gibi konularda dikkate alınmaktadır. Çalışmada önerilen modelin çözümü içinse çok aşamalı stokastik programlama yöntemi kullanılmaktadır. Gerçek vaka çalışması ile çözümlenen modelin sonuçları, kesinti riskinin ve sürdürülebilirlik boyutlarının biyoyakıt tedarik zinciri ağı planlaması üzerindeki etkisini göstermektedir. Tedarik zinciri maliyetleri arasında üretim ve taşıma maliyetlerinin geniş bir yere sahip olduğu da elde edilen sonuçlar arasındadır. Ayrıca, hammadde mevsimselliğinin ve belirsizliğin stratejik ve taktiksel planlama kararları üzerindeki yüksek etkisi de vurgulanmaktadır.

Baghalian, Rezapour ve Farahani [40], farklı kapasitelerdeki üretim tesislerinden, dağıtım merkezlerinden ve perakendecilerden oluşan tedarik zinciri ağını tasarlamak için Stokastik bir matematiksel model üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada önerilen model, talep ve arz belirsizliklerini aynı anda dikkate alması bakımından özgünlük göstermektedir. Modelde tesis yeri seçimi kararlarının tedarik zincirinin operasyonel envanter ve sevkiyat kararları üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Belirsizlikleri çözümlmek için oluşturulan karmaşık tamsayılı doğrusal olmayan gürbüz modeli global optimalliğe ulaştırmak için parçalı doğrusallaştırma yöntemine dayalı bir dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Dönüştürülen modelin doğruluğu tarım-gıda endüstrisinden gerçek bir vaka çalışması ile ortaya konmuştur. Ayrıca parametrelerdeki değişikliklerin çözüm üzerindeki hassasiyetini göstermek için parametrelerin

tedarik zinciri ağı üzerindeki etkisini gösteren senaryo analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Güler ve Ermiş [41], çalışmalarında afet yardım tedarik zinciri taşımacılığı ve dağıtım sorunları üzerine yeni bir deterministik yaklaşımı öne sürmektedir. Oluşturulan tek dönemli, çok ürünli ve çok modlu modelde ulaşım ve hizmet düzeyi maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmaktadır. Çalışmada afet durumunda meydana gelen arz-talep miktarlarındaki ve dağıtım ağındaki belirsizliği ve zayıflığı modellemek için sonlu bir dizi afet konumu ve etki senaryosu dikkate alınmaktadır. Ayrıca ürün türüne göre yönlendirme yolları belirlenerek belirsizlik altındaki nakliye kararları da optimize edilmektedir. Çözüm yöntemi olarak da iki aşamalı Stokastik programlama yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, stokastik çözümün stokastik programlama değeri ve yeni modelden türetilen mükemmel bilginin beklenen değeri (MBBD) bekle ve gör (BG) ve beklenen değer (BD) problem çözümlerinin yerleşik ilişkileri ile tartışılmakta ve doğrulanmaktadır.

Chatzikontidou ve arkadaşları [42], makalelerinde senaryo tabanlı bir yaklaşım kullanarak esnek bir tedarik zinciri ağ tasarımı modeli önermektedir. Model talep belirsizliği ile başa çıkarken, tek tek üretim tesisleri ve depolar yerine genelleştirilmiş üretim ağlarını kullanmaktadır. Ayrıca modelde üretim veya depolama kapasitesi veya her ikisine sahip hibrit düğümleri ifade eden genelleştirilmiş düğümlerin yeri, işlevi ve sayısı da belirlenmektedir. Talep belirsizliğini dikkate alan modelde değişiklikleri yönetmek ve ağa esneklik kazandırmak için emniyet stokları da kullanılmıştır. Tedarik zinciri ağının toplam maliyetini minimum yapmayı amaçlayan karmaşık tamsayılı doğrusal programlama modelinin uygulanabilirliğini test etmek için gerçek bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kurulan modelin firmalar için maliyet avantajını vurgularken firmaların alacağı kritik kararlarda modelin bütünsel bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir. Yapılan duyarlılık analizleri ile de tüm sistemi etkileyen parametreler ortaya konmaktadır.

Gilani, Sahebi ve Oliveria [43], çalışmalarında şeker kamışı tedarik zincirinin tasarımı ve planlaması üzerine üç aşamalı karma tamsayılı doğrusal

programlama modeli önermektedir. Modelde fabrikalar ve talep noktaları için arz alanlarını ve aday noktalarını dikkate alan çok amaçlı bir yapı kurulmuştur. Şeker kamışından biyoetanol üretiminde meydana gelen doğal belirsizliklerden dolayı şeker kamışı hasadı ve talep belirsiz kabul edilerek sağlam bir olasılıksal programlama modeli kullanılmıştır. Önerilen modelde biyoetanol üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için karı maksimize etmenin yanı sıra çevresel etkileri en aza indirmek ve sosyal performansı maksimize etmek de amaçlanmaktadır. Çalışmada modeli test etmek için İran'da bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar gürbüz programlama modelinin deterministik modele göre daha duyarlı olduğu ve daha uygun kararlar önerdiğini göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar simülasyon tabanlı bir yaklaşım kullanılarak da doğrulanmıştır.

Nayeri, Paydar, Gangraj ve Emami [44], makalelerinde belirsiz koşullar altında kapalı döngü tedarik zinciri ağını tasarlamak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için çok amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Modelde toplam maliyetin en aza indirilmesi, toplam karbon emisyonunun azaltılması ve sosyal etkilerin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Talep, nakliye maliyetleri ve karbon emisyon kapasitesindeki belirsizlikle başa çıkmak içinse bulanık gürbüz optimizasyon uygulanmıştır. Tesis kapasitesi kısıtlaması, ulaşım modu kapasite kısıtlaması , karbon kapasitesi ve ticaret politikası kapsamında değerlendirilen model en iyi tedarikçileri, en iyi nakliye modlarını, açılan tesislerin sayısını ve tesisler arasındaki ürünlerin akışını belirlemektedir. Model hedef programlama yaklaşımıyla çözümlenmiştir. Daha sonra yapılan duyarlılık analizleriyle de amaç fonksiyonundaki değişiklikler ve modelin sağlamlığı incelenmiştir.

Tolooie, Maity ve Sinha [45], tesis yeri seçimi problemlerinde tesis arızlarının ve belirsiz taleplerin planlanmasının güvenilir bir tedarik zinciri ağına sahip olmada en etkili yol olduğunu savunan ve bunun için çözüm önerisi sunan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tesislerin güçlendirilmesi ve ürünlerin yeniden atanması sorunlarını elen alan iki aşamalı Stokastik optimizasyon modeli önerilmektedir. Toplam kurulum ve nakliye maliyetlerini en aza indirmeyi hedefleyen Stokastik modelin çözümü için L-shape stokastik programlama yöntemi iki tür optimallik ve fizibilite kesimi ile entegre edilerek

uygulanmaktadır. Modelin farklı vaka çalışmaları ile uygulanabilirliği ve kullanılan çözüm yönteminin etkinliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tedarik zinciri sisteminin güvenilirliği için yapılan önemli iyileştirmelerin tesis maliyetlerinde minimum artışlara neden olduğunu göstermektedir.

Fattahi, Govindan ve Maihami [46], yayınladıkları makalede tedarik zinciri esnekliğinde yeni bir ölçüm metriği kullanarak tedarik zinciri ağ tasarımı için yer seçimi, envanter ve sipariş boyutu kararlarını optimize eden kesinti olayları altında iki aşamalı stokastik bir model önermektedirler. Esneklik ölçümü için kullanılan metrik olası bir kesinti olayında kurtarma süresi boyunca meydana gelen maliyet artışının beklenen değerini ölçmektedir. Bu beklenen değeri minimum yapmak ise Stokastik modelin amaç fonksiyonunda yer almaktadır. Karma tamsayılı doğrusal olmayan model CPLEX çözücüsüyle sonuç elde etmek için kuadratik konik optimizasyon kullanılarak formüle edilmiştir. Ayrıca çok sayıdaki kesinti senaryosuyla başa çıkmak içinde örnek ortalama yaklaşım metodu kullanılmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliği ve örnek ortalama yaklaşım yönteminin performansının ölçüm için bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan metriğin kesinti olaylarından sonra kurtarma süresinin ve oluşan maliyetlerin stratejik kararlar üzerindeki etkisini ve kapasite artışlarının esnek tedarik zincirleri tasarlamak için uygun bir strateji olmadığını göstermektedir.

Yu ve Solvang [47], farklı belirsizlik altında maliyet etkinliği ve çevresel performans arasındaki ikilemi çözmek amacıyla kapalı döngü bir tedarik zinciri ağı için bulanık-stokastik çok amaçlı matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde karbon emisyonu çevresel performansı ölçmek için kullanılırken ağ esnekliği de modele dâhil edilmiştir. Çalışmada müşteri talepleri, kullanım ömrü tamamlamış ürün geri dönüş oranı ve kalite seviyesi stokastik parametreler olarak belirlenmiştir. Diğer belirsiz parametreler ise bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Çözüm yöntemi içinse öncelikle model eşdeğer bir forma dönüştürülmüş, daha sonra modele geliştirilen örnek ortalama yaklaşımına dayalı ağırlıklandırma yöntemi uygulanmıştır. Modelin ve çözüm yönteminin doğruluğu bir dizi sayısal örnekle test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar her ikisinin

de tutarlı çözümler üretebildiğini ve tesis yeri seçimi için sağlam stratejik kararlar önerebildiğini göstermektedir.

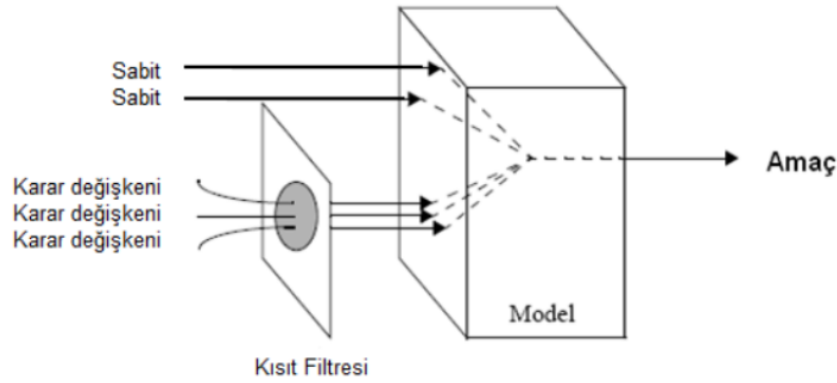
Habib ve arkadaşları [48], yaptıkları çalışmada artan alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacın karşılanmasında başarının artması için biyodizel üretiminde oluşan yüksek maliyetin tedarik zincirine olan yükünü azaltmayı ve çevresel faktörleri ön planda tutmayı amaçlayan biyodizel tedarik zinciri ağ tasarım modelini sunmaktadırlar. Biyodizel üretiminin karmaşık süreçleri yüksek belirsizliklere neden olduğu için önerilen modelin çözüm yöntemi olarak gürbüz olasılıklı programlamaya dayalı bir metodoloji kullanılmıştır. Biyodizel tedarik zincirinin hem yukarı hem de aşağı süreçlerini entegre eden model biyodizel için en iyi üretim yeri, biyodizel dağıtım miktarları gibi stratejik kararların verilmesinde yöneticilere katkı sağlamaktadır. Bunların yanı sıra biyodizel üretiminin çevreye olan katkısını arttırmak için modelde karbon emisyonu minimum seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Sunulan modelin ve çözüm yönteminin uygulanabilirliğini kanıtlamak için gerçek verilere dayalı bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda modelin belirsizlikler karşısında stratejik ve taktiksel seviyede doğru kararlar verdiği ve çözüm yönteminin ise etkin çözümler üretebileceği gözlemlenmiştir.

Prakash ve arkadaşları [49], riskleri ve belirsizlikleri içeren kapalı döngü tedarik zinciri ağı için karma tamsayılı programlamaya dayalı optimizasyon modeli önermektedirler. Önerilen model risk yönetimi stratejilerinde yardımcı olarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği arttırmayı ve firmalara rekabet avantajı sağlamayı vaat etmektedir. Kurulan deterministik modelde amaç toplam tedarik zinciri maliyetini minimize ederken en uygun tesis yerinin seçilmesi ve optimum akış miktarını belirlenmesidir. Bu deterministik modele risk ve belirsizlik faktörlerinin ilave edilmesiyle gürbüz optimizasyon temelli matematiksel model oluşturulmuştur. Modellerin doğruluğunun test edilmesi için çok sayı da sayısal test gerçekleştirilmiştir. Sayısal testlerden elde edilen sonuçlardan riskleri ve belirsizlikleri içeren entegre tedarik zinciri ağ tasarım modelinin risk değerlendirmesi olmayan modele göre daha verimli ve daha iyi performans ortaya koyduğu anlaşılmaktadır.

Bu bölümde tez kapsamında oluşturulan tedarik zinciri ağ tasarım modelinin çözümü için kullanılan stokastik programlama ve gürbüz optimizasyon yöntemlerine yer verilmiştir. Her iki yöntemde belirsizlikleri farklı yonden ele alarak kurulan modelin gerçek hayatta karşılaşılan problemlere uygun çözülmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır

4.1 Stokastik Programlama Yöntemi

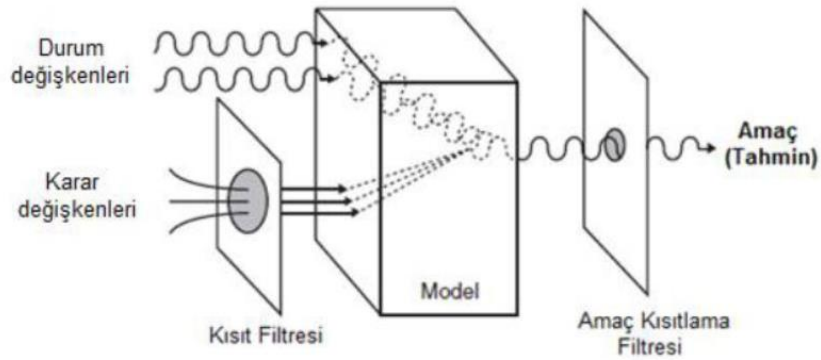
Deterministik optimizasyon problemleri tüm model parametrelerinin belirli ve kesin olduğu durumları içeren optimizasyon problemleridir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi deterministik modelde durum değişkenlerinin değerleri tam olarak bilinmekte ve optimizasyon modelindeki tüm girdiler sabit değer almaktadır [50].



Şekil 4.1 Deterministik optimizasyon süreci [36]

Deterministik modellerin aksine gerçek hayat problemlerinde parametrelerin kesin olarak bilinmesi kolay olmamaktadır. Parametrelerin kesin olarak bilinmesinin zor olduğu durumlarda ise belirsizlik kavramı ortaya çıkmaktadır [51]. Stokastik programlama da belirsizlik içeren bu tür modeller ile ilgilenmektedir. Bu yöntemde belirsizliğin varlığını modele aktarmak için problem parametreleri rassal veya stokastik değişkenler olarak düşünülmektedir

[52]. Bir başka ifadeyle parametrelerin belirsizliklerle başa çıkabilmek için rassal olduğu, fakat istatistiksel uygunluk testlerinden geçmiş veriler kullanılarak kestirilebilen olasılık dağılımlarının bilindiği varsayılmaktadır [53]. Stokastik programlamada temel amaç probleme ait belirsizliklerin hesaba katılarak belirli kısıtlar altında ve amaç fonksiyonuna göre optimal karar stratejisi belirlenmeye çalışılmasıdır [33]. Buradaki belirsizlik, her bir alternatifin gelecekte meydana gelebilecek olası her duruma karşılık gelen sonucundan oluşmaktadır. Karar verici, gelecekteki durumların belirsizliğine karşı her bir durum ve bu durumun sonuçlarını gösteren farklı türde senaryolar türetmelidir. Böylece meydana gelebilecek her duruma karşı hazırlıklı olabilir. Şekil 4.2’de stokastik optimizasyon modelinin yapısı görülmektedir. Stokastik programlamada, deterministik programlamanın aksine, karar değişkenlerinin belirlenen çözüm kümesi için amaç fonksiyonunun kesin bir değer almayacağı da şekilde gösterilmektedir [50].



Şekil 4.2 Stokastik optimizasyon süreci [36]

Gerçek hayat problemlerinin birçoğu doğası gereği belirsizlikler içerdiği için stokastik programlama yaklaşımı bu tür problemlerde deterministik modellere göre daha çok tercih edilmektedir [54]. Fakat stokastik modellerin çözümü deterministik modellere göre daha zorlayıcıdır. Bu yüzden stokastik modellerde genel yaklaşım problemin gerçek yapısını bozmadan ona eşdeğer olan deterministik duruma dönüştürmek olarak benimsenmiştir [51].

4.1.1 Stokastik Programlamada Kavramlar

Problemlerde belirsiz olarak düşünülen birçok parametre rassal olarak tanımlanabilmektedir. Belirsizlik, rassal deneyler sonucu elde edilen ve ω ile ifade edilen çıktılarla temsil edilmektedir. Bütün çıktıların kümesi ise Ω ile ifade edilir. Bu çıktıları tam olarak belirlemekten ziyade bu çıktıların rassal değişkenlere olan etkilerini belirlemek çok daha önemlidir [55].

Bu çıktılar, olay olarak ifade edilen Ω 'nin altkümesi olarak toplanabilir. Toplanmış rassal olaylar kümesi A olarak ifade edilir. Her $A \in \mathcal{A}$ olayı, $P(A)$ olasılık değeri ile ilişkilendirilmiştir ve $0 \leq P(A) \leq 1$, $P(\emptyset) = 0$, $P(\Omega) = 1$ ve eğer $A_1 \cap A_2 = \emptyset$ ise $P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2)$ dır. $(\Omega, \mathcal{A}, P)$, birçok koşulu sağlaması gereken *olasılık uzayı* olarak isimlendirilir.

Stokastik programlamada Ω ile yakından ilişkisi olan rassal değişkenlerin tanımlanması için senaryo adı verilen $\omega \in \Omega$ çıktıları kullanılmaktadır. Tüm rassal değişkenler birleşik olarak sonlu sayıda birçok senaryoya bağımlıdır. Genellikle Ω ve $\mathcal{A}$ 'yı tamamıyla yapılandırmak mümkün olmadığı için sadece rassal değişkenlerle ilgili bilgi sahibi olmak yeterli olmaktadır. Herhangi bir rassal ξ değişkeni için kümülatif dağılım, $F_\xi(x) = P(\xi \leq x)$ ya da $F_\xi(x) = P(\{\omega | \xi \leq x\})$ şeklinde tanımlanabilir. Bu durum için kesikli ve sürekli olmak üzere iki ana rassal değişken düşünülebilir. Kesikli rassal değişken, sınırlı sayıda ve sayılabilir farklı değerlerden oluşmaktadır. Bu rassal değişkenler için olasılık dağılımı, ξ^k , $k \in K$ şeklinde tanımlanır ve olasılık değeri $f(\xi^k) = P(\xi = \xi^k)$ ve $\sum_{k \in K} f(\xi^k) = 1$ 'dir. Sürekli rassal değişkenler ise çoğunlukla $f(\xi)$ şeklindeki yoğunluk fonksiyonlarıyla ifade edilirler. ξ rassal değişkeninin $[a, b]$ aralığındaki olasılık değeri $P(a \leq \xi \leq b) = \int_a^b f(\xi) d\xi$ dır. Kesikli durumdan farklı olarak tek bir sürekli rassal a değerinin $P(\xi = a)$ olasılık değeri her zaman 0 değerine eşittir. Rassal değişken için beklenen değer kesikli durumlar için $\mu = \sum_{k \in K} \xi^k f(\xi^k)$ iken sürekli durumlar için $\mu = \int_{-\infty}^{\infty} \xi dF(\xi)$ şeklinde hesaplanmaktadır [55].

4.1.2 İki Aşamalı Stokastik Programlama

Stokastik doğrusal programlama, verilerin belirsiz yani rassal değişkenler şeklinde ifade edildiği bir programlama yöntemidir. Bu tür modellerde belirsizlikler ortadan kaldırıldıktan sonra bazı kararlar alınabilmekte ya da düzeltme işlemleri yapılabilmektedir. [33]. İki aşamalı stokastik programlamanın da ana fikri, düzeltme veya telafi etme kavramına dayanmaktadır. Bazen ilk aşamada kararlar alınabilir, ancak elde edilecek ek bilgiler ile gelecekteki belirsizliğin ortadan kalkması durumunda alınan bu kararların sonraki aşamada düzeltilmesi gerekebilir. İki aşamalı problem olarak adlandırılan bu problemde, önce başlangıç atması yapılır, sonrasında stokastik olaylar gözlemlenir ve ardından ilk atamaların ya da stokastik olayın şart koştuğu kısıtlar çerçevesinde kalan kaynaklar yeniden atanır. Görüldüğü üzere, bazı kararlar stokastik olay gerçekleşmeden alınır. Bu tür kararlara birinci aşama değişkenleri denir ve bu değişkenler x vektörü ile temsil edilir. Bu kararların alındığı dönem ise birinci aşama olarak isimlendirilir. Bazı kararlar ise ilk aşamada alınan kararlara ve stokastik olaylara bağlı olarak daha sonra alınır. Bu kararlar ikinci aşama değişkenleri olarak ifade edilir ve bu değişkenler $y, y(\omega)$ ya da $y(\omega, x)$ ifade edilmektedir. Bu kararların alındığı dönem ise ikinci aşama olarak isimlendirilir. [55],[56].

İki Aşamalı Stokastik Programlama (İASP) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [36].

$$\text{Min } z = c^T x + E_{\xi}[\min q(\omega)^T y(\omega)] \quad (4.1)$$

$$\text{st. } Ax \geq b, \quad (4.2)$$

$$T(\omega)x + W y(\omega) = h(\omega), \quad (4.3)$$

$$x \geq 0, y(\omega) \geq 0 \quad (4.5)$$

Birinci aşama kararları $n_1 \times 1$ boyutlu olup x vektörüyle ifade edilmektedir. x ile ilgili birinci aşama vektör ve matrisleri sırasıyla $n_1 \times 1$, $m_1 \times 1$, $m_1 \times n_1$ boyutlu c, b ve A 'dır. Belirli sayıda gerçekleşen rassal olaylardan ($\omega \in \Omega$) sonra belirlenen bir ω için, ikinci aşama problem verileri birinci aşamadan farklı olarak $n_2 \times 1$, $m_2 \times 1$,

$m_2 \times n_2$ boyutlu $q(\omega)$, $h(\omega)$ ve $T(\omega)$ matrisleri halini almaktadır. Bu yüzden q , T , h 'nin her bir bileşeni de birer rassal değişkendir. $T_i(\omega)$, $T(\omega)$ 'nin i . satırı olsun. İkinci aşama verilerinin stokastik bileşenlerini bir araya getirirsek $N = n_2 + m_2 + (m_2 \times n_2)$ bileşenli $\xi^T(\omega) = (q(\omega)^T, h(\omega)^T, T_1(\omega) \dots \dots T_{m_2}(\omega))$ vektörü elde edilmektedir. Daha önce işaret edildiği gibi tek bir ω rassal olayı, ξ 'nin bileşenleri olan birkaç rassal değişkeni de etkilemektedir. ω belirlendikten sonra ikinci aşama problem verileri olan q , T ve h bilinir hale gelmekte ve ikinci aşama kararları olan $y(\omega)$ ya da $y(\omega, x)$ alınmaktadır. y 'nin ω 'ye olan bağımlılığı q 'nun ya da diğer parametrelerin ω 'ye olan bağımlılığından tamamen farklılık göstermektedir. Bu durumda bize basit olarak y 'nin farklı ω 'ler karşısında aynı değeri almadığını işaret etmektedir. Yukarıdaki amaç fonksiyonu, deterministik bölümünde yer alan $c^T x$ değişkenlerinden ve tüm ω rassal olaylarının meydana gelmesiyle oluşan ikinci aşama amaç fonksiyonunun beklenen değerinden $q(\omega)^T y(\omega)$ oluşmaktadır. Her bir ω için $y(\omega)$ değeri doğrusal programın çözümü olduğundan ikinci aşama terimi daha zordur. Bu durumu vurgulamak içinse çoğunlukla deterministik eşdeğer programı notasyonu kullanılmaktadır. Her bir gerçekleşen ω rassal olayı için ikinci aşama değer fonksiyonu $Q(x, \xi(\omega)) = \min\{q(\omega)^T y \mid W = h(\omega) - T(\omega)x, y \geq 0\}$ şeklinde gösterilmektedir. Daha sonra ikinci aşama değer fonksiyonu $Q(x) = E_{\xi} Q(x, \xi(\omega))$ olarak tanımlanır ve deterministik eşdeğer fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir [36].

$$\text{Min } z = c^T x + Q(x) \quad (4.6)$$

$$\text{s.t. } Ax \geq b \quad (4.7)$$

$$x \geq 0 \quad (4.8)$$

Stokastik programlamanın yukarıdaki gibi ifade edilmesi, deterministik formülasyona göre temel farklılığın ikinci aşama değer fonksiyonundan kaynaklandığını göstermektedir. Bu fonksiyonun belirlenmesi halinde stokastik program sıradan bir deterministik modele dönüşmektedir. İki aşamalı stokastik programlamanın en basit hali (4.6)-(4.8)'da verilmektedir. Bu basit modele kolaylıkla çeşitli ilaveler yapılabilir. Örneğin ilk ve ikinci aşama kararları

tam sayılı değişken olarak veya doğrusal olmayan amaçlar ve kısıtlar olarak modele eklenebilir [57].

4.1.3 Stokastik Programlamada Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri

Stokastik programlama yönteminin zor olmasına ilişkin popüler bir anlayış mevcuttur. Bu nedenle gerçek olaylarla karşı karşıya kalındığında karar verici stokastik programlama kullanmak yerine rassal değişkenlerin beklenen değerinin dahil edildiği deterministik modelleri çözmek ya da her bir senaryonun karşılığı olan birçok deterministik modelleri çözerek farklı sonuçları birleştirmek gibi daha basit çözüm yöntemlerini tercih etmektedir. Bu yöntemlerin sonucunun optimalliğini ve doğruluğunu göstermek adına MBBD' ni elde etmek gerekmektedir. MBBD, karar vericinin gelecekle ilgili doğru ve güvenilir bilgi için ödemeye hazır olduğu maksimum miktarı ifade etmektedir. MBBD küçük olması modelde rassallığında küçük bir rol oynadığını göstermektedir [58]. ξ , birçok farklı senaryo değerlerinin gerçekleşmesi bağlı olan bir rassal değişken olsun.

$$\min z(x, \xi) = c^T x + \min\{q^T y \mid W_y = h - Tx, y \geq 0\} \quad (4.9)$$

$$\text{s.k.g} \quad Ax \geq b, \quad x \geq 0 \quad (4.10)$$

$x(\xi)$ herhangi bir optimal çözümü ifade etsin. Senaryo yaklaşımına göre, her bir senaryo için ele alınan problemin tüm $x(\xi)$ çözümleri ve bu çözümlere ait amaç fonksiyonları $z(x(\xi), \xi)$ hesaplanır. Bu yaklaşım $x(\xi)$ ve $z(x(\xi), \xi)$ dağılımını aradığı için dağılım problemi olarak adlandırılır. Dağılım problemini doğrusal programlamadaki duyarlılık ya da parametrik analizlerin genelleştirilmiş hali olarak görmek mümkündür. Burada hesaplandığı varsayılan $x(\xi)$ ve $z(x(\xi), \xi)$ değerleri literatürde BG çözümü olarak adlandırılır ve bu değerlerin beklenen değeri aşığıdaki gibi hesaplanabilir.

$$BG = E_{\xi}[\min_x z(x, \xi)] = E_{\xi}z(x(\xi), \xi) \quad (4.11)$$

BG problemleri, gelecek hakkındaki mükemmel bilgiye dayanan bir yaklaşım benimsemektedir. Bu yaklaşım karar vericinin en uygun kararı uygulamadan önce belirsizlik çözümlene kadar her koşulda bekleyeceğini varsaymaktadır. Bekle ve gör modelleri her bir senaryo ile ilişkili doğrusal programlamanın bir

ailesinden oluşmaktadır ve amaç değerinin olasılık dağılımlarını analiz etmek için oldukça sık kullanılmaktadır [59].

Stokastik programlama çözümünden elde edilen burada ve şimdi (BŞ) çözümü ise geleceğin bilinmeden çözümünden elde edilmektedir. Bu çözüm aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir.

$$BŞ = \min_x E_{\xi} z(x, \xi) \quad (4.12)$$

Artık BG çözümü ile BŞ çözümü karşılaştırıldığında MBBD' ne ulaşmamız mümkündür. Tanımından da anlaşılacağı gibi MBBD bu iki çözüm arasındaki farktan meydana gelmektedir.

4.1.4 Stokastik Programlamada Stokastik Çözümün Değeri

Belirli nedenlerden dolayı birçok insan hala BG çözümünün elde edilmesinin oldukça uzun ve zor olduğunu düşünmektedir. Çünkü gerçek bilginin elde edilmesi her zaman kolay olamayabilir ve bir model çözmek yerine senaryo sayısı kadar model çözümlemek insanlara zahmetli ve zor gelebilmektedir. Bu zorluk özellikle senaryo sayısının yüksek olduğu ve BG çözümünün tek çözüm yerine bir çözüm kümesi sunduğu zamanlarda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kişileri rassal değişkenlerin beklenen değerini modele dahil ederek problemi deterministik olarak çözümleyecek daha kolay ve yaygın bir yol seçmeye itmektedir. Bu probleme de BD problemi denir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$BD = \min_x z(x, \bar{\xi}) \quad (4.13)$$

$\bar{\xi} = E(\xi)$, ξ' nin beklenen değeri $x(\bar{\xi})$ denklem (4.13)' nin çözümü olsun. Böylece, beklenen değer çözümünün beklenen değeri (BDÇBD) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$BDÇBD = E_{\xi}(z(x(\bar{\xi}), \xi)) \quad (4.14)$$

BDÇBD değeri, $x(\bar{\xi})$ 'nin stokastik modelde nasıl bir performans gösterdiğini ölçmektedir ve ikinci aşama kararlarının $x(\bar{\xi})$ ve ξ' nin fonksiyonları olarak en uygun şekilde seçilmesini sağlamaktadır. Böylece stokastik çözüm değeri (SÇD) de aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$S\dot{C}D = BD\dot{C}BD - BS \quad (4.15)$$

Aşağıdaki temel eşitsizlikler Madansky (1960)'nin çalışmasında yer almaktadır:

$$BG \leq BS \leq BD\dot{C}BD, BD \leq BG \quad (4.16)$$

$$0 \leq MBBD, 0 \leq S\dot{C}D, S\dot{C}D \leq BD\dot{C}BD - BD, MBBD \leq BD\dot{C}BD - BD \quad (4.17)$$

İncelenen durumlarda sonuçların bu eşitsizliklere uyup uymadığı kontrol edilmelidir [57].

4.2 Gürbüz Optimizasyon Yöntemi

Gurbüz optimizasyon, veri belirsizliği ile karşı karşıya kalan optimizasyon problemlerinin sağlam bir çözüm üretebilmesi için kullanılan önemli bir çözüm yöntemidir. Bu yöntemi senaryo tabanlı ve küme tabanlı olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Senaryo tabanlı gurbüz optimizasyon, doğrusal yapıdaki deterministik modeli doğrusal olmayan yapıya dönüştürürken küme tabanlı gurbüz optimizasyon ise modelde bulunan belirsiz parametrelerin bir belirsizlik kümesi içinde yer aldığını savunmaktadır [60]. Genellikle veri setinin küçük, parametrelerin kesikli olduğu durumlarda senaryo tabanlı modeller tercih edilirken; veri setinin büyük ve parametrelerin sürekli olduğu durumlarda ise küme tabanlı modeller tercih edilmektedir [61].

Küme tabanlı gurbüz optimizasyon yöntemi; belirsiz parametrelerin sınırlı, dışbükey bir belirsizlik kümesine ait olduğunu varsayar ve sınırların en kötü durum değeri için fizibilite sağlarken, belirsizlik kümesi üzerindeki hedefin minimum değerini maksimize ederek veri belirsizliğini de gidermeye çalışır. Bu yöntem ilk olarak 1970'lerde Soyster tarafından ortaya atılmıştır. Soyster bu yaklaşımında her bir belirsiz parametrenin belirli bir aralıkta değerler aldığını varsaymakta ve en kötü duruma uygun çözümler üretmek için bir optimizasyon modeli önermektedir. Her parametrenin en kötü durum değerine eşit olmasına yol açtığı için en kötü durum analizi olarak adlandırılan bu model kullanıcılar tarafından çok fazla muhafazakar olarak değerlendirilmiştir. Ancak ne kadar muhafazakar olarak değerlendirilse de belirsizliği ortadan kaldırma tekniğiyle önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmiştir [60]. Soyster'in çalışmaları

temel alınarak birçok araştırmacı bu konuda yeni model yaklaşımları üretmiş ve çözümü muhafazakarlıktan kurtarırken hesaplama izlenebilirliğini arttırmaya çalışmışlardır. Bu amaçla yapılan önemli çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

El- Ghaoui ve Lebret katsayılar matrisinin belirsiz olduğu en küçük kareler problemleri için gürbüz çözümler üzerinde çalışarak en kötü durumda kalan hatayı en aza indirmeyi amaçlamışlardır [62]. Ben-Tal ve Nemirovski 2000 ve 2002’de yaptıkları çalışmalarında parametrelerin belirsizliği için elipsoid belirsizlik kümesine dayanan bir gürbüz eşdeğer modeli önererek elipsoid belirsizlik kümesine dâhil olan doğrusal kısıtların ikinci dereceden koni problemlerine dönüştüklerini vurgulamışlardır [63], [64]. Ayrıca çalışmalarında belirsizlik içeren problemlerin hesaplama izlenebilirliğini arttırarak gürbüz optimizasyonun gerçek hayat uygulamaları için kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bertsimas ve Sim [65], çalışmalarında hem maliyet katsayılarında hem de kısıtlamalarda veri belirsizliği bulunan kesikli programlama ve ağ akış problemleri için muhafazakarlık derecesini düşük tutmaya çalışan gürbüz optimizasyon modeli önermektedir. Ayrıca 2004 yılında yaptıkları çalışma ile de aralık ve polihedral belirsizlik kümesine dayanan, veri değişkenliğinde çözümün uygulanabilir ve optimuma yakın kalmasını sağlayan gürbüz doğrusal programlama modeli sunmuşlardır [66]. Burada muhafazakarlık derecesini kontrol altında tutmak ve hesaplama izlenebilirliğini arttırmak için sağlamlık maliyeti parametresi ortaya konmuştur. Moazeni [67], belirsizliğin katsayılar matrislerinde bulunduğu doğrusal optimizasyon problemlerini, ağırlıklandırılmış analitik merkezler kavramı ve karar vericilerin verdiği bilgileri kullanarak geliştirdiği gürbüz optimizasyon modeli ile çözümlenmiştir. Geliştirilen modelin, klasik gürbüz optimizasyonunun eksiklerini tamamlayarak büyük değişkenliklere sahip gerçek olay problemleri için hızlı ve uygulanabilir bir çözüm ürettiği vurgulanmıştır.

4.2.1 Belirsiz Doğrusal Optimizasyon Probleminin Gürbüz Eşdeğeri

Gürbüz optimizasyonu iki temel amacı barındırır. Bunlar; belirsiz doğrusal optimizasyonunun gürbüz eşdeğerinin oluşturulması ve belirsizlik kümesinin

belirlenmesidir. Bu doğrultuda belirsizliğe sahip doğrusal optimizasyon problemlerini aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz [68];

$$\text{Max}_x \sum_j \tilde{c}_j x_j \quad (4.18)$$

$$\sum_j \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i \quad (4.19)$$

olmak üzere bir z değişkeni eklenerek gürbüz eşdeğer formuna dönüştürülür;

$$\text{Max } Z \quad (4.20)$$

$$Z - \sum_j \tilde{c}_j x_j \leq 0 \quad (4.21)$$

$$\tilde{b}_i x_0 + \sum_j \tilde{a}_{ij} x_j \leq 0 \quad (4.22)$$

$$x_0 = -1 \quad (4.23)$$

şeklinde elde edilir.

Burada; $\tilde{c}_j$, $\tilde{b}_i$, $\tilde{a}_{ij}$ belirsiz parametrelerdir.

- Amaç vektörünün nominal değeri sıfırdan farklı bir değere sahiptir.
- $\tilde{c}_j$, $[\underline{c}_j, \bar{c}_j]$ aralığında bulunmaktadır ve ortalaması $E(\tilde{c}_j)$ etrafında simetrik bir dağılıma sahiptir.
- $\tilde{b}_i$, $[\underline{b}_i, \bar{b}_i]$ aralığında dağılım gösteren rassal bir değişkendir.
- $\tilde{a}_{ij}$, $[\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$ aralığında değer alır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$\tilde{a}_{ij} = a_{ij} + \varepsilon_{ij} \hat{a}_{ij} \quad (4.24)$$

$$\tilde{b}_i = b_i + \varepsilon_{i0} \hat{b}_i \quad (4.25)$$

$$\tilde{c}_j = c_j + \varepsilon_j \hat{c}_j \quad (4.26)$$

Burada;

- a_{ij} , b_i ve c_j parametrelerin nominal değerlerini,
- $\hat{a}_{ij}$, $\hat{b}_i$ ve $\hat{c}_j$ pozitif sabit dalgalanmaları,

- J_i , i . kısıttaki belirsiz katsayıların indeksini,
- ε_{ij} , ε_{i0} ve ε_j $[-1,1]$ aralığında dalgalanan belirsizliğin yüklendiği rastlantı değişkenlerini ifade etmektedir.

4.2.2 Gürbüz Optimizasyonda Belirsizlik Kümeleri

Gurbüz optimizasyonda, belirsiz parametreleri açıklamak için olasılık dağılımları yerine tanımlanan bir belirsizlik kümesi kullanılarak çözümün seçilen belirsizlik kümesindeki tüm olası durumlar için uygulanabilir olması sağlanır [69]. Belirsizlik kümesi ise, verilerdeki belirsizliği tanımlamak için çoğunlukla sınırlandırılan ve dışbükey yapıda olan deterministik kümelerden oluşmaktadır [67]. Genellikle kullanılan belirsizlik kümeleri; kutu, elipsoid, polihedral ve bunların birleşiminden oluşan belirsizlik kümeleridir.

4.2.2.1 Kutu Belirsizlik Kümesi

Kutu belirsizlik kümesi gurbüz optimizasyon yönteminde en sık kullanılan belirsizlik kümesidir. Küme gösteriminde verilen ε rastlantı vektörü parametrelerdeki belirsizliği göstermek için kullanılmaktadır. Belirsiz veri vektörü ∞ olarak seçilirse aralık;

$$U_{\infty} = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_{\infty} \leq \Psi\} = \{\varepsilon \mid |\varepsilon_j| \leq \Psi, \forall j \in J_j\} \quad (4.27)$$

ile belirlenir. Burada (4.27)' de ayarlama parametresi olan Ψ değeri, belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol etmektedir. Belirsiz parametre $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}] \forall j \in J_j$ aralığında sınırlandırılırsa belirsizlik $\tilde{a}_{ij} = a_{ij} + \varepsilon_{ij}\hat{a}_{ij}$ eşitliği ile gösterilebilir. Eğer $\Psi = 1$ değerini alırsa Kutu belirsizlik kümesinin özel durumu olan Aralık belirsizlik kümesi adını alır ve $U_{\infty} = \{\varepsilon \mid |\varepsilon_j| \leq \Psi, \forall j \in J_j\}$ olarak tanımlanır.

4.2.2.2 Elipsoid Belirsizlik Kümesi

Belirsiz veri vektörünün ikinci normu kullanıldığında Elipsoid belirsizlik kümesi;

$$U_2 = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_2 \leq \Omega\} = \left\{ \varepsilon \mid \sqrt{\sum_{j \in J_j} \varepsilon_j^2} \leq \Omega \right\} \quad (4.28)$$

olarak tanımlanır. Burada belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresi Ω değeridir. Belirsizlik kümesinin rastlantı değişkeni -1 ile +1 aralığında ve $\Omega \geq \sqrt{|J_i|}$ olduğunda elipsoid belirsizlik kümesi belirsizlik uzayının tamamını kapsamaktadır.

4.2.2.3 Polihedral Belirsizlik Kümesi

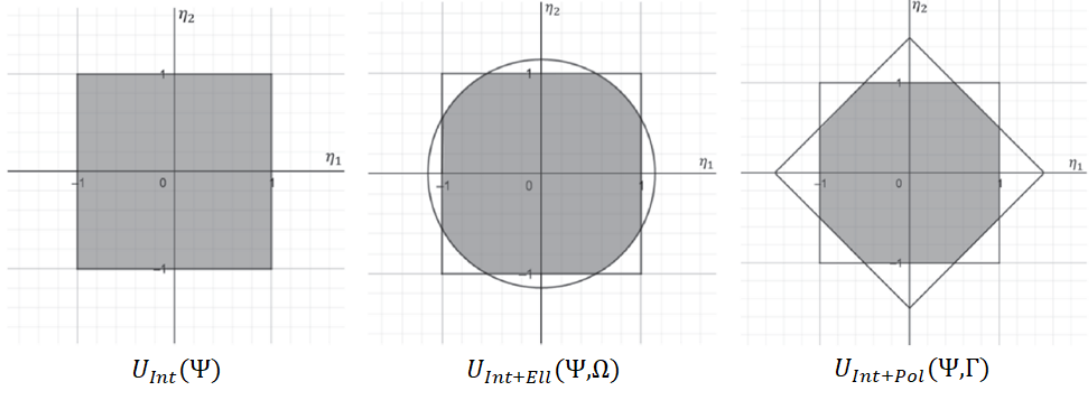
Belirsiz veri vektörünün birinci normu kullanıldığında Polihedral belirsizlik kümesi;

$$U_1 = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_1 \leq \Gamma\} = \left\{ \varepsilon \mid \sqrt{\sum_{j \in J_j} \varepsilon_j} \leq \Gamma \right\} \quad (4.29)$$

olarak tanımlanır. Burada belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresi Γ değeridir. Belirsizlik kümesinin rastlantı değişkeni -1 ile +1 aralığında ve $\Gamma \geq |J_i|$ olduğunda elipsoid belirsizlik kümesi belirsizlik uzayının tamamını kapsamaktadır.

4.2.3 Belirsizlik Kümelerinin Kombinasyonları ve Gürbüz Eşdeğerleri

Ele alınan problemlerde belirsizlik kümelerinin hangisinin kullanılacağına belirlenmesi gürbüz optimizasyon modeli için oldukça önemlidir. Çünkü seçilen belirsizlik kümesine göre belirsiz doğrusal modelin gürbüz eşdeğer problemi de farklılık göstermektedir. Kutu, elipsoid ve polihedral belirsizlik kümelerinin tek başına kapsadığı belirsizlik uzaylarının gerçek hayat problemlerine karşı yetersiz kaldığı durumlarda bu kümelerin kesişimlerini içeren belirsizlik kümeleri kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 4.3' de belirsizlik kümelerinin kombinasyonlarından oluşan gürbüz eşdeğerliklerin belirsizlik uzayında ifade ettikleri alanlar gösterilmektedir. Bu alanların matematiksel karşılıkları ve belirsizlik kümelerinin gürbüz eşdeğerlikleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 4.3 Belirsizlik kümelerinin gösterimi[70]

4.2.3.1 Aralık Belirsizlik Kümesi ve Eşdeğer Modeli

Daha öncede belirtildiği gibi aralık belirsizlik kümesi kutu belirsizlik kümesinin özel bir durumudur. Burada rastlantı değişkeninin $[-1,1]$ aralığında bağımsız olduğu ve bu aralıktaki dağılımın belirsiz parametreler tarafından belirlendiği varsayılır. Aralık belirsizlik kümesi $U_{Int}(\Psi) = \{\tilde{a}_{ij} = a_{ij} + \varepsilon_{ij}\hat{a}_{ij} \mid \|\varepsilon\|_{\infty} \leq \Psi\}$ şeklinde tanımlanır. Ψ parametresi 0 ile 1 arasında değişir ve optimizasyon modeli, bütün belirsiz katsayılar belirsizlik kümesinin sağladığı sınırlar içinde gerçekleşirse modelin sağlamlığı söz konusudur [70]. Şekil 4.3' te gösterilen aralık belirsizlik kümesinin gürbüz eşdeğeri ise aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür;

$$\text{Max} \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (4.30)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \Psi \sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} y_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.31)$$

$$-y_j \leq x_j \leq y_j \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.32)$$

$$l_j \leq x_j \leq u_j \quad j = 1, \dots, n \quad (4.33)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.34)$$

Aralık belirsizliğine sahip problemler için oluşturulan Gürbüz eşdeğer modelin kısıtları doğrusal yapıdadır. Kısıttaki tüm a_{ij} 'lerin belirsizlik olması halinde; eşdeğer kısıttaki değişken sayısı $2n$, kısıt sayısı ise $2n+1$ olacaktır [66].

4.2.3.2 Aralık-Elipsoid Belirsizlik Kümesi ve Eşdeğer Modeli

Soyster'ın önerdiği aralık belirsizlik kümesinin ve gürbüz eşdeğer modelinin problemlerde en kötü durumu ele alarak aşırı muhafazakâr sonuçlar üretmesi üzerine Ben-Tal & Nemirovski [71], [72], çalışmalarında aralık belirsizlik kümesi ile elipsoidal belirsizlik kümesinin kombinasyonu olan ve daha az muhafazakârlık sağlayan $U_{Int+Ell}(\Psi, \Omega) = \{\tilde{a}_{ij}\|\varepsilon\|_\infty \leq \Psi, \|\varepsilon\|_2 \leq \Omega\}$ belirsizlik kümesini kullanmışlardır [70]. Bu belirsizlik kümesinin kapsadığı belirsizlik uzayında ele alınan problemin çözümü için oluşturulan gürbüz eşdeğer modeli ise aşağıdaki gibidir;

$$\text{Max} \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (4.35)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} y_{ij} + \Omega \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 z_{ij}^2} \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.36)$$

$$-y_{ij} \leq x_j - z_{ij} \leq y_{ij} \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.37)$$

$$l_j \leq x_j \leq u_j \quad j = 1, \dots, n \quad (4.38)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.39)$$

Gürbüz eşdeğer modeldeki kısıt, artık doğrusal olmayan, ikinci dereceden koni problemine dönüşmektedir. Kısıtta bulunan a_{ij} katsayılarının tümünün belirsizlik olması halinde, değişken sayısı $3n$ iken kısıt sayısı $2n+1$ olacaktır. Burada kısıtlardan biri doğrusal olmayan yapıdayken diğerleri doğrusal yapıdadır. Fakat eşdeğer kısıt sistemi doğrusal olmadığından, problem NP-zor problemi halini alır ve kesikli gürbüz optimizasyon problemleri için tercih edilmesini zorlaştırır [66].

4.2.3.3 Aralık-Poliheral Belirsizlik Kümesi ve Gürbüz Eşdeğeri

Bertsimas ve Sim [66], 2004 yılındaki çalışmalarında hem modelin doğrusallığını sağlamak hem de çözümün muhafazakarlığını azaltmak adına aralık-poliheral belirsizlik kümesini kullanarak Gürbüz eşdeğer model oluşturmuşlardır. Bu belirsizlik kümesi $U_{Int+Pol}(\Psi, \Gamma) = \{\tilde{a}_{ij}\|\varepsilon\|_\infty \leq \Psi, \|\varepsilon\|_1 \leq \Gamma\}$ şeklinde ifade edilir. Burada $\Psi = 1$ kabul edilerek Aralık belirsizlik kümesini

oluştururken Γ ise modelin sağlamlığı ile hesaplanabilirliğini sağlayan ve belirsizlik kümesini kontrol eden ayarlama parametresini oluşturmaktadır. Bu belirsizlik kümesinin gürbüz eşdeğer modeli ise aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Max \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (4.40)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + p_i \Gamma_i + \sum_{j=1}^n q_{ij} \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.41)$$

$$p_i + q_{ij} \geq \hat{a}_{ij} y_j \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.42)$$

$$l_j \leq x_j \leq u_j \quad j = 1, \dots, n \quad (4.43)$$

$$-y_{ij} \leq x_j \leq y_{ij} \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.44)$$

$$q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.45)$$

$$p_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (4.46)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall i, \forall j \in J_i \quad (4.47)$$

Burada Γ_i parametresi nominal değerinden sapabilecek ve amaç fonksiyonunu engelleyecek $\tilde{a}_{ij}$ belirsiz değerini düzenlemektedir. Γ_i değerinin yüksek seçilmesi i. kısıtın sağlamlığını arttırırken düşük belirlenmesi aynı şekilde kısıtın sağlamlığını azaltmaktadır. Kısıtın sağlanmama olasılığını hesaplamak için de $e^{-\Gamma_i^2/2|J_i|}$ formülü kullanılmaktadır [70]. Γ_i parametresi aynı zaman kısıtların sağlanmama olasılığı ile nominal modelin amaç fonksiyonuna etkisi arasındaki ikilemi de kontrol etmektedir. Bu ikileme Bertsimas ve Sim “Gürbüzlük Fiyatı” adını vermektedir [66].

Bu bölümde, çalışmadaki kavramlar ve yöntemlerin uygulamasına yer verilmektedir. Uygulamada bir fındık işleme tesisinin tam zamanında anlayışı ile tam zamanında dağıtım yapması amaçlanarak tedarik zinciri ağ yapısı modellenmiştir. Oluşturulan deterministik modele gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlikler eklenerek stokastik ve gürbüz optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır. GAMS programı kullanılarak çözülen modellerin sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

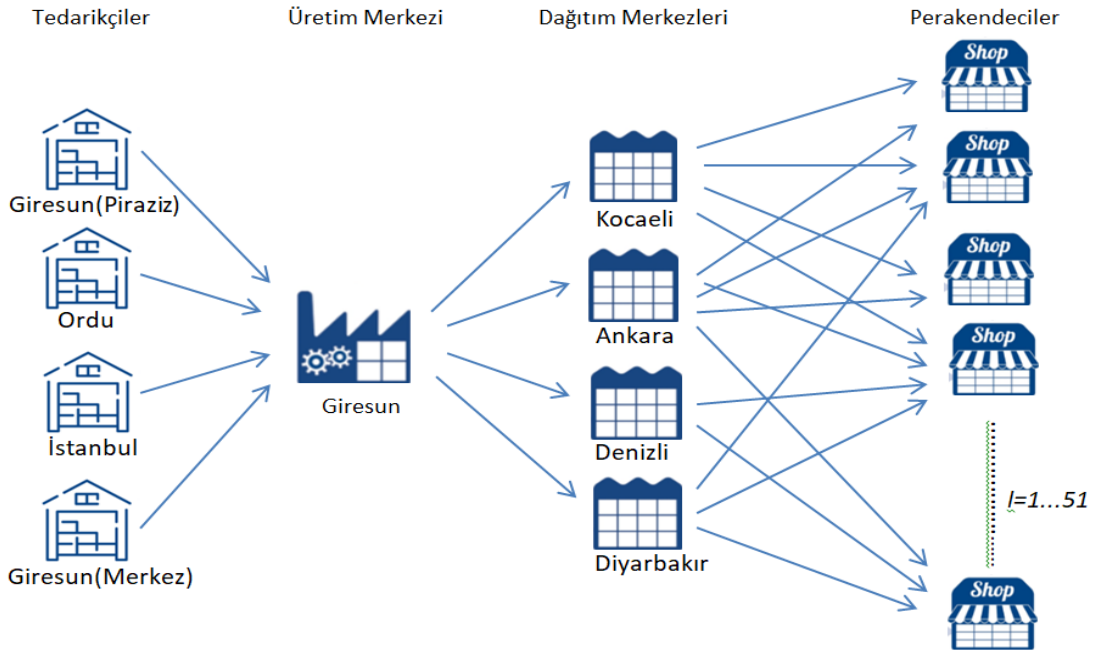
5.1 Uygulamanın Kapsamı ve Amacı

Bu çalışmada bir fındık işleme tesisinin tedarik zinciri ağ tasarım problemi bilimsel bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bu kapsamda firmanın tedarik zinciri ağına yalın üretim sistemlerinin bir parçası olan tam zamanında anlayışı uygulanmış olup firmanın tercih ettiği hammadde kalitesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan deterministik, stokastik ve gürbüz modellerde istenilen zamanlarda istenilen ürünlerin teslimatını gerçekleştirmek için dağıtım merkezi yerleri seçilmiştir. Stokastik ve gürbüz modele eklenen talep ve hammadde kalitesi belirsizliği ile de ele alınan problemin gerçek hayatta karşılaşılan olaylara daha uygun olması sağlanmıştır. Önerilen modellerin çözümü için GAMS 23.5 paket programı kullanılmıştır. Problemin çözümünden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak modellerin uygulanabilirliği test edilmiştir ve bu konuda literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

5.2 Problemin ve Modellerin Tanımlanması

Uygulamada ele alınan problem Giresun'da bulunan bir fındık işleme tesisinin fındık ezmesi ürünü için temin ettiği hammaddenin değişen kalitesine bağlı olarak ürünlerini tam zamanında teslim etmesi için gerekli olan dağıtım merkezlerinin seçimidir. Burada firma fındık ezmesi ürününü üretmek için İstanbul, Ordu ve Giresun'un ilçeleri (Piraziz ve Merkez) olmak üzere 4 adet

tedarikçi ile çalışmaktadır. Temin edilen 2 farklı kalitedeki (Giresun, Levant) hammadde Giresun'da bulunan üretim merkezine gelmektedir. Mevcut durumda üretim merkezinde üretilen ürünler direk olarak perakendecilere ulaşmaktadır. Firma 51 adet perakendecinin talebini karşılarken taşıma maliyetlerini düşürmek ve istenilen zamanda ürünleri teslim etmek için belirlenen 4 adet dağıtım merkezi yeri arasından en uygun dağıtım merkezi yerlerini açmak istemektedir.



Şekil 5.1 İşletmenin tedarik zinciri ağ yapısı

Bu amaçla işletmenin istenilen tedarik zinciri ağının yapısı Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Burada üreticiye ulaşan hammaddeler, kalitesine göre ek işleme tabii tutulmakta ve üreticide kalite maliyeti ve ek işlem süresi oluşturmaktadır. Bu nedenle üretici hammadde kalitesi ile doğru orantılı olarak artan satın alma maliyetleri ile ters orantılı olarak azalan kalite maliyetleri arasında ikilem yaşamaktadır. Ayrıca oluşan ek işlem süresi de ürünün perakendeciye erken ya da geç teslimine etki etmektedir. Üretimden sonra nihai ürünler dağıtım merkezine ve perakendeciye direk kanallarla ulaşmaktadır. Tedarik zinciri boyunca tedarikçi, üretici, dağıtım merkezi ve perakendecilerde kapasite kısıtlıdır. Dağıtım merkezi ve perakendecilerin başlangıç ve son dönem stokları bulunmamaktadır. Perakendecilerin satışı ilk taleplerin karşılanması ile başlamakta ve planlanan dönemlerde bütün talepler karşılanmaktadır. Tedarikçi,

Üretici ve perakendecilerin yerleri belirlidir. rnler tek tip taşıma modu ile yeterli kapasitedeki kamyonlarda taşınmaktadır. Tedarikçi, retici ve dağıtım merkezi arasındaki teslim süreleri, üretim ve ek işlem süreleri belirlidir. Kurulan bu tedarik zinciri ağı için oluşturulan karma tamsayılı matematiksel modelde amaç toplam tedarik zinciri maliyetini minimize etmektir. Verilen tedarik zinciri ağ yapısı için oluşturulan karma tam sayılı doğrusal programlama modelleri Tablo 5.1’de özetlenerek çalışmanın devamında açıklanmaktadır.

Tablo 5.1 Model açıklamaları

MODEL TÜRÜ	BELİRSİZ PARAMETRE	AMAÇ FONKSİYONU	ÇIKTILAR
DETERMİNİSTİK MODEL	Bütün parametrelerin bilindiği varsayılmıştır	Maliyet minimizasyonu	1.Dağıtım merkezlerinin açılıp açılmama kararı 2.Aşamalar arası taşınan ürün miktarı 3. Erken ve geç teslim edilen ürün miktarı
STOKASTİK MODEL	Talep ve hammadde kalitesi belirsizdir	Maliyet minimizasyonu	1.Senaryo bazında dağıtım merkezlerinin açılıp açılmama kararı 2. Senaryo bazında aşamalar arası taşınan ürün miktarı 3. Senaryo bazında erken ve geç teslim edilen ürün miktarı
GÜRBÜZ MODEL	Hammadde kalitesi belirsizdir	Maliyet minimizasyonu	1. Dağıtım merkezlerinin açılıp açılmama kararı 2. Aşamalar arası taşınan ürün miktarı 3. Erken ve geç teslim edilen ürün miktarı

5.2.1 Deterministik Model Formülasyonu

Deterministik modelde belirsiz parametrelerin bilindiği kabul edilmiştir. Bu parametrelerinin sayısal değerleri, stokastik modelde oluşturulan ve eşit

olasılıklara sahip olduğu bilinen senaryoların ortalama değerleri hesaplanarak elde edilmiştir.

İndisler

i : Tedarikçiler $i=\{1,2...\dot{I}\}$

j : Üreticiler $j=\{1,2...J\}$

k : Dağıtım merkezi $k=\{1,2...K\}$

l : Perakendeciler $l=\{1,2...L\}$

q : Kalite Düzeyi $q=\{1,2...Q\}$

p : Periyot $p=\{1,2...P\}$

Karar Değişkenleri

X_{ijqp} : i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşınan miktarı

Y_{jkp} : j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürün miktarı

Z_{klp} : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürün miktarı

R_{jqp} : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme miktarı

TS_{klp} : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta ürünün taşıma süresi

YM_{lp} : l . perakendecinin p . periyottaki yoksatma miktarı

S_{kp}^1 : k . dağıtım merkezinin p . periyottaki stok miktarı

S_{lp}^2 : l . perakendecinin p . periyottaki stok miktarı

O_{kp} : dağıtım merkezi açılırsa 1; aksi halde 0

W_{klp} : dağıtım merkezi perakendeciye hizmet verirse 1; aksi halde 0

Y_{lp}^1 : Perakendecide yoksatma oluşursa 1; aksi halde 0

Parametreler

C_{ijqp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşıma maliyeti

C_{jkp}^2 : j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

C_{klp}^3 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

K_{iqp}^1 : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddenin p . periyottaki kapasitesi

K_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyottaki ürün kapasitesi

K_{kp}^3 : k . dağıtım Merkezinin p . periyottaki kapasitesi

D_{lp} : l . perakendecinin p . periyottaki talebi

P_{iqp} : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta satın alma maliyeti

RQ_q : q . kalitedeki hammaddenin yeniden işleme oranı

I_{kp}^1 : k . dağıtım Merkezinin p . periyotta stok tutma maliyeti

I_{lp}^2 : l . perakendecinin p . periyotta stok tutma maliyeti

B_{lp} : l . perakendecinin p . periyotta yoksatma ceza maliyeti

OC_{kp} : k . dağıtım Merkezinin açılma sabit maliyeti

U_{jp} : j . üreticinin p . periyotta üretim maliyeti

YN_{jqp} : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme maliyeti

T_{ijp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye p . periyotta hammaddenin temin süresi

T_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyotta üretim süresi

T_{jqp}^3 : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme süresi

T_{jkp}^4 : j . üreticinin k . dağıtım merkezine p . periyotta ürünü temin süresi

T_{klp}^5 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta maksimum taşıma süresi

T_{klp}^6 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta minimum taşıma süresi

T_{lp}^7 : l . perakendeciye p . periyotta toplam tedarik zamanı

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{Min ZET} = & \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqp} C_{ijqp}^1 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} C_{jkp}^2 \\
 & + \sum_k \sum_l \sum_p Z_{klp} C_{klp}^3 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} U_{jp} \\
 & + \sum_j \sum_q \sum_p Y N_{jqp} R_{jqp} + \sum_k \sum_p O C_{kp} O_{kp} \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqp} P_{iqp} + \sum_k \sum_p I_{kp}^1 S_{kp}^1 \\
 & + \sum_l \sum_p I_{lp}^2 S_{lp}^2 + \sum_l \sum_p B_{lp} Y M_{lp}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Kısıtlar

$$\sum_j X_{ijqp} \leq K_{iqp}^1 \quad \forall_{i,q,p} \tag{5.2}$$

$$\sum_k Y_{jkp} \leq K_{jp}^2 \quad \forall_{j,p} \tag{5.3}$$

$$\sum_l Z_{klp} \leq K_{kp}^3 O_{kp} \quad \forall_{k,p} \tag{5.4}$$

$$\sum_i \sum_q X_{ijqp} = \sum_k Y_{jkp} \quad \forall_{j,p} \tag{5.5}$$

$$\sum_j Y_{jkp} + S_{kp-1}^1 = \sum_l Z_{klp} + S_{kp}^1 \quad \forall_{k,p} \tag{5.6}$$

$$\sum_k Z_{klp} + S_{lp-1}^2 = D_{lp} + S_{lp}^2 + Y M_{lp-1} + Y M_{lp} \quad \forall_{l,p} \tag{5.7}$$

$$R Q_q \sum_i X_{ijqp} = R_{jqp} \quad \forall_{j,q,p} \tag{5.8}$$

$$\sum_i \sum_j T_{ijp}^1 + \sum_j T_{jp}^2 + \sum_j \sum_q T_{jqp}^3 + \sum_k T_{jkp}^4 + \sum_k TS_{klp} = T_{lp}^7 \quad \forall_{l,p} \quad (5.9)$$

$$\sum_k O_{kp} \leq 4 \quad \forall_p \quad (5.10)$$

$$TS_{klp} \leq T_{klp}^5 W_{klp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.11)$$

$$TS_{klp} - T_{klp}^5 \leq Y_{lp}^1 * M \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.12)$$

$$YM_{lp} \geq Y_{lp}^1 \quad \forall_{l,p} \quad (5.13)$$

$$TS_{klp} \geq T_{klp}^6 W_{klp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.14)$$

$$W_{klp} \leq O_{kp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.15)$$

$$X_{ijqp}, Y_{jkp}, Z_{klp}, R_{jqp}, S_{kp}^1, S_{lp}^2, YM_{lp}, TS_{klp} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k,l,q,p} \quad (5.16)$$

$$O_{kp}, W_{klp}, Y_{lp}^1 \in \{0,1\} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.17)$$

Denklem (5.1) modelin amaç fonksiyonunu göstermektedir. Bu denklemde aşamalar arası taşımaların maliyetlerini, satınalma maliyetlerini, üretim ve kalite maliyetlerini, açılan dağıtım merkezinin sabit maliyetlerini, stok ve yoksatma maliyetlerini minimize etmek amaçlanmıştır. Denklem (5.2) ile tedarikçilerden gönderilen hammaddenin tedarikçi kapasitesini aşamamasını sağlamaktadır. Denklem (5.3) üretici, Denklem (5.4) ise dağıtım merkezi için kapasite kısıtıdır. Denklem (5.5) üreticilere gelen ürün miktarının giden ürün miktarına eşit olmasını sağlayan denge kısıtıdır. Denklem (5.6) ve Denklem (5.7) dağıtım merkezi ve perakendecilere gelen ürünler ile giden ürünlerin erken ya da geç gelmemesini sağlayan tam zamanında denge kısıtıdır. Denklem (5.8) hammadde kalitesine göre üreticiye gelen hammaddenin yeniden işleme miktarını veren kısıttır. Denklem (5.9) dağıtım merkezinden perakendecilere gerçekleşen teslimatın süresini belirleyen kısıttır. Denklem (5.10) her periyotta maksimum 4 dağıtım merkezinin açılmasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.11) dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın maksimum süreyi aşmamasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.12) ve Denklem (5.13) ürünün teslim

zamanının maksimum teslim süresini aştığı durumlarda perakendecide yoksatma olayının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Denklem (5.14) ise dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın minimum süreden önce gelmesini engellemektedir. Denklem (5.15) her perakendecinin açık olan dağıtım merkezinden hizmet almasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.16) modeldeki değişkenlerin pozitif olmasını sağlayan kısıttır. Son olarak Denklem (5.17) de tam sayılı değişkenlerin 0 ya da 1 değerlerini almasını sağlayan kısıttır.

5.2.2 Stokastik Model Formülasyonu

Stokastik modelde 40 adet senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar için önceki yıllara ait talep ve hammadde belirsizlik oranları kullanılarak Arena programı girdi analizi yardımıyla verilerin ortalaması ve standart sapması bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında da 40 adet senaryonun verileri rassal olarak elde edilmiştir.

İndisler

i : Tedarikçiler	$i=\{1,2,...I\}$
j : Üreticiler	$j=\{1,2,...J\}$
k : Dağıtım merkezi	$k=\{1,2,...K\}$
l : Perakendeciler	$l=\{1,2,...L\}$
q : Kalite Düzeyi	$q=\{1,2,...Q\}$
p : Periyot	$p=\{1,2,...P\}$
s : Senaryo	$s=\{1,2,...S\}$

Karar Değişkenleri

X_{ijqps} : s . senaryoda i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşınan miktarı

Y_{jkps} : s . senaryoda j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürün miktarı

Z_{klps} : s . senaryoda k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürün miktarı

R_{jqps} : s . senaryoda j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme miktarı

TS_{klp} : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta ürünün taşıma süresi

YM_{lps} : s . senaryodaki l . perakendecinin p . periyottaki yoksatma miktarı

S_{kps}^1 : s . senaryodaki k . dağıtım merkezinin p . periyottaki stok miktarı

S_{lps}^2 : s . senaryodaki l . perakendecinin p . periyottaki stok miktarı

O_{kps} : dağıtım merkezi açılırsa 1; aksi halde 0

W_{klps} : dağıtım merkezi perakendeciye hizmet verirse 1; aksi halde 0

Y_{lps}^1 : s . senaryodaki perakendecide yoksatma oluşursa 1; aksi halde 0

Parametreler

C_{ijqp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşıma maliyeti

C_{jkp}^2 : j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

C_{klp}^3 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

K_{iqp}^1 : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddenin p . periyottaki kapasitesi

K_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyottaki ürün kapasitesi

K_{kp}^3 : k . dağıtım merkezinin p . periyottaki kapasitesi

D_{lp} : l . perakendecinin p . periyottaki talebi

H_s : s . senaryonun gerçekleşme olasılığı

P_{iqp} : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta satın alma maliyeti

RQ_q : q . kalitedeki hammaddenin yeniden işleme oranı

I_{kp}^1 : k . dağıtım merkezinin p . periyotta stok tutma maliyeti

I_{lp}^2 : l . perakendecinin p . periyotta stok tutma maliyeti

B_{lp} : l . perakendecinin p . periyotta yoksatma ceza maliyeti

OC_{kp} : k . dağıtım merkezinin açılma sabit maliyeti

U_{jp} : j . üreticinin p . periyotta üretim maliyeti

YN_{jqp} : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme maliyeti

T_{ijp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye p . periyotta hammaddenin temin süresi

T_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyotta üretim süresi

T_{jqp}^3 : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme süresi

T_{jkp}^4 : j . üreticinin k . dağıtım merkezine p . periyotta ürünü temin süresi

T_{klp}^5 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta maksimum taşıma süresi

T_{klp}^6 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta minimum taşıma süresi

T_{lp}^7 : l . perakendeciye p . periyotta toplam tedarik zamanı

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{Min ZET} = \sum_s H_s & \left[\sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqps} C_{ijqp}^1 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkps} C_{jkp}^2 \right. \\
 & + \sum_k \sum_l \sum_p Z_{klps} C_{klp}^3 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkps} U_{jp} \\
 & + \sum_j \sum_q \sum_p YN_{jqp} R_{jqps} + \sum_k \sum_p OC_{kp} O_{kps} \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqps} P_{iqp} + \sum_k \sum_p I_{kp}^1 S_{kps}^1 \\
 & \left. + \sum_l \sum_p I_{lp}^2 S_{lps}^2 + \sum_l \sum_p B_{lp} Y M_{lps} \right] \quad (5.18)
 \end{aligned}$$

Kısıtlar

$$\sum_j X_{ijqps} \leq K_{iqp}^1 \quad \forall_{i,q,p} \quad (5.19)$$

$$\sum_k Y_{jkps} \leq K_{jp}^2 \quad \forall_{j,p} \quad (5.20)$$

$$\sum_l Z_{klps} \leq K_{kp}^3 O_{kp} \quad \forall_{k,p} \quad (5.21)$$

$$\sum_i \sum_q X_{ijqps} = \sum_k Y_{jkps} \quad \forall_{j,p} \quad (5.22)$$

$$\sum_j Y_{jkps} + S_{kp-1s}^1 = \sum_l Z_{klps} + S_{kps}^1 \quad \forall_{k,p} \quad (5.23)$$

$$\sum_k Z_{klps} + S_{lp-1s}^2 = D_{lps} + S_{lps}^2 + YM_{lp-1s} + YM_{lps} \quad \forall_{l,p} \quad (5.24)$$

$$RQ_q \sum_i X_{ijqps} = R_{jqps} \quad \forall_{j,q,p} \quad (5.25)$$

$$\sum_i \sum_j T_{ijp}^1 + \sum_j T_{jp}^2 + \sum_j \sum_q T_{jqp}^3 + \sum_k T_{jkp}^4 + \sum_k TS_{klp} = T_{lp}^7 \quad \forall_{l,p} \quad (5.26)$$

$$\sum_k O_{kps} \leq 4 \quad \forall_p \quad (5.27)$$

$$TS_{klp} \leq T_{klp}^5 W_{klps} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.28)$$

$$TS_{klp} - T_{klp}^5 \leq Y_{lps}^1 * M \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.29)$$

$$YM_{lp} \geq Y_{lps}^1 \quad \forall_{l,p} \quad (5.30)$$

$$TS_{klp} \geq T_{klp}^6 W_{klps} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.31)$$

$$W_{klps} \leq O_{kps} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.32)$$

$$X_{ijqps}, Y_{jkps}, Z_{klps}, R_{jqps}, S_{kps}^1, S_{lps}^2, YM_{lps}, TS_{klp} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k,l,q,p} \quad (5.33)$$

$$O_{kps}, W_{klps}, Y_{lps}^1 \in \{0,1\} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.34)$$

Denklem (5.18)'de modelin amaç fonksiyonunu yer almaktadır. Burada tedarik zinciri boyunca gerçekleşen taşımaların maliyetlerini, satınalma maliyetlerini, üretim ve kalite maliyetlerini, açılan dağıtım merkezinin sabit maliyetlerini, stok ve yok satma maliyetlerini minimize etmek amaçlanmıştır. Denklem (5.19), Denklem (5.20) ve Denklem (5.21) sırasıyla tedarikçi, üretici ve dağıtım merkezi için kapasite kısıtını oluşturmaktadır. Denklem (5.22) üreticilere gelen ürün miktarının giden ürün miktarına eşit olmasını sağlayan denge kısıtıdır. Denklem (5.23) ve Denklem (5.24) dağıtım merkezi ve perakendecilere gelen ürünler ile giden ürünlerin erken ya da geç gelmemesini sağlayan tam zamanında denge kısıtıdır. Denklem (5.25) hammadde kalitesine göre üreticiye gelen hammaddenin yeniden işleme miktarını vermektedir. Denklem (5.26) dağıtım merkezinden perakendecilere gerçekleşen teslimatın süresini belirlemektedir. Denklem (5.27) her bir senaryoda ve her periyotta maksimum 4 dağıtım merkezinin açılmasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.28) dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın maksimum süreyi aşmamasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.29) ve Denklem (5.30) ürünün her bir senaryoda teslim zamanının maksimum teslim süresini aştığı durumlarda perakendecide yoksatma olayının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Denklem (5.31) ise dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın minimum süreden önce gelmesini engellemektedir. Denklem (5.32) her bir senaryoda her perakendecinin açık olan dağıtım merkezinden hizmet almasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.33) modeldeki değişkenlerin pozitif olmasını sağlayan kısıttır. Son olarak Denklem (5.34) de tam sayılı değişkenlerin 0 ya da 1 değerlerini almasını sağlayan kısıttır.

5.2.3 Gürbüz Model Formülasyonu

Gürbüz optimizasyon modelinde deterministik modelden farklı olarak belirsizlik kümesi uzayı içinde fizibil sonucu sağlamak için ayarlama parametresi, nominal değer sapma miktarı, gürbüz eşitliğin sağlanmasını sağlayan pozitif değişkenler ve gürbüz kısıtlar tanımlanmıştır.

İndisler

i : Tedarikçiler	$i=\{1,2...\dot{I}\}$
j : Üreticiler	$j=\{1,2...J\}$
k : Dağıtım merkezi	$k=\{1,2...K\}$
l : Perakendeciler	$l=\{1,2...L\}$
q : Kalite Düzeyi	$q=\{1,2...Q\}$
p : Periyot	$p=\{1,2...P\}$

Karar Değişkenleri

X_{ijqp} : i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşınan miktarı

Y_{jkp} : j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürün miktarı

Z_{klp} : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürün miktarı

R_{jqp} : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme miktarı

TS_{klp} : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta ürünün taşıma süresi

YM_{lp} : l . perakendecinin p . periyotta yoksatma miktarı

S_{kp}^1 : k . dağıtım merkezinin p . periyottaki stok miktarı

S_{lp}^2 : l . perakendecinin p . periyotta stok miktarı

O_{kp} : dağıtım merkezi açılırsa 1; aksi halde 0

W_{klp} : dağıtım merkezi perakendeciye hizmet verirse 1; aksi halde 0

Y_{lp}^1 : Perakendecide yoksatma oluşursa 1; aksi halde 0

p_q^1 : Gürbüz eşdeğer modeli sağlayan kısıtlar için pozitif değişken

q_q^1 : Gürbüz eşdeğer modeli sağlayan kısıtlar için pozitif değişken

y_{ijqp}^2 : Gürbüz eşdeğer modeli sağlayan kısıtlar için pozitif değişken

Parametreler

C_{ijqp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye q . kalitedeki hammaddenin p . periyotta taşıma maliyeti

C_{jkp}^2 : j . üreticiden k . dağıtım merkezine p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

C_{klp}^3 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta taşınan ürünün taşıma maliyeti

K_{iqp}^1 : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddenin p . periyottaki kapasitesi

K_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyottaki ürün kapasitesi

K_{kp}^3 : k . dağıtım merkezinin p . periyottaki kapasitesi

D_{lp} : l . perakendecinin p . periyottaki talebi

P_{iqp} : i . tedarikçinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta satın alma maliyeti

RQ_q : q . kalitedeki hammaddenin yeniden işleme oranı

I_{kp}^1 : k . dağıtım merkezinin p . periyotta stok tutma maliyeti

I_{lp}^2 : l . perakendecinin p . periyotta stok tutma maliyeti

B_{lp} : l . perakendecinin p . periyotta yoksatma ceza maliyeti

OC_{kp} : k . dağıtım merkezinin açılma sabit maliyeti

U_{jp} : j . üreticinin p . periyotta üretim maliyeti

YN_{jqp} : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme maliyeti

T_{ijp}^1 : i . tedarikçiden j . üreticiye p . periyotta hammaddenin temin süresi

T_{jp}^2 : j . üreticinin p . periyotta üretim süresi

T_{jqp}^3 : j . üreticinin q . kalitedeki hammaddeyi p . periyotta yeniden işleme süresi

T_{jkp}^4 : j . üreticinin k . dağıtım merkezine p . periyotta ürünü temin süresi

T_{klp}^5 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta maksimum taşıma süresi

T_{klp}^6 : k . dağıtım merkezinden l . perakendeciye p . periyotta minimum taşıma süresi

T_{lp}^7 : l . perakendeciye p . periyotta toplam tedarik zamanı

Γ_q : Ayarlama parametresi

$\widehat{a}_q$: Nominal değerin sapma miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{Min ZET} = & \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqp} C_{ijqp}^1 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} C_{jkp}^2 \\
 & + \sum_k \sum_l \sum_p Z_{klp} C_{klp}^3 + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} U_{jp} \\
 & + \sum_j \sum_q \sum_p Y N_{jqp} R_{jqp} + \sum_k \sum_p O C_{kp} O_{kp} \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_q \sum_p X_{ijqp} P_{iqp} + \sum_k \sum_p I_{kp}^1 S_{kp}^1 + \sum_l \sum_p I_{lp}^2 S_{lp}^2 \\
 & + \sum_l \sum_p B_{lp} Y M_{lp}
 \end{aligned} \tag{5.35}$$

Kısıtlar

$$\sum_j X_{ijqp} \leq K_{iqp}^1 \quad \forall_{i,q,p} \tag{5.36}$$

$$\sum_k Y_{jkp} \leq K_{jp}^2 \quad \forall_{j,p} \tag{5.37}$$

$$\sum_l Z_{klp} \leq K_{kp}^3 O_{kp} \quad \forall_{k,p} \tag{5.38}$$

$$\sum_i \sum_q X_{ijqp} = \sum_k Y_{jkp} \quad \forall_{j,p} \tag{5.39}$$

$$\sum_j Y_{jkp} + S^1_{kp-1} = \sum_l Z_{klp} + S^1_{kp} \quad \forall_{k,p} \quad (5.40)$$

$$\sum_k Z_{klp} + S^2_{lp-1} = D_{lp} + S^2_{lp} + YM_{lp-1} + YM_{lp} \quad \forall_{l,p} \quad (5.41)$$

$$RQ_q \sum_i X_{ijqp} - (p_q^1 \Gamma_q + q_q^1) = R_{jqp} \quad \forall_{j,q,p} \quad (5.42)$$

$$p_q^1 + q_q^1 \leq RQ_q(\hat{a}_q)(y_{ijqp}^2) \quad \forall_{i,j,q,p} \quad (5.43)$$

$$y_{ijqp}^2 \geq X_{ijqp} \quad \forall_{i,j,q,p} \quad (5.44)$$

$$\sum_i \sum_j T_{ijp}^1 + \sum_j T_{jp}^2 + \sum_j \sum_q T_{jqp}^3 + \sum_k T_{jkp}^4 + \sum_k TS_{klp} = T_{lp}^7 \quad \forall_{l,p} \quad (5.45)$$

$$\sum_k O_{kp} \leq 4 \quad \forall_p \quad (5.46)$$

$$TS_{klp} \leq T_{klp}^5 W_{klp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.47)$$

$$TS_{klp} - T_{klp}^5 \leq Y_{lp}^1 * M \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.48)$$

$$YM_{lp} \geq Y_{lp}^1 \quad \forall_{l,p} \quad (5.49)$$

$$TS_{klp} \geq T_{klp}^6 W_{klp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.50)$$

$$W_{klp} \leq O_{kp} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.51)$$

$$X_{ijqp}, Y_{jkp}, Z_{klp}, R_{jqp}, S_{kp}^1, S_{lp}^2, YM_{lp}, TS_{klp} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k,l,q,p} \quad (5.52)$$

$$O_{kp}, W_{klp}, Y_{lp}^1 \in \{0,1\} \quad \forall_{k,l,p} \quad (5.53)$$

Denklem (5.35)'de tedarik zinciri maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan amaç fonksiyonu yer almaktadır. Denklem (5.36), Denklem (5.37) ve Denklem (5.38) sırasıyla tedarikçi, üretici ve dağıtım merkezi için kapasite kısıtını oluşturmaktadır. Denklem (5.39) üreticilere gelen ürün miktarının giden ürün miktarına eşit olmasını sağlayan denge kısıtıdır. Denklem (5.40) ve Denklem (5.41) dağıtım merkezi ve perakendecilere gelen ürünler ile giden ürünlerin

erken ya da geç gelmemesini sağlayan tam zamanında denge kısıtıdır. Denklem (5.42) , Denklem (5.43) ve Denklem (5.44) kalite belirsizliğini doğrusal programlama modeline dahil eden gürbüz kısıtlardır. Burada veri belirsizliği aralık-polihedral belirsizlik kümesi ile sağlanmaktadır. Tanımlanan Γ_q ayarlama parametresi ile modelin belirsizlik kümesi uzayından değerler almasını sağlamaktadır. Denklem (5.45) dağıtım merkezinden perakendecilere gerçekleşen teslimatın süresini belirlemektedir. Denklem (5.46) her periyotta maksimum 4 dağıtım merkezinin açılmasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.47) dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın maksimum süreyi aşmamasını sağlamaktadır. Denklem (5.48) ve Denklem (5.49) ürünün teslim zamanının maksimum teslim süresini aştığı durumlarda perakendecide yoksatma olayının gerçekleşmesini sağlayan kısıtlardır. Denklem (5.50) ise dağıtım merkezinden perakendeciye gerçekleşen teslimatın minimum süreden önce gerçekleşmesini engellemektedir. Denklem (5.51) her perakendecinin açık olan dağıtım merkezinden hizmet almasını sağlayan kısıttır. Denklem (5.52) modeldeki değişkenlerin pozitif olmasını sağlayan kısıttır. Son olarak Denklem (5.53) de tam sayılı değişkenlerin 0 ya da 1 değerlerini almasını sağlayan kısıttır.

5.3 Uygulama Kullanılan Verileri

İşletmeden alınan veriler doğrultusunda Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de verilen ulaşım maliyetleri oluşturulmuştur. Bu maliyetler 1 kilogram ürünün taşıma maliyetinin Karayolları Genel Müdürlüğü’nden ulaşılan şehirlerarası mesafeler ile çarpılmayla elde edilmiştir.

Tablo 5.2 Tedarikçilerden üretim merkezine gerçekleşen taşımanın maliyeti

Tedarikçiler	Üretim Merkezi (Giresun)
İstanbul	4.98 TL/kg
Ordu	0.24 TL/kg
Piraziz	0.14 TL/kg
Merkez	0.05 TL/kg

Tablo 5.3 Üretim merkezinden DM'ye gerçekleşen taşımanın maliyeti

	Kocaeli	Ankara	Denizli	Diyarbakır
Giresun	4.38 TL/kg	3.26 TL/kg	5.8 TL/kg	3.7 TL/kg

Tablo 5.4'te perakendecilere gerçekleşen taşımanın maliyeti ve perakendecide stok oluşturmamak için taşınması gereken minimum ulaşım süreleri verilmiştir. Perakendecilerde tam zamanında dağıtımın gerçekleşmesini sağlamak ve yok satmayı engellemek için ürünlerin perakendecilere maksimum ulaşım süresi ise bütün perakendeciler için her periyotta 48 saattir. Ürünler dağıtım merkezinden perakendecilere bu minimum süreden önce ya da maksimum süreden sonra ulaştıklarında EK-B ile EK-C'de bulunan erken ve geç teslimat ceza maliyeti ile karşı karşıya kalmaktadır.

Tablo 5.4 DM'den perakendecilere taşımların maliyeti ve minimum ulaşım süresi

	Kocaeli		Ankara		Denizli		Diyarbakır	
	TL/kg	Saat	TL/kg	Saat	TL/kg	Saat	TL/kg	Saat
Kayseri	3.54	8	1.70	5	3.79	9	3.15	7
Niğde	3.68	9	1.87	5	3.46	8	3.84	9
Nevşehir	3.31	7	1.47	4	3.36	8	3.59	8
Konya	2.95	6	1.38	4	2.20	7	4.72	10
Bursa	0.71	4	2.06	5	2.33	7	6.85	14
Ankara	1.83	5	0.08	1	2.55	7	4.86	11
Çankırı	2.06	6	0.70	3	3.25	8	4.93	11
Karaman	3.56	8	1.98	5	2.78	7	4.36	10
Kırıkkale	2.23	6	0.40	2	2.95	7	4.48	10
Zonguldak	1.18	3	1.44	4	3.61	8	6.26	13
Bartın	1.66	4	1.52	5	3.93	9	6.08	13
Karabük	1.53	3	1.15	4	3.57	5	5.71	12
Kastamonu	2.14	5	1.30	5	3.85	9	5.10	11
Düzce	0.57	3	1.26	4	3.00	7	6.12	13
Sakarya	0.20	2	1.63	6	2.63	7	6.49	14
Kocaeli	0.08	1	1.83	6	2.83	8	6.69	14
Kırklareli	1.73	4	3.56	9	3.80	10	8.41	18
İstanbul	0.59	3	2.43	7	3.42	9	7.28	17

Tablo 5.4 DM'den perakendecilere taşımların maliyeti ve minimum ulaşım süresi
(devamı)

Kütahya	1.30	5	1.67	6	1.53	4	6.42	14
Eskişehir	1.14	4	1.25	4	1.90	5	6.05	13
Antalya	3.25	8	2.92	8	1.18	4	5.77	12
Muğla	3.60	8	3.32	9	0.78	3	7.44	15
İzmir	2.43	7	3.10	8	1.20	4	7.64	17
Manisa	2.24	6	3.02	8	1.11	4	7.55	17
Denizli	2.83	7	2.55	6	0.08	1	6.89	15
Diyarbakır	6.69	14	4.86	11	6.89	15	0.08	1
Şırnak	8.13	15	6.30	13	7.93	17	1.51	4
Batman	7.22	14	5.39	12	7.40	16	0.54	2
Şanlıurfa	6.14	13	4.31	10	5.94	13	0.94	3
Siirt	7.69	16	5.86	13	7.87	17	1.00	3
Mardin	7.15	15	5.32	12	6.95	14	0.51	2
Malatya	5.35	11	3.52	8	5.61	12	1.33	4
Van	8.18	17	6.55	15	8.64	19	1.98	5
Kars	7.06	12	5.76	13	8.24	18	2.82	7
Erzincan	4.97	11	3.67	8	6.15	13	2.19	6
Adıyaman	5.88	13	4.05	9	5.87	12	1.10	4
Gaziantep	5.41	13	3.57	8	5.21	11	1.68	5
Adana	4.44	10	2.63	7	4.07	9	2.81	7
Hatay	5.46	12	3.65	9	5.10	11	2.72	7
Kahramanmaraş	5.00	10	2.78	8	5.10	11	1.98	6
Rize	5.51	12	4.39	10	6.94	14	3.77	9
Artvin	6.38	13	5.25	12	7.80	17	2.95	8
Trabzon	5.11	11	3.99	10	6.53	14	3.37	9
Ordu	4.15	9	3.02	8	5.57	13	3.93	10
Giresun	4.38	10	3.26	9	5.80	13	3.70	9
Samsun	3.34	8	2.21	7	4.76	10	4.38	10
Sinop	3.06	7	2.21	7	4.75	10	5.13	11
Tokat	3.61	8	2.03	6	4.58	10	3.15	8
Çorum	2.70	7	1.29	5	3.84	9	4.09	10
Sivas	4.18	9	2.35	7	4.82	11	2.57	6
Aksaray	3.02	7	1.21	5	2.96	7	3.99	9

Tablo 5.5'te tedarikçilerden alınan hammaddelerin kalitelerine göre satın alma maliyetleri gösterilmektedir. Giresun Kalite fıındığın kabuk atma oranı Levant Kalite fıındığa göre daha yüksektir. Bu nedenle Giresun yani birinci kalite fıındığın satın alma maliyeti daha yüksekken, Levant yani ikinci kalite fıındığın ise satın alma maliyeti daha düşüktür. Kabuk atma oranlarına göre yeniden işleme oranları da değışiklik göstermektedir.

Tablo 5.5 Farklı kalitedeki hammaddelerin satın alma maliyeti (TL/kg)

Tedarikçi	Kalite Düzeyi	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
İstanbul	Giresun Kalite	35.8	36.3	35.8	33.1
	Levant Kalite	32.3	34.8	31.7	30.6
Ordu	Giresun Kalite	43.8	40.5	38.9	39.4
	Levant Kalite	40.8	38.5	35.9	36.3
Piraziz	Giresun Kalite	41.9	38.4	37.1	38.6
	Levant Kalite	40.9	37.8	36.1	37.2
Merkez	Giresun Kalite	39.4	37.2	39.6	41.5
	Levant Kalite	38.8	36.4	36.9	40.7

Ürünün %70'ini fıındık hammaddesi oluşturmaktadır. Temin edilen Giresun ve Levant kalitedeki fıındıklar öncelikle ısıl işlem görerek kavrulur ve kabuklarından ayrılır. Fıındıklar kalitesine göre kabuklarından ayrılırken yeniden işleme tabii tutulmaktadır. İklim ve toprak verimliliğine göre iki kalitedeki hammaddede her sene kalite farklılıkları oluşmaktadır. Stokastik modelde kullanılmak üzere daha önceki dönemlere ait yeniden işleme oranlarının Arena programında girdi analizi yapılarak normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Analiz sonucunda Giresun kalite hammaddenin yeniden işleme oranının ortalaması 0.07 iken Levant kalitedeki hammaddenin yeniden işleme oranı 0.17 olarak bulunmuştur. Her iki kalitedeki hammaddenin standart sapması ise 0.01'dir. Bu veriler kullanılarak 40 adet senaryo oluşturulmuş ve EK-A' da verilen 40 senaryoya ait yeniden işleme oranının ortalaması da deterministik modelde kullanılmıştır.

Tablo 5.6 Tedarikçi ve dağıtım merkezi kapasiteleri

Tedarikçiler		Dağıtım Merkezi	
İstanbul	70000 kg	Kocaeli	568000 kg
Ordu	100000 kg	Ankara	569000 kg
Piraziz	50000 kg	Denizli	573000 kg
Merkez	62000 kg	Diyarbakır	575000 kg

Tablo 5.6’te tedarikçi ve dağıtım merkezlerinin yıllık kapasiteleri yer almaktadır. Üretim tesisinin yıllık üretim kapasitesi ise 2280 tondur. İşletme bir kilogram fındık ezmesini 38.9 TL’ye üretirken saatte ise 950 kg’ a kadar fındık ezmesi üretimi yapabilmektedir. Tablo 5.7’ de üretimde kullanılan ve kabuklarından ayrılmayan fındıkların seçilip tekrar işlenmesinin meydana getirdiği yeniden işleme maliyeti verilmiştir.

Tablo 5.7 Hammaddelerin yeniden işleme maliyeti

Kalite Düzeyleri	Birim Fiyatı
Giresun Kalite Fındık	11.33 TL/kg
Levant Kalite Fındık	17.33 TL/kg

Tablo 5.8’ de olası dağıtım merkezlerinin açılmasında meydana gelen sabit maliyetler gösterilmektedir.

Tablo 5.8 Dağıtım merkezlerinin sabit maliyeti

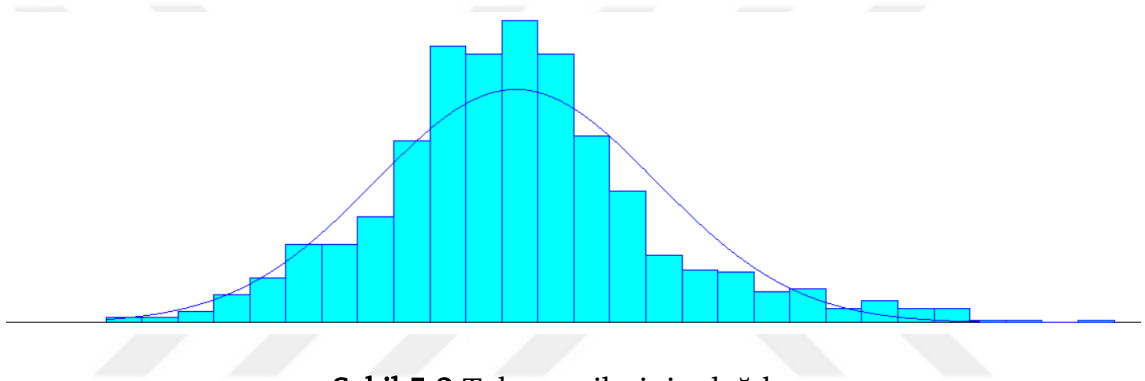
Dağıtım Merkezleri	TL
Kocaeli	5045
Ankara	6310
Denizli	4825
Diyarbakır	6035

Tablo 5.9’ da tedarikçilerden üretim merkezine gerçekleşen hammadde teslimatının ve üretim merkezinden dağıtım merkezlerine gerçekleşen ürün teslimatının ulaşım süreleri yer almaktadır.

Tablo 5.9 Tedarikçi ve dağıtım merkezine temin süresi

Tedarikçiler	Zaman	Dağıtım Merkezi	Zaman
İstanbul	20 saat	Kocaeli	15 saat
Ordu	1.5 saat	Ankara	12 saat
Piraziz	0.5 saat	Denizli	23 saat
Merkez	0.4 saat	Diyarbakır	11 saat

İşletmeden alınan son 4 yıla ait talep verilerine Arena programı ile dağılıma uygunluk testi yapılmıştır. Şekil 5.2’ de verilen grafik talep verilerinin normal dağılıma uyduğunu göstermektedir. Analiz sonucunda veri setinin ortalaması 3885 kg ve standart sapması 595 kg olarak elde edilmiştir.

**Şekil 5.2** Talep verilerinin dağılımı

Bu veriler kullanılarak rassal olarak 40 adet senaryo verisi oluşturulmuştur [73]. Üretilen 40 adet senaryonun talep değerlerinin ortalaması Tablo 5.10’ da gösterilmektedir. Senaryoların gerçekleşme olasılıklarının eşit olduğunun bilinmesi ile deterministik modelde bu verilerin gerçekleştiği varsayılmıştır.

Tablo 5.10 Deterministik modelin talep verileri (kg)

Perakendeciler	Periyot			
	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
Kayseri	3957.60	3881.22	3912.82	4061.22
Niğde	3787.86	3953.00	3960.62	3935.43
Nevşehir	3929.88	3977.96	3881.48	3944.92
Konya	3927.15	3963.91	3910.11	3700.37
Bursa	3843.00	3890.24	3888.35	3779.85
Ankara	3865.64	3886.38	3753.50	3950.42
Çankırı	3817.09	3949.86	3855.32	3784.89

Tablo 5.10 Deterministik modelin talep verileri (kg) (devamı)

Karaman	3711.55	4005.82	3632.13	3904.56
Kırıkkale	3972.84	3863.39	3901.51	3925.30
Zonguldak	3699.78	4012.96	3961.54	3972.23
Bartın	3932.83	3904.73	3868.45	4015.21
Karabük	3822.71	3890.41	3694.38	4011.23
Kastamonu	3918.01	3947.41	3737.99	4125.69
Düzce	3815.90	4014.09	3918.25	3947.78
Sakarya	3888.43	3798.47	4003.56	4080.79
Kocaeli	3872.21	3818.49	3854.42	3915.81
Kırklareli	3874.89	3835.61	3794.68	3931.01
İstanbul	4003.28	3927.04	3834.12	3800.84
Kütahya	3833.03	3829.94	3773.41	4001.81
Eskişehir	3779.16	3856.82	3985.17	3929.80
Antalya	4078.50	3835.67	3904.73	3932.73
Muğla	3960.56	3959.50	3735.49	3931.42
İzmir	4008.39	4099.41	3749.74	3840.42
Manisa	3940.42	3965.65	3856.47	3810.81
Denizli	3739.33	3899.31	3744.13	3807.66
Diyarbakır	4043.08	3895.33	3813.74	3882.08
Şırnak	3645.31	4013.46	3887.42	3782.22
Batman	3981.68	3839.64	3800.34	3737.42
Şanlıurfa	3845.49	3946.71	3933.03	3922.60
Siirt	3775.55	3784.98	3856.57	3965.87
Mardin	3982.73	4047.74	3858.48	3844.16
Malatya	3864.30	3897.52	3977.80	3968.12
Van	3877.78	3649.69	3825.77	3992.47
Kars	3884.84	3896.44	3736.36	3872.40
Erzincan	3747.42	3946.48	3963.24	3874.90
Adıyaman	3968.60	3985.86	3918.61	3705.51
Gaziantep	3958.57	3843.79	3899.80	3805.61
Adana	3950.97	3804.60	3832.83	3655.52
Hatay	3829.91	3938.12	4092.99	4023.67
Kahramanmaraş	4051.52	4130.74	3850.44	3709.51
Rize	3851.54	4025.24	4049.81	3769.16
Artvin	4020.68	3909.51	3793.77	3774.77
Trabzon	3790.94	3956.98	3817.71	3681.31
Ordu	4066.36	3659.18	3894.98	3925.06

Tablo 5.10 Deterministik modelin talep verileri (kg) (devamı)

Giresun	4012.22	3933.70	3902.70	3821.02
Samsun	3981.62	3670.06	3953.76	3886.70
Sinop	3833.80	3818.13	3922.22	3840.25
Tokat	3906.34	3826.02	3803.46	3957.65
Çorum	3759.86	4100.07	3776.69	3859.72
Sivas	3750.56	3804.91	3870.94	3809.37
Aksaray	4037.69	3883.59	3927.33	3712.93

5.4 Sonuçlar

Bu bölümde çalışmada önerilen optimizasyon modellerinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar verilmektedir. Her bir modelin sonuçları öncelikle ayrı olarak verilmiş, daha sonra ise karşılaştırılmaktadır.

5.4.1 Deterministik Modelin Sonuçları

Önerilen deterministik modelde belirsiz parametreler oluşturulan 40 adet senaryonun ortalama değerinin gerçekleştiği varsayılarak deterministik belirlenmiştir. Tablo 5.11’ de GAMS programında çözülen modelin istatistik bilgilerine yer verilmiştir.

Tablo 5.11 Deterministik modelin özeti

Amaç Fonksiyonu	56803738.4 TL
Çözüm Süresi	0.016 sn
Sürekli Değişken Sayısı	2945
Kısıt Sayısı	3808
Kesikli Değişken Sayısı	832
İterasyon Sayısı	3376

Amacı maliyet minimizasyonu olan deterministik modelin sonucunda Tablo 5.12 ve Tablo 5.13’ de gerçekleşen hammadde temininde üretim tesisine gelen hammaddelerin kalitelerine göre miktarları verilmektedir.

Tablo 5.12 Giresun kalite hammaddeden temin edilen miktar

Tedarikçiler	Periyot			
	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
İstanbul	6879.57 kg	-	-	68475.55 kg
Ordu	-	-	-	-
Piraziz	-	50000 kg	50000 kg	-
Merkez	62000 kg	62000 kg	-	-

Perakendecilerin talebini karşılamak için üretilmesi gereken ürünler için toplamda 554729,38 kg hammadde temin edilmiştir. Bunun 299355,12 kg'ı Giresun Kalite hammadde iken 255374,26 kg'ı Levant kalite hammaddedir. Yani temin edilen hammaddenin %54'ü birinci kalite iken %46'sı 2. kalite hammaddeden oluşmaktadır.

Tablo 5.13 Levant kalite hammaddeden temin edilen miktar

Tedarikçiler	Periyot			
	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
İstanbul	70000 kg	-	-	70000 kg
Ordu	-	-	87951.22 kg	-
Piraziz	-	-	-	-
Merkez	-	27423.04 kg	-	-

Temin edilen hammaddelerin yeniden işlendikleri miktarlarda Tablo 5.14' de verilmektedir. Satın alınan Giresun kalite fıındığın toplamda 20954.86 kg'ı yeniden işlenirken Levant kalite fıındığın toplamda 43413.63 kg'ı yeniden işlenmektedir.

Tablo 5.14 Yeniden işlenen hammadde miktarı (kg)

Kalite Düzeyi	Periyot			
	1	2	3	4
Giresun	4821.57	7840	3500	4793.29
Levant	11900	4661.92	14951.71	11900

Deterministik modelin sonuçlarına göre perakendecilerinin talepleri 4 adet dağıtım merkezi arasından Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır merkezlerinin açılması ile sağlanmaktadır. 3 adet dağıtım merkezinin açılması sabit maliyeti arttırsa da tam zamanında teslimatın yapılmasını sağlayarak işletmenin müşteri kaybına neden olacak ceza maliyetlerinden kurtulmasını sağlamaktadır. Açılan dağıtım merkezlerinin hizmet verdiği perakendeciler ve teslimat zamanları Tablo 5.15’de verilmektedir.

Tablo 5.15 Perakendecilerin hizmet aldığı dağıtım merkezleri ve temin süreleri

DM	Perakendeciler	Periyot			
		Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
KOCAELİ	Bursa	37.5	4	4	4
	Sakarya	43.5	2	2	2
	Kocaeli	46.5	1	1	1
	Kırklareli	37.5	4	4	4
	İstanbul	40.5	3	3	3
ANKARA	Kayseri	34.5	5	5	5
	Niğde	34.5	5	5	5
	Nevşehir	37.5	4	4	4
	Konya	37.5	4	4	4
	Ankara	46.5	1	1	1
	Çankırı	40.5	3	3	3
	Karaman	34.5	5	5	5
	Kırıkkale	43.5	2	2	2
	Zonguldak	37.5	4	4	4
	Bartın	34.5	5	5	5
	Karabük	37.5	4	4	4
	Kastamonu	34.5	5	5	5
	Düzce	37.5	4	4	4
	Kütahya	31.5	6	6	6
	Eskişehir	37.5	4	4	4
	Antalya	25.5	8	8	8
	Muğla	22.5	9	9	9
	İzmir	25.5	8	8	8
	Manisa	25.5	8	8	8
	Denizli	31.5	6	6	6

Tablo 5.15 Perakendecilerin hizmet aldığı dağıtım merkezleri ve temin süreleri
(devamı)

	Adana	28.5	7	7	7
	Ordu	25.5	8	8	8
	Giresun	22.5	9	9	9
	Samsun	28.5	7	7	7
	Sinop	28.5	7	7	7
	Tokat	31.5	6	6	6
	Çorum	34.5	5	5	5
	Sivas	28.5	7	7	7
	Aksaray	34.5	5	5	5
DIYARBAKIR	Diyarbakır	46.5	1	1	1
	Şırnak	37.5	4	4	4
	Batman	43.5	2	2	2
	Şanlıurfa	40.5	3	3	3
	Siirt	40.5	3	3	3
	Mardin	43.5	2	2	
	Malatya	37.5	4	4	4
	Van	34.5	5	5	5
	Kars	28.5	7	7	7
	Erzincan	31.5	6	6	6
	Adıyaman	37.5	4	4	4
	Gaziantep	34.5	5	5	5
	Hatay	28.5	7	7	7
	Kahramanmaraş	31.5	6	6	6
	Rize	22.5	9	9	9
	Artvin	25.5	8	8	8
	Trabzon	22.5	9	9	9

51 adet perakendecinin 5'i Kocaeli'nden, 17'si Diyarbakır'dan, 29'u ise Ankara'dan taleplerini karşılamaktadır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi perakendecilerin büyük çoğunluğu taleplerini mesafe yakınlığı ve tam zamanında teslimat yapmak için Ankara'dan tedarik etmektedir. Verilen teslimat zamanları Ocak döneminde maksimum teslim zamanına daha yakın sürede gerçekleşirken Nisan, Ağustos ve Aralık dönemlerinde minimum süre yakın teslimat gerçekleşmiştir.

5.4.2 Stokastik Modelin Sonuçları

Ele alınan problem oluşturulan 40 adet senaryo ile stokastik olarak modellenmiştir. Hammadde kalitesi ve talep belirsizliği altında GAMS programında çözümlenen modelin sonuçları aşağıda verilmektedir. Tablo 5.16’ da modelin istatistik sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 5.16 Stokastik modelin özeti

Amaç Fonksiyonu	56814013.09 TL
Çözüm Süresi	0.625 sn
Sürekli Değişken Sayısı	85937
Kısıt Sayısı	150292
Kesikli Değişken Sayısı	33280
İterasyon Sayısı	235065

Stokastik modelin sonuçlarında perakendecilerin talep değerleri istenilen zaman aralığında karşılanmaktadır. Taleplerin karşılanması için temin edilen hammaddelerin yüzdelik değerleri kalitelerine göre Tablo 5.17’ de verilmektedir. Tabloya bakıldığında 40 senaryonun 30’unda Giresun kalite fındık Levant kalite fındığa göre daha yüksek oranda tercih edilmiştir. Giresun kalite fındık hammaddesi %80 oranında en fazla Senaryo 25’ de görülmektedir. EK-A’ da verilen yeniden işleme oranlarına göre tercih edilen hammaddenin kalitesi ve oranı da değişkenlik göstermektedir.

Tablo 5.17 Senaryolara göre temin edilen hammaddelerin yüzdelik oranları

Senaryolar	Giresun Kalite	Levant Kalite	Senaryolar	Giresun Kalite	Levant Kalite
Senaryo 1	53%	47%	Senaryo 21	48%	52%
Senaryo 2	55%	45%	Senaryo 22	55%	45%
Senaryo 3	79%	21%	Senaryo 23	54%	46%
Senaryo 4	47%	53%	Senaryo 24	54%	46%
Senaryo 5	55%	45%	Senaryo 25	80%	20%
Senaryo 6	54%	46%	Senaryo 26	46%	54%
Senaryo 7	55%	45%	Senaryo 27	53%	47%
Senaryo 8	55%	45%	Senaryo 28	47%	53%
Senaryo 9	54%	46%	Senaryo 29	54%	46%

Tablo 5.17 Senaryolara göre temin edilen hammaddelerin yüzdelik oranları
(devamı)

Senaryo 10	54%	46%	Senaryo 30	47%	53%
Senaryo 11	55%	45%	Senaryo 31	55%	45%
Senaryo 12	54%	46%	Senaryo 32	55%	45%
Senaryo 13	48%	52%	Senaryo 33	54%	46%
Senaryo 14	53%	47%	Senaryo 34	54%	46%
Senaryo 15	47%	53%	Senaryo 35	54%	46%
Senaryo 16	45%	55%	Senaryo 36	48%	52%
Senaryo 17	54%	46%	Senaryo 37	53%	47%
Senaryo 18	55%	45%	Senaryo 38	34%	66%
Senaryo 19	54%	46%	Senaryo 39	55%	45%
Senaryo 20	70%	30%	Senaryo 40	53%	47%

Stokastik modelin ve senaryoların ayrı ayrı bütün çözümlerinde hepsinde Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır’ daki dağıtım merkezleri açılırken Denizli’deki dağıtım merkezi açılmamıştır.

5.4.2.1 Senaryo Analizleri

Stokastik modelin geçerliliğini analiz etmek için 40 adet senaryonun her biri deterministik olarak çözülmüş ve Tablo 5.18’ de çözülen senaryoların amaç fonksiyonları verilmiştir.

Tablo 5.18 Senaryoların analiz sonuçları

Senaryolar	Amaç Fonksiyonu	Senaryolar	Amaç Fonksiyonu
Senaryo 1	56930138.23	Senaryo 21	57308468.70
Senaryo 2	56315013.38	Senaryo 22	56853450.39
Senaryo 3	56330228.00	Senaryo 23	56153876.77
Senaryo 4	56715772.66	Senaryo 24	55445127.46
Senaryo 5	57320629.99	Senaryo 25	57409479.89
Senaryo 6	57392005.77	Senaryo 26	56625060.91
Senaryo 7	56488640.50	Senaryo 27	56800411.73
Senaryo 8	56809085.33	Senaryo 28	57958745.74
Senaryo 9	56679686.60	Senaryo 29	55575270.97
Senaryo 10	57130712.44	Senaryo 30	57115233.78
Senaryo 11	55760333.64	Senaryo 31	56939092.09

Tablo 5.18 Senaryoların analiz sonuçları (devamı)

Senaryo 12	57232262.90	Senaryo 32	56949767.54
Senaryo 13	57488076.34	Senaryo 33	56761975.44
Senaryo 14	56586069.54	Senaryo 34	57383693.82
Senaryo 15	55788283.81	Senaryo 35	56820463.36
Senaryo 16	58505639.16	Senaryo 36	56843805.41
Senaryo 17	57189860.27	Senaryo 37	57721131.61
Senaryo 18	56081012.25	Senaryo 38	55774034.56
Senaryo 19	56786625.63	Senaryo 39	56373675.91
Senaryo 20	56890610.06	Senaryo 40	57312136.17

Burada senaryo analizini gerçekleştirmek için daha önceki bölümde anlatılan iki kavram karşımıza çıkmaktadır; MBBD ve SÇD. MBBD'ni hesaplamak için öncelikle BG problemi ile BŞ probleminin sonuçlarına ulaşılmıştır. BG problemi her bir senaryonun eşit olasılıkla ve en az bir kere gerçekleşmesi nedeniyle Tablo 5.18'de verilen 40 adet senaryonun amaç fonksiyonlarının ortalaması alınarak elde edilmektedir. BŞ problemi ise belirsiz olan hammadde kalitesi ve talep parametrelerinin stokastik modele eklenerek çözümünden elde edilen değerdir. MBBD ise BŞ probleminin sonucunun BG probleminin sonucundan çıkartılması ile hesaplanmaktadır. Bütün hesaplamalar yapıldığında BG probleminin amaç fonksiyonu 5613639.72 TL iken BŞ probleminin amaç fonksiyonu 56814013.09 TL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar karşısında MBBD ise 373.37 TL olarak bulunmuştur.

SÇD içinse öncelikle 40 adet senaryonun verilerinin ortalamasının alınmasıyla bulunan BD hesaplanmıştır. Daha sonra birinci aşama kararlarının sonuçlarının stokastik modele eklenmesiyle BDÇBD hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda BD 56803738.41 TL, BDÇBD ise 56814013.09 TL olarak bulunmuştur. SÇD' de BDÇBD sonucundan BD sonucunun çıkarılması ile 0 TL olarak hesaplanmıştır.

Son olarak elde edilen bu değerlerin Madansky'nin çalışmasında yer alan eşitsizlikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş olup Tablo 5.19'da gösterilmiştir.

Tablo 5.19 Eşitsizlikler

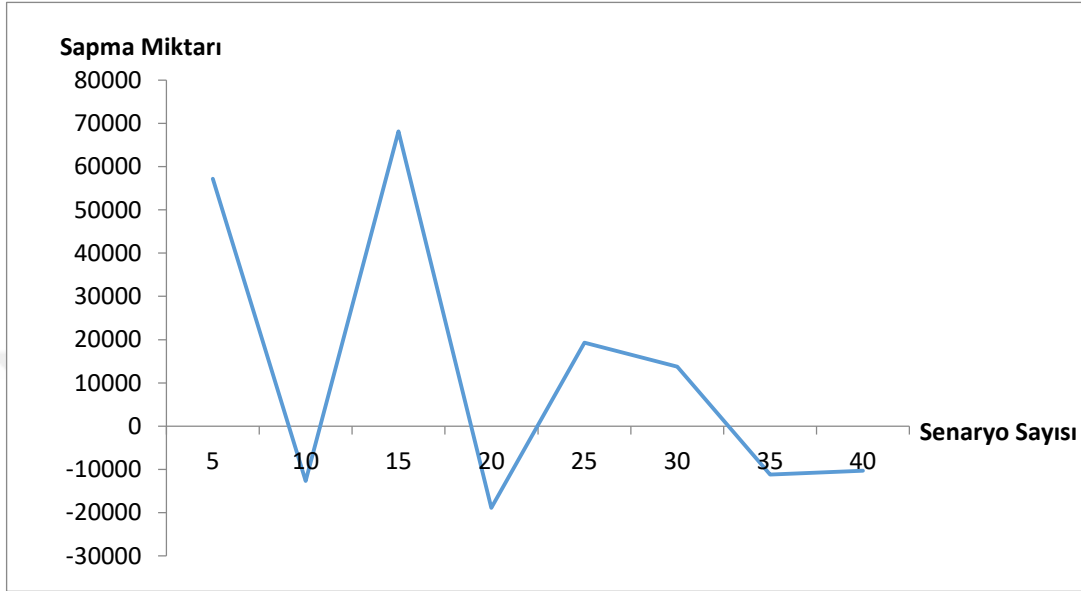
Eşitsizlikler	Değerler
$BG \leq BS \leq BD\dot{C}BD$	$5613639.72 \leq 56814013.09 \leq 56814013.09$
$BD \leq BG$	$56803738.41 \leq 5613639.72$
$0 \leq MBBD, 0 \leq S\dot{C}D$	$0 \leq 373.37, 0 \leq 0$
$S\dot{C}D \leq BD\dot{C}BD - BD$	$0 \leq 56814013.09 - 56803738.41$
$MBBD \leq BD\dot{C}BD - BD$	$373.37 \leq 56814013.09 - 56803738.41$

Yapılan bir diğer analiz ise farklı sayılarda senaryolar ile çözülen stokastik modelin deterministik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Burada 40 adet senaryo için oluşturulan veriler 5,10,15,20,25,30 ve 35 adet senaryo içinde kullanılmıştır. Tablo 5.20’ de verilen tabloda artan sayıdaki senaryoların amaç fonksiyonları ve deterministik modelin amaç fonksiyonundan sapma miktarları verilmiştir. Artı yöndeki en büyük sapma miktarı %32.2 oranı ile 15 senaryonun gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda meydana gelmiştir. Bu durumda işletme 68148.62 TL fazla maliyete sahip olmaktadır. Eksi yöndeki en büyük sapma miktarı ise %8.9 oran ile 20 senaryonun gerçekleştiğinin varsayıldığı durumdur. Burada işletme 18910.52 TL daha az maliyete sahip olmaktadır.

Tablo 5.20 Farklı sayıda senaryoların analizi

Senaryo Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Sapma Miktarı
5	56746565.27	57173.14
10	56816431.66	-12693.25
15	56735589.79	68148.62
20	56822648.93	-18910.52
25	56784458.31	19280.1
30	56790020.74	13717.67
35	56814939.08	-11200.67
40	56814013.09	-10274.68

Şekil 5.3'te de farklı sayıdaki senaryoların sapma miktarı görsel olarak sunulmuştur. Şekilden de anlaşıldığı gibi sapma miktarlarının büyüğü pozitif yönde gerçekleşmektedir. Ele alınan problem maliyet minimizasyonu olduğu için pozitif yöndeki sapmalar işletme için olumsuz etkiye sahiptir.



Şekil 5.3 Farklı sayıdaki senaryo analizi

5.4.3 Gürbüz Modelin Sonuçları

Gurbüz modelin uygulamasında hammadde kalitesindeki belirsizliğin modelde yeterince sağlanması için aralık ve polihedral belirsizlik kümelerinin kesişimi ele alınmıştır. Deterministik model bu belirsizlik kümesini sağlamak üzere gurbüz eşdeğer modeline dönüştürülmüştür. Burada Γ_q ayarlama parametresi ile hammadde kalitesindeki belirsizlik değerleri aralık-polihedral belirsizlik kümesi içinde değişmesini sağlamaktadır. İki farklı kaliteye sahip hammadde gurbüz eşdeğer modelde işletmeden alınan daha önceki dönemlere ait veriler doğrultusunda ortalama değeri ve standart sapması kullanılarak birinci kalite hammadde için 0.04 yeniden işleme oranından 0.01 değişkenlikle 0.10'a kadar değerlendirilmiştir. İkinci kalite hammadde içinse bu değer 0.12'den başlayarak 0.01 değişkenlikle 0.24'e kadar değişmektedir.

Tablo 5.21 Gürbüz Modelin Özeti

Amaç Fonksiyonu	57293279.47 TL
Çözüm Süresi	0,74 sn
Sürekli Değişken Sayısı	3161
Kısıt Sayısı	4892
Kesikli Değişken Sayısı	1036
İterasyon Sayısı	3221

Hammaddelerin değişen bütün yeniden işleme oranları robust modelde çözümlenmiştir. En kötü durum senaryosuna odaklanan robust modelde, deterministik modelde ele alınan yeniden işleme oranlarının çözümü aşağıda verilmiştir. Tablo 5.21 de verilen modelin özetinde amaç fonksiyonuna bakıldığında deterministik modelin amaç fonksiyonuna göre %0.8 daha fazla maliyet oluştuğu görülmektedir.

Tablo 5.22 Giresun kalite hammaddeden temin edilen miktar(kg)

Tedarikçiler	Periyot			
	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
İstanbul	-	50000	50000	6605.77
Ordu	-	130.2	130.2	-
Piraziz	7009.77	-	-	62000
Merkez	62000	62000	-	-

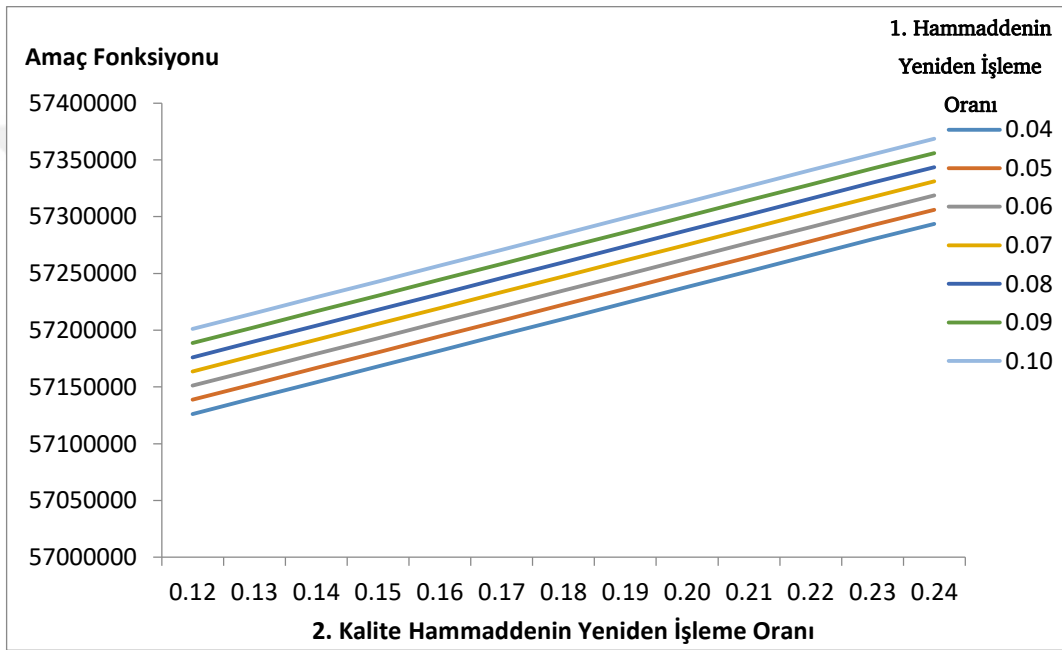
Tablo 5.22’de Giresun kalite fındık için tedarikçilerden temin edilen hammadde miktarları verilmektedir. Tablodaki değerler Giresun Kalite fındığının yeniden işleme oranının 0.7 olmasına göre çözümlenen değerlerdir. Buna göre işletme toplam temin edilen hammaddenin %51.7’sini Giresun kalite fındıktan karşılamaktadır.

Tablo 5.23 Levant kalite hammaddeden temin edilen miktar(kg)

Tedarikçiler	Periyot			
	Ocak	Nisan	Ağustos	Aralık
İstanbul	-	-	35179.41	11507.24
Ordu	11507.24	-	35179.41	35179.41
Piraziz	35179.41	-	17951.23	35179.41
Merkez	35179.41	27781.83	-	-

Tablo 5.23'te ise Levant kalite findığının tedarikçilerden temin edildiği miktarlar verilmektedir. Burada Levant kalite findığının yeniden işleme oranının 0.17 olmasına göre çözülen robust modelin sonuçları yer almaktadır. Tabloda verilen sonuçlara göre işletme temin edilen toplam hammadde miktarının %48.3' ünü Levant kalite findıktan karşılamaktadır.

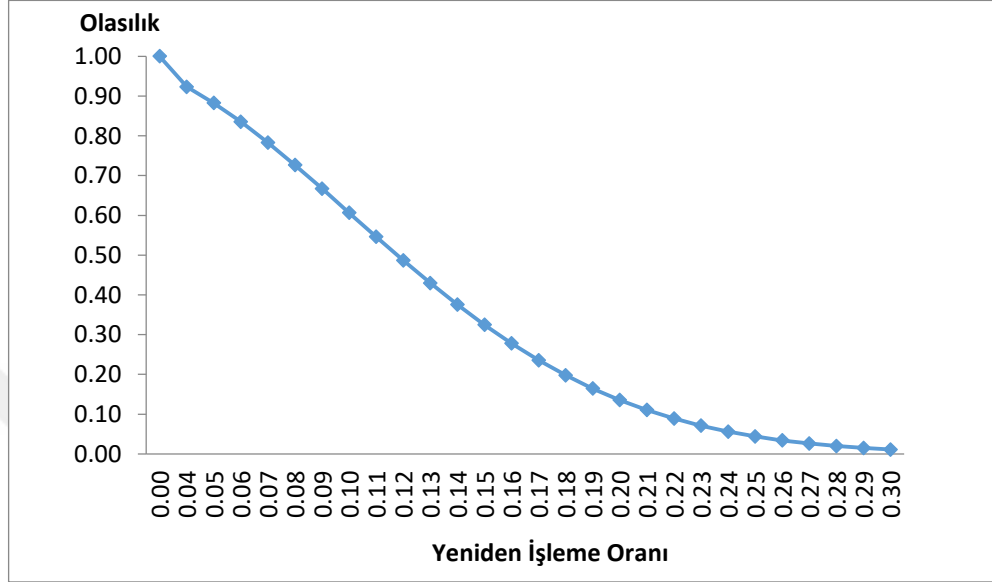
Robust modelin bütün yeniden işleme oranlarına göre çözümünde 4 adet alternatif dağıtım merkezinden Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır illerindeki dağıtım merkezlerinin açılması uygun bulunmuştur.



Şekil 5.4 Belirsizlik değerlerine göre amaç fonksiyonu

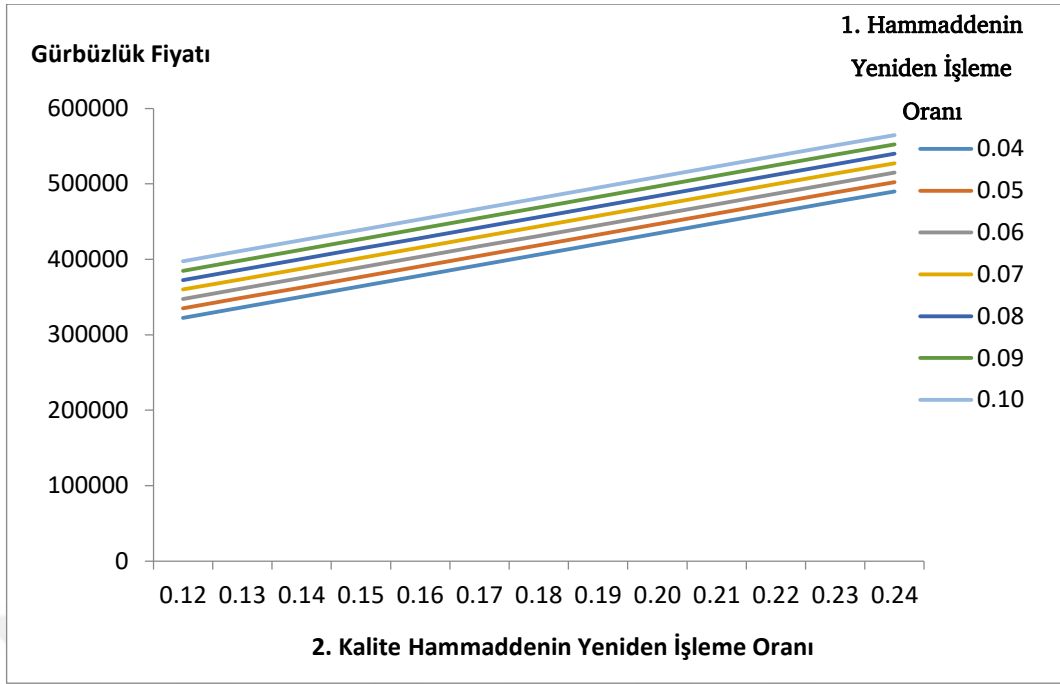
Şekil 5.4' te hammaddelerin değişen yeniden işleme oranlarına göre çözülen gürbüz modelin amaç fonksiyonları yer almaktadır. Burada yatay ekseninde yer alan değerler ikinci kalite hammadde için belirlenen yeniden işleme oranlarıdır. Göstergede yer alan değerler ise birinci kalite hammaddenin yeniden işleme oranlarıdır. Şekilde de görüldüğü gibi hammaddelerin 0.04 ve 0.12 değerlerindeki en düşük yeniden işleme oranları ile model çözümlendiğinde amaç fonksiyonu 57126240,35 TL tedarik zinciri maliyeti ile en iyi değerine sahiptir. İşletme 0.10 ve 0.24 değerindeki en yüksek yeniden işleme oranları ile de 57368546.72 TL değerinde en yüksek tedarik zinciri maliyetine sahiptir. Hammaddelerin yeniden işleme oranlarının artması hammadde kalitesini

azaltmaktadır. Hammadde kalitesinin azalmasıyla artan yeniden işlenen hammadde miktarı kalite maliyetlerini ve müşteriye istenilen kalitede ürünün istenilen zamanda ulaşmaması ile meydana gelen ceza maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle toplam tedarik zinciri maliyeti de aynı oranda artış göstermektedir.



Şekil 5.5 Yeniden işleme oranlarına göre kısıtların sağlanmama olasılığı

Şekil 5.5’deki grafikte gürbüz modelde Γ_1 ve Γ_2 belirsiz parametrelerini içeren gürbüz kısıtların olasılık sınırlarını belirlemek için $e^{-\Gamma_i^2/2|J_i|}$ formülü kullanılarak kısıtların sağlanmama olasılıkları hesaplanmıştır. Burada yeniden işleme oranı arttıkça hammaddelerin kalite belirsizliği artmaktadır. Artan kalite belirsizliğine karşı alınan tedbirler kısıtların sağlanmama olasılığını azaltmaktadır. Grafikte de görüldüğü gibi hammaddelerin yeniden işleme oranı 0.29 değerinden sonra 0.01 olasılıkla devam etmektedir. Bu nedenle 0.29’dan sonraki değerler için “Gürbüzlük Fiyatı” da aynı değerleri alacağı için hesaplamalara dahil edilmemiştir. Burada “Gürbüzlük Fiyatı” işletmenin belirsizliklere karşı göze alabildiği maliyet değerini ifade etmektedir. Şekil 5.6’da verilen grafik değişen kalite değerlerine göre işletmenin göze alması gereken maliyet yani gürbüzlük fiyatı gösterilmektedir. Burada elde edilen sonuçlar gürbüz modelin deterministik modelden ne kadar saptığını ifade etmektedir.



Şekil 5.6 Gümbüzlük fiyatı

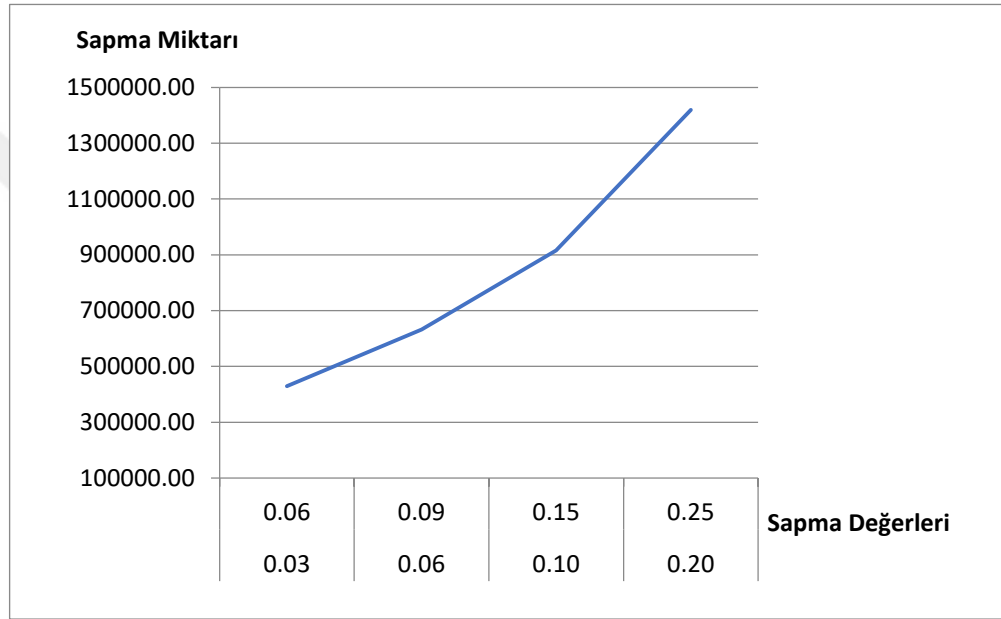
5.4.3.1 Duyarlılık Analizi

Gümbüz modelde $\tilde{a}_{ij}$ belirsizlik değeri belirsiz parametrenin nominal değerden ne kadar sapabileceğini göstermektedir. Burada $\tilde{a}_{ij}$ değerinin uç değerleri göz önünde bulundurularak belirsiz değerlerin tamamının ele alınması sağlanmıştır. İki farklı hammadde için belirlenen $\tilde{a}_{ij}$ değerleri sırasıyla 0.03 ve 0.06 olarak belirlenmiş ve yukarıdaki çözümler elde edilmiştir. Daha sonra modelin hesaplanabilirliğini ölçmek adına $\tilde{a}_{ij}$ değeri üzerinden senaryo analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçları aşağıda incelenmiştir. Burada incelenen sonuçlar deterministik modelde ele alınan Γ_1 ve Γ_2 değerleridir. Bu değerler sırasıyla 0.07 ve 0.17 olarak belirlenmiştir. Tablo 5.24’ de sabit tutulan Γ_q ve değişen $\tilde{a}_{ij}$ değerlerine göre elde edilen amaç fonksiyonları yer almaktadır.

Tablo 5.24 Sapma değerlerine göre gerçekleşen değişimler

$\tilde{a}_{ij}$ Değerleri		Amaç Fonksiyonu
0.03	0.06	57233443.60
0.06	0.09	57436073.06
0.10	0.15	57719433.47
0.20	0.25	58222784.40

Tabloda verilen değerler incelendiğinde belirsiz değerlerdeki sapma oranının artmasının maliyetlerde de artışa sebep olduğu görülmektedir. Burada artan $\tilde{a}_{ij}$ değerleri sonucunda oluşan maliyetler deterministik model ile karşılaştırıldığında maliyetlerin sırasıyla %0.8, %1.1, %1.6 ve %2.4 oranında arttığı hesaplanmıştır. Şekil 5.7’ de elde edilen grafikte de elde edilen maliyetlerin deterministik modelden sapma miktarı gösterilmektedir. Buna $\tilde{a}_{ij}$ değerleri ne kadar büyük alınırsa belirsiz parametrenin sapma miktarı da o derece artar ve gürbüz modelin muhafazakar sonuçlar üretmesine neden olur.



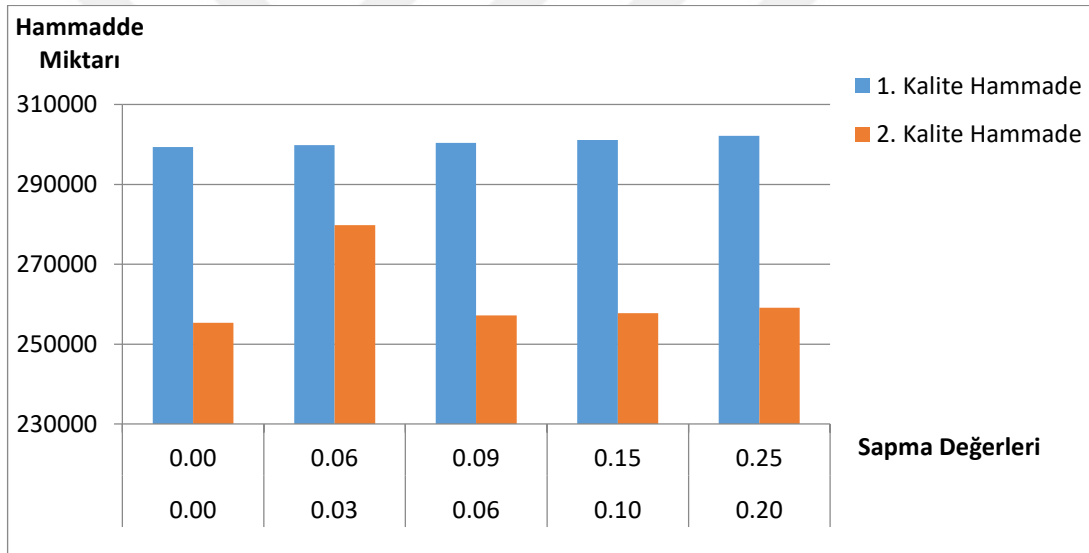
Şekil 5.7 Deterministik modelden sapma miktarı

Belirsiz parametrenin sapma değerleri arttıkça tedarik zinciri ağında temin edilen hammadde miktarları da değişkenlik göstermektedir. Tablo 5.25 ‘de sapma değerlerinin değişimine göre çözümlenen gürbüz modelin sonucunda temin edilen hammadde miktarları kalitelerine göre verilmektedir. Burada sapma değerinin sıfır olduğu durum deterministik modelin sonucunu göstermektedir. Bütün sapma değerleri incelendiğinde temin edilen hammaddelerin ortalama %54’ü birinci kalite hammadde iken % 46’sı ikinci kalite hammaddeden oluşmaktadır.

Tablo 5.25 Sapma değerlerine göre temin edilen hammadde miktarları

̃ ij Değerleri		1. Kalite Hammadde Miktarı	2. Kalite Hammadde Miktarı
0.00	0.00	299355.12	255374.26
0.03	0.06	299875.94	279824.00
0.06	0.09	300396.74	257177.61
0.10	0.15	301091.14	257774.56
0.20	0.25	302155.08	259152.21

Şekil 5.8’de ise sapma değerlerine göre temin edilen birinci ve ikinci kalite hammaddelerin miktarlarının değişimi gösterilmektedir. İki hammadde arasındaki miktar farkı en fazla herhangi bir belirsizliğin bulunmadığı deterministik modelin sonucunda elde edilmektedir.



Şekil 5.8 Temin edilen hammadde miktarlarının değişimi

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi sapma değerleri arttıkça birinci kalite ve ikinci kalite hammadde miktarları arasındaki farklarda giderek artmaktadır. Bu farkların oluşmasının nedeni ise hammaddeler arasındaki kalite farklarının yani belirsiz olan yeniden işleme oranları arasındaki farkın artmasıdır. Hammadde kalitesi arttıkça yeniden işleme oranı azalmakta ve bu da işletmeyi maliyetlerini azaltmak için birinci kalite hammaddeye yöneltilmektedir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarik zinciri ağ tasarımı işletmelerin alacağı stratejik kararların başında gelmektedir. Bu aşamada alınan ulaşım ve dağıtım kararları işletmelerin rekabet avantajı sağlamaları açısından oldukça önemlidir. Günümüzde rekabetin müşteri memnuniyeti üzerinden ilerlemesi sebebiyle işletmeler dağıtım kararlarını müşteri memnuniyetini arttırmaya yönelik almaktadır. Bu durum tedarik zinciri ağ tasarım problemlerine de fazlasıyla yansımaktadır. Tedarik zinciri ağını verimli, etkin ve hızlı cevap verebilir şekilde tasarlamak adına birçok yöntem tedarik zinciri ağ tasarım problemleriyle birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Tam zamanında anlayışı da bu yöntemlerden birisidir. Yalın üretim felsefesinin önemli aşamalarından biri olan tam zamanında, üretimde yalınlığı sağlamak için sıkça başvurulan yöntemlerdendir. Gereksiz maliyetlere neden olacak bütün israfların ortadan kaldırılmasını amaçlayan tam zamanında felsefesi, tedarik zinciri boyunca uygulandığında üretilecek ürünün istenilen kalitede ve istenilen zamanda müşteriye ulaşmasını hedefler.

Bu çalışmada da tam zamanında felsefesi ile tedarik zinciri ağ tasarım problemi birbirine entegre edilmeye çalışılmış ve bu konuda literatürde yapılmış az sayıda çalışmaya katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir fındık işleme tesisinin tedarik zinciri ağı tasarlamak için 4 tedarikçi, 1 üretim merkezi, 4 olası dağıtım merkezi ve 51 perakendeciden oluşan çok aşamalı, çok periyotlu karma tamsayılı matematiksel model oluşturulmuştur. Bu ağ tasarım probleminin çözümü ile işletme için dağıtım merkezi yeri seçimi ve aşamalar arası gerçekleşen taşıma miktarlarının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işletmenin tam zamanında dağıtım sağlamak için tercih etmesi gerek hammaddenin kalitesi de incelenmiştir.

Önerilen model öncelikle verilerin kesin gerçekleştiği varsayılarak deterministik olarak çözülmüştür. Modelin çözümü sonucunda tedarik zincirinin toplam maliyeti 56803738.4 TL olarak bulunmuş ve Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır

illerinde bulunan dağıtım merkezilerinin açılmasına karar verilmiştir. İşletmenin temin ettiği hammaddeler incelendiğinde birinci kalite hammadde olan Giresun fındığının %54 oranında daha çok tercih edildiği görülmektedir.

İkinci olarak model talep verileri ve hammadde kalitesindeki belirsizlik nedeniyle stokastik olarak modellenmiştir. İşletmeden alınan daha önceki yıllara ait veriler kullanılarak 40 adet senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar her birinin gerçekleşme olasılıkları eşit varsayılarak stokastik olarak çözümlenmiştir. Çözüm sonucunda tedarik zincirinin toplam maliyeti 56814013.09 TL olarak elde edilmiştir. Açılan dağıtım merkezi yerleri de deterministik modeldeki gibi Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır olarak belirlenmiştir. Temin edilen hammaddeler senaryo bazında incelendiğinde 40 senaryonun 30 'unda ortalama %55 oranında birinci kalite hammaddenin tercih edildiği görülmektedir. Bu sonuçları Deterministik modelin sonucu ile karşılaştırdığımızda gelecekte gerçekleşebilecek 40 adet senaryonun eş zamanlı olarak çözülmesi modeli karmaşık bir yapıya dönüştürdüğü için amaç fonksiyonunun ve çözüm süresinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bunu yanı sıra yapılan 40 adet senaryonun analizinde senaryoların her biri deterministik modele dönüştürülerek çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçların tutarlı olduğu görülmüş ve bulunan MBBD ve SÇD ile de stokastik modelin etkinliği test edilmiştir. İstenilen eşitsizliklerin sağlandığı görülmüştür.

Üçüncü olarak model hammadde kalitesindeki belirsiz göz önünde bulundurularak gürbüz eşdeğer modele dönüştürülmüştür. Deterministik modelden farklı olarak eklenen gürbüz kısıtlar ile belirsiz parametrenin değişimi modele yansıtılmıştır. Burada en kötü durum senaryonu ele alan küme tabanlı gürbüz optimizasyon modeli kullanılarak işletmenin karşılaşılabileceği durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Gürbüz optimizasyon modelinde belirsizlik kümesini belirlerken kümenin modelde kullanılan belirsizlikleri en iyi derecede karşılayabilmesine özen gösterilmiştir. Çünkü belirsizlik kümesinin çok fazla geniş kapsamlı tutulması kısıtların sağlanmama olasılığını azaltsa da en kötü durumu ele aldığı için maliyetleri yüksek tutarak modelin muhafazakar olmasına neden olmaktadır. Bunu engellemek ve modelin hesaplanabilirliğini arttırmak amacıyla belirsiz kümesi belirlenirken belirsiz parametrenin ortalama ve standart

sapma değerlerin dikkate alınmıştır. Bunun sonucunda gürbüz eşdeğer model oluşturmak için aralık ve polihedral belirsizlik kümelerinin kesişimini kapsayan kombinasyon belirsizlik kümesi kullanılmıştır. Aralık-polihedral belirsizlik kümesine sahip gürbüz eşdeğer model çözümlendiğinde deterministik modeldeki değerlere sahip belirsiz parametrenin sonucunda tedarik zincirinin maliyeti 57293279.47 TL olarak elde edilmiştir. Belirsiz parametrenin çözülen bütün değerlerinde dağıtım merkezleri Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır olarak belirlenmiştir. Temin edilen hammaddeler incelendiğinde ise ortalama %52 oranında birinci kalite hammaddenin işletme tarafından tercih edildiği görülmektedir.

Tam zamanında tedarik zinciri ağı için önerilen modelin sonuçları karşılaştırıldığında gerçek hayat problemlerindeki belirsizliklerle başa çıkabilen sonuçlar elde edilmiştir. Kesin değerlere sahip deterministik modelin en iyi sonuca ulaştığı görülürken en kötü durumu göze alan alan gürbüz optimizasyon modelinin en büyük maliyete sahip olduğu görülmektedir. Stokastik model ise belirsizlikleri ortadan kaldırarak bu iki model sonucu arasında bir değer almaktadır. Üç modelin sonucunda da en uygun dağıtım merkezleri yerinin Kocaeli, Ankara ve Diyarbakır illeri olduğu kararına varılmıştır. Ayrıca bütün model sonuçları incelendiğinde her ne kadar satın alma maliyetini arttırsa da istenilen ürünün, istenilen kalitede ve doğru zamanda müşteriye ulaşması için birinci kalite hammaddenin daha fazla tercih edildiği de görülmektedir. Burada satın alma maliyeti düşük olsa bile kalite maliyetlerine ve gecikmelere sebep olarak tam zamanında ilkelerini ihlal edeceği için ikinci kalite hammaddenin daha az tercih edildiği anlaşılmaktadır.

Gelecek araştırmalarda, önerilen modelin daha büyük verilerle kullanılmasından kaynaklanabilecek büyük hesaplama süresilerini ortadan kaldırmak için çeşitli sezgisel yöntemler kullanılabilir. Modele, kullanılan maliyet minimizasyonu amacına ilave olarak çelişkili amaçlar eklenebilir ve hedef programlama yöntemleri gibi çeşitli yöntemler ile çözümlenebilir. Günümüzde giderek artan çevreye duyarlılık sebebiyle karbon salınımı, araç sefer sayısı gibi parametrelerle yeşil hedeflerin dikkate alındığı çalışmalarda gerçekleştirilebilir.

- [1] P. Meindl and S. Chopra, "Tedarik Zinciri Yönetimi: Strateji, Planlama ve Operasyon," *Nobel Akad. Yayıncılık*, no. Ekim, 2017.
- [2] M. Alegöz, "Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri için Çok Amaçlı ve Çok Aşamalı Çözüm Yaklaşımları," *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Eskişehir*, 2015.
- [3] H. L. Lee and C. Billington, "Managing Supply Chain Inventory," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 33, no. 3, pp. 65–73, 1992.
- [4] L. R. Kopczak, "Logistics partnership and supply chain restructuring: survey results from the US computer industry," *Prod. Oper. Manag.*, vol. 6, no. 3, pp. 226–247, 1997.
- [5] İ. A. Özdemir, "Tedarik Zinciri Yönteminin Gelişimi, Süreçleri ve Yararları," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 23, pp. 87–96, 2004.
- [6] H. Yalçiner, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Bilişim Teknolojileri," *Yüksek Lisans Tezi, Sak. Üniversitesi, Sos. Bilim. Enstitüsü, Sak.*, 2004.
- [7] B. Özkan, "Tersine Tedarik Zinciri İncelemesi Ve Uygulaması," *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2010.
- [8] İ. Yılmaz, "Tam Zamanında Üretim Sistemlerinde Lojistik Operasyonların Optimizasyonu," *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Bursa*, 2010.
- [9] E. Özceylan, "Tedarik Zinciri Yönteminde Üretim/Dağıtım Ağlarının Tasarımına Yeni Model Yaklaşımları," *(Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Konya*, 2010.
- [10] M. Bedük, "Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansı Üzerindeki Etkisi: Örnek Olay Çalışması," 2009.
- [11] T. Paksoy, N. Y. Pehlivan, and E. Özceylan, "A New Tradeoff Model for Fuzzy Supply Chain Network Design and Optimization," *Hum. Ecol. Risk Assess.*, vol. 19, no. 2, pp. 492–514, 2013.
- [12] C. Sevinç, "Lojistik Planlama Çok Ürünlü Çok Kademeli İkmal Zincirindeki Depolarda Bulundurulması Gerekli Minimum Malzeme Miktarının Dinamik Programlama Yöntemiyle Optimizasyonu," *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sos. Bilim. Enstitüsü, İzmir*, 2008.
- [13] N. C. Özer, "Tedarik Zincirinde Çok Amaçlı Ağ Tasarım Probleminin Çok Kriterli Karar Verme ve Hedef Programlama Yöntemleri Kullanılarak Optimizasyonu," *(Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2014.
- [14] T. Paksoy, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı Ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-

- Dağıtım Modeli,” *Selçuk Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, pp. 435–454, 2005.
- [15] S. Aytekin, “Tam Zamanında Stok Yönetimi (Just-in-Time) Felsefesinin Hastane İşletmelerine Uygulanabilirliği ve Bir Üniversite Hastanesi Örneği,” *Balıkesir Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 21, no. 12, pp. 102–115, 2007.
- [16] H. K. Chan, S. Yin, and F. T. S. Chan, “Implementing just-in-time philosophy to reverse logistics systems: A review,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, no. 21, pp. 6293–6313, 2010.
- [17] A. Aksoy, “Tam Zamanında Üretim Ortamında Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirilmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Bursa*, 2005.
- [18] A. Memari, R. Ahmad, A. R. A. Rahim, and A. Hassan, “Optimizing a Just-In-Time logistics network problem under fuzzy supply and demand: two parameter-tuned metaheuristics algorithms,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 30, no. 10, pp. 3221–3233, 2018.
- [19] R. Z. Farahani and M. Elahipanah, “A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 111, no. 2, pp. 229–243, 2008.
- [20] B. E. Engin and T. Paksoy, “Yeşil Tedarik Zincirinde Tam Zamanında Dağıtım Modellemesi,” *Selçuk Üniversitesi Sos. Bilim. Mesl. Yüksekokulu Derg.*, vol. 22, pp. 93–103, 2019.
- [21] C. L. Lai, W. B. Lee, and W. H. Ip, “A study of system dynamics in just-in-time logistics,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 138, no. 1–3, pp. 265–269, 2003.
- [22] A. Memari, A. R. Abdul Rahim, N. Absi, R. Ahmad, and A. Hassan, “Carbon-capped Distribution Planning: A JIT Perspective,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 97, pp. 111–127, 2016.
- [23] S. A. Ghasimi and R. Ghodsi, “Improvement and solving three new supply chain inventory control models for perishable items using just-in-time logistic,” *11th Int. Conf. Comput. Model. Simulation, UKSim 2009*, pp. 279–286, 2009.
- [24] W. Wang, R. Y. K. Fung, and Y. Chai, “Approach of just-in-time distribution requirements planning for supply chain management,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 91, no. 2, pp. 101–107, 2004.
- [25] S. Wang and B. R. Sarker, “Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 172, no. 1, pp. 179–200, 2006.
- [26] S. A. Ghasimi, R. Ramli, and N. Saibani, “A genetic algorithm for optimizing defective goods supply chain costs using JIT logistics and each-cycle lengths,” *Appl. Math. Model.*, vol. 38, no. 4, pp. 1534–1547, 2014.
- [27] M.-F. Yang, Y. Lin, L. H. Ho, and W. F. Kao, “An Integrated Multiechelon Logistics Model with Uncertain Delivery Lead Time and Quality

- Unreliability,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2016, pp. 1–13, 2016.
- [28] A. Memari, A. R. A. Rahim, and R. Ahmad, “Multi-objective genetic algorithm in green just-in-time logistics,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, vol. 2015-Janua, pp. 1239–1243, 2014.
- [29] I. I. Almaraj and T. B. Trafalis, “An integrated multi-echelon robust closed-loop supply chain under imperfect quality production,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 218, pp. 212–218, 2019.
- [30] M. Fattahi, K. Govindan, and E. Keyvanshokoo, “Responsive and resilient supply chain network design under operational and disruption risks with delivery lead-time sensitive customers,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 101, pp. 176–200, 2017.
- [31] M. Fattahi, K. Govindan, and E. Keyvanshokoo, “A multi-stage stochastic program for supply chain network redesign problem with price-dependent uncertain demands,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 100, pp. 314–332, 2018.
- [32] M. A. Aldoukhi and S. M. Gupta, “A Robust Closed Loop Supply Chain Network Design Under Different Carbon Emission Policies,” *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 25, no. 9, pp. 1020–1032, 2019.
- [33] S. Ö. Öndin, “Belirsizlik Altında Bir Üçüncü Parti Lojistik Şirketinin Ağ Tasarım Modellemesi: Stokastik Modelleme ve Genetik Algoritma Uygulaması,” *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2018.
- [34] S. H. Alavi and A. Jabbarzadeh, “Supply chain network design using trade credit and bank credit: A robust optimization model with real world application,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 125, no. October 2017, pp. 69–86, 2018.
- [35] N. Salehi Sadghiani, S. A. Torabi, and N. Sahebjamnia, “Retail supply chain network design under operational and disruption risks,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 75, pp. 95–114, 2015.
- [36] Berk Ayvaz, “Miktar ve Kalite Belirsizliği Altında Tersine Lojistik Ağ Tasarımı için Bir Stokastik Programlama Model Önerisi: Elektronik Atık Sektöründe Bir Uygulama,” *Doktora Tezi, İstanbul Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2013.
- [37] A. Azaron, U. Venkatadri, and A. F. Doost, “A Stochastic Approach for Designing Supply Chain Networks under Uncertainty,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1465–1469, 2018.
- [38] M. Farrokh, A. Azar, G. Jandaghi, and E. Ahmadi, “A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 341, pp. 69–91, 2018.
- [39] M. Fattahi and K. Govindan, “A multi-stage stochastic program for the sustainable design of biofuel supply chain networks under biomass supply uncertainty and disruption risk: A real-life case study,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 118, no. August, pp. 534–567, 2018.
- [40] A. Baghalian, S. Rezapour, and R. Z. Farahani, “Robust supply chain

- network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 227, no. 1, pp. 199–215, 2013.
- [41] Ç. U. Güler and M. Ermiş, “A deterministic model to the two-stage stochastic programming of disaster-relief supply chain transportation and distribution planning,” *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2, no. March, pp. 1063–1068, 2014.
- [42] A. Chatzikontidou, P. Longinidis, P. Tsiakis, and M. C. Georgiadis, “Flexible supply chain network design under uncertainty,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 128, pp. 290–305, 2017.
- [43] H. Gilani, H. Sahebi, and F. Oliveira, “Sustainable sugarcane-to-bioethanol supply chain network design: A robust possibilistic programming model,” *Appl. Energy*, vol. 278, no. September, p. 115653, 2020.
- [44] S. Nayeri, M. M. Paydar, E. Asadi-Gangraj, and S. Emami, “Multi-objective fuzzy robust optimization approach to sustainable closed-loop supply chain network design,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 148, no. June, p. 106716, 2020.
- [45] A. Tolooie, M. Maity, and A. K. Sinha, “A two-stage stochastic mixed-integer program for reliable supply chain network design under uncertain disruptions and demand,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 148, no. June, p. 106722, 2020.
- [46] M. Fattahi, K. Govindan, and R. Maihami, “Stochastic optimization of disruption-driven supply chain network design with a new resilience metric,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 230, no. September 2019, p. 107755, 2020.
- [47] H. Yu and W. D. Solvang, “A fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty and network flexibility,” *J. Clean. Prod.*, vol. 266, p. 121702, 2020.
- [48] M. S. Habib, O. Asghar, A. Hussain, M. Imran, M. P. Mughal, and B. Sarkar, “A robust possibilistic programming approach toward animal fat-based biodiesel supply chain network design under uncertain environment,” *J. Clean. Prod.*, vol. 278, p. 122403, 2021.
- [49] S. Prakash, S. Kumar, G. Soni, V. Jain, and A. P. S. Rathore, “Closed-loop supply chain network design and modelling under risks and demand uncertainty: an integrated robust optimization approach,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 290, no. 1–2, pp. 837–864, 2020.
- [50] E. Taşar, “Monte Carlo Stokastik Optimizasyonu İle Optimal Saklama Payı Seviyesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Ankara*, 2010.
- [51] H. A. Taha, *Operations Research: An Introduction*, vol. 8. Edition. The Society of Manufacturing Engineers, 2003.
- [52] H. G. Akdemir and F. Tiryaki, “İki Seviyeli KESikli Stokastik Taşıma

- Problemi,” *Electron. J. Vocat. Coll.*, vol. December, pp. 156–167, 2011.
- [53] A. Shapiro, “Minimax and risk averse multistage stochastic programming,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 219, no. 3, pp. 719–726, 2012.
- [54] V. V. Kolbin, *Stochastic Programming*. IEEE, 1977.
- [55] S. S. Kara, “Ters Lojistik Sistemlerinin Stokastik Modelleme ile Tasarımı ve Kağıt Sektöründeki Uygulaması,” *Doktora Tezi, Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2008.
- [56] H. G. Akdemir, “İki Seviyeli Stokastik Taşıma Problemlerine Çözüm Önerileri,” *Doktora Tezi, Yıldız Tek. Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul*, 2012.
- [57] J. . Birge and F. Louveaux, *Introduction to Stochastic Programming*. 1997.
- [58] P. Kall and S. W. Wallace, “Stochastic Programming,” *John Wiley Sons, UK*, 1994.
- [59] N. Di Domenica, G. Mitra, P. Valente, and G. Birbilis, “Stochastic programming and scenario generation within a simulation framework: An information systems perspective,” *Decis. Support Syst.*, vol. 42, no. 4, pp. 2197–2218, 2007.
- [60] R. Duzgun, “Robust Optimization with Multiple Ranges and Chance Constraints,” no. May, p. 115, 2012.
- [61] P. Güçlü and A. Özdemir, “Belirsizlik Altında Üretim Planlaması Problemi için Robust Eniyileme Modeli Robust Optimization Model for Production Planning Problem under Uncertainty,” vol. 4, no. 1, pp. 55–76, 2017.
- [62] L. El Ghaoui and H. Lebret, “Robust solutions to least-squares problems with uncertain data,” *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, vol. 18, no. 4, pp. 1035–1064, 1997.
- [63] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, “Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data,” *Math. Program. Ser. B*, vol. 88, no. 3, pp. 411–424, 2000.
- [64] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, “Robust optimization - Methodology and applications,” *Math. Program. Ser. B*, vol. 92, no. 3, pp. 453–480, 2002.
- [65] D. Bertsimas and M. Sim, “Robust discrete optimization and network flows,” *Math. Program.*, vol. 98, no. 1–3, pp. 49–71, 2003.
- [66] D. Bertsimas and M. Sim, “The price of robustness,” *Oper. Res.*, vol. 52, no. 1, pp. 35–53, 2004.
- [67] S. Moazeni, “Flexible Robustness in Linear Optimization,” 2006.
- [68] L. Kazancık, “Türkiye Elektrik Enerji Sektörüne Robust Optimiasyon Modeli,” *Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Ankara*, 2016.
- [69] M. Shafiei Kisomi, M. Solimanpur, and A. Doniavi, “An integrated supply chain configuration model and procurement management under uncertainty: A set-based robust optimization methodology,” *Appl. Math.*

- Model.*, vol. 40, no. 17–18, pp. 7928–7947, 2016.
- [70] M. Toloo and E. K. Mensah, “Robust optimization with nonnegative decision variables: A DEA approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 127, no. August 2018, pp. 313–325, 2019.
- [71] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, “Robust convex optimization,” *Math. Oper. Res.*, vol. 23, no. 4, pp. 769–805, 1998.
- [72] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, “Robust Solution of Uncertain Linear Programs,” *OR Lett.*, vol. 25, pp. 1–13, 1999.



SENARYOLARDAKİ YENİDEN İŞLEME ORANLARI

Senaryo	1. Kalite Hammaddenin Yeniden İşleme Oranı	2. Kalite Hammaddenin Yeniden İşleme Oranı	Senaryo	1. Kalite Hammaddenin Yeniden İşleme Oranı	2. Kalite Hammaddenin Yeniden İşleme Oranı
S1	0.07	0.17	S21	0.08	0.16
S2	0.07	0.17	S22	0.09	0.20
S3	0.04	0.20	S23	0.06	0.17
S4	0.08	0.16	S24	0.08	0.18
S5	0.08	0.18	S25	0.06	0.23
S6	0.08	0.19	S26	0.07	0.14
S7	0.05	0.16	S27	0.07	0.18
S8	0.07	0.19	S28	0.08	0.16
S9	0.07	0.17	S29	0.08	0.17
S10	0.06	0.19	S30	0.08	0.15
S11	0.08	0.18	S31	0.07	0.17
S12	0.07	0.18	S32	0.06	0.18
S13	0.06	0.16	S33	0.08	0.18
S14	0.06	0.16	S34	0.09	0.18
S15	0.08	0.15	S35	0.06	0.20
S16	0.10	0.16	S36	0.07	0.16
S17	0.07	0.20	S37	0.08	0.19
S18	0.07	0.17	S38	0.07	0.12
S19	0.05	0.17	S39	0.08	0.20
S20	0.06	0.21	S40	0.07	0.17

PERAKENDECİDE OLUŞAN STOK MALİYETİ

Perakendeci	Periyot			
	1	2	3	4
Kayseri	36.56	32.09	35.6	52.39
Niğde	34.28	42.68	41.27	26.97
Nevşehir	38.41	35.07	43.28	46.92
Konya	31.24	39.39	40.13	41.92
Bursa	31.74	42.57	51.57	42.2
Ankara	26.25	26.9	41.73	45.04
Çankırı	41.24	37.52	42.86	35.02
Karaman	38.61	37.36	33.21	42.87
Kırıkkale	40.67	41.69	29.44	48.44
Zonguldak	33.74	44.32	40.38	32.39
Bartın	31.37	47.65	46.31	42.48
Karabük	38.33	34.97	34.72	41.57
Kastamonu	51.68	53.52	47.83	56.41
Düzce	34.72	30.46	41.4	42.41
Sakarya	35.43	40.14	30.39	42.42
Kocaeli	32.48	40.15	33.99	41.13
Kırklareli	37.29	34.74	34.05	41.06
İstanbul	35.06	39.47	38.04	33.95
Kütahya	36.63	34.28	41.25	44.48
Eskişehir	42.53	39.38	45.42	46.91
Antalya	47.17	42.97	42.01	48.25
Muğla	31.36	34.89	34.45	45.2
İzmir	36.69	32.5	34.97	41.13
Manisa	49.99	48.34	38.38	43.16
Denizli	32.08	33.81	35.95	42.22
Diyarbakır	41.11	40.7	37.88	36.94
Şırnak	48.38	47.84	45.18	45.16

Perakendeci	Periyot			
	1	2	3	4
Batman	43.88	49.71	50.67	48.46
Şanlıurfa	36.33	32.11	35.01	40
Siirt	32.53	32.94	39.65	37.7
Mardin	42.91	41.11	39.68	44.91
Malatya	35.11	34.34	37.55	34.59
Van	41.2	34.49	39.62	41.33
Kars	32.78	34.64	37.55	40.94
Erzincan	35.98	36.41	39.87	33.03
Adıyaman	38.3	43.89	40.75	39.34
Gaziantep	33.56	34.97	37.28	38.24
Adana	35.81	39.67	40.96	40.21
Hatay	30.41	33.48	32.87	33.12
Kahramanmaraş	28.65	30.62	32.27	30.96
Rize	29.53	31.81	35.74	35.62
Artvin	38.59	37.63	41.95	42.35
Trabzon	44.85	49.37	48.29	45.81
Ordu	43.61	38.52	44.4	46.16
Giresun	38.43	40.45	39.35	38.4
Samsun	34.97	35.51	38.02	37.4
Sinop	43.6	44.67	50.93	50.09
Tokat	44.11	43.67	43.29	43.78
Çorum	45.08	47.78	46.65	48.54
Sivas	43.69	45.58	42.78	45.4
Aksaray	33.99	40.97	26.58	42.5

PERAKENDECİDE OLUŞAN YOKSATMA MALİYETİ

Perakendeci	Periyot			
	1	2	3	4
Kayseri	35.85	45.85	55.85	85.85
Niğde	42.95	32.95	52.95	79.95
Nevşehir	52.98	48.98	56.98	80.54
Konya	49.54	51.54	50.54	75.71
Bursa	48.57	49.51	47.52	80.12
Ankara	51.34	52.22	49.26	73.45
Çankırı	48.38	51.32	49.48	74.58
Karaman	51.23	49.26	53.23	75.07
Kırıkkale	54.11	55.26	51.16	86.27
Zonguldak	49.42	51.44	53.48	75.74
Bartın	50.34	53.12	51.32	80.42
Karabük	49.13	48.33	46.43	79.48
Kastamonu	42.46	45.44	43.34	78.33
Düzce	51.54	48.53	50.61	73.56
Sakarya	48.24	51.44	49.42	72.75
Kocaeli	48.46	51.34	53.55	75.47
Kırklareli	52.43	55.45	48.43	76.73
İstanbul	48.17	52.14	49.19	75.75
Kütahya	48.46	49.55	50.53	72.45
Eskişehir	50.46	51.47	53.48	85.36
Antalya	57.13	56.14	55.02	85.35
Muğla	47.25	48.23	42.56	87.46
İzmir	49.28	47.78	50.72	73.02
Manisa	53.74	52.54	50.77	85.34
Denizli	48.32	51.52	49.37	73.78
Diyarbakır	48.46	49.56	50.43	78.76
Şırnak	49.84	51.74	48.83	83.73

Perakendeci	Periyot			
	1	2	3	4
4Batman	51.23	53.33	49.77	75.8
Şanlıurfa	48.19	50.17	52.13	85.85
Siirt	52.73	48.53	49.93	79.76
Mardin	47.84	48.64	47.42	79.75
Malatya	49.98	47.69	50.88	80.42
Van	46.65	42.63	48.55	78.73
Kars	48.01	45.55	49.41	72.87
Erzincan	48.99	51.79	50.88	78.46
Adıyaman	49.87	48.65	50.2	80.23
Gaziantep	49.96	48.56	48.67	79.87
Adana	48.33	50.88	51.38	73.12
Hatay	52.48	53.44	52.56	83.46
Kahramanmaraş	46.03	48.85	47.63	77.68
Rize	48.31	49.75	50.35	80.36
Artvin	47.87	49.53	50.23	75.46
Trabzon	41.02	46.42	43.07	78.64
Ordu	47.35	48.65	45.65	77.36
Giresun	48.26	49.47	46.27	81.75
Samsun	51.68	50.78	53.65	86.37
Sinop	43.66	45.56	48.76	79.37
Tokat	54.15	53.45	54.19	86.73
Çorum	46.08	48.37	50.55	78.38
Sivas	47.34	48.63	50.44	75.32
Aksaray	50.18	49.58	51.78	81.62

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. S. Soner Kara, B. Gürsoy, “ Veri Analizi ve Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Tam Zamanında Ağ Tasarım Model Önerisi ve Çözüm Yöntemleri”, *4th International Conference on Data Science and Applications*, 4-6 Temmuz 2021.

Makaleler

1. S. Soner Kara, B. Gürsoy, “Modelling of Just-in-Time Distribution Network Under Raw Material Quality and Time Constraints”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*