T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK AMAÇLI ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BİR BULANIK MODEL ÖNERİSİ

SEMA AKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK ANABİLİM DALI
MATEMATİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BEYZA AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK AMAÇLI ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BİR BULANIK MODEL ÖNERİSİ

Sema AKIN tarafından hazırlanan tez çalışması 23.03.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatma TİRYAKİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehpare TİMOR

İstanbul Üniversitesi

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2016-01-03-YL02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek eğitim hayatım boyunca ve çalışmamın her aşamasında insani ve cesaretlendiren tutumuyla benden yardım ve bilgilerini esirgemeyen, tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK' e teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana olan güvenleriyle ve inançlarıyla başarımı artıran ve bana her daim sağlıklı çalışma ortamı sağlayan babam Cemal AKIN, annem Hasibe AKIN ve abim Samet AKIN'a ayrı ayrı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak da çalışmalarım süresince desteği ile her zaman bana güç veren ve yanımda olan sevgili nişanlım Taner BULUT' a teşekkür ederim.

Mart, 2017

Sema AKIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xx

ABSTRACT xxii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 6

BÖLÜM 2

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ 7
2.1 Tedarik Zinciri 7
2.1.1 Tedarik Zincirinin Yapısı 9
2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi 11
2.2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Önemi 13
2.3 Tedarik Zinciri Yönetimi Kararları 13
2.3.1 Yer Seçimi Kararları 15
2.3.2 Üretim Kararları 15
2.3.3 Stok (Envanter) Kararları 16
2.3.4 Dağıtım-Taşıma Kararları 17
2.4 Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi 18
2.4.1 Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Faaliyetleri 21
2.4.1.1 Yeşil Satın Alma 22
2.4.1.2 Yeşil Üretim 23
2.4.1.3 Yeşil Dağıtım 24

2.4.1.4 Tersine Lojistik 25
2.5 Kapalı Devre Tedarik Zinciri Yönetimi 27

BÖLÜM 3

BULANIK MATEMATİK 29
3.1 Bulanıklık Kavramı 30
3.2 Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları 32
3.3 Bulanık Kümeler 32
3.3.1 Bulanık Kümelerde Temel Tanımlar 35
3.3.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler 38
3.4 Bulanık Sayılar 41
3.4.1 Üçgensel Bulanık Sayı 42
3.4.1.1 Üçgensel Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler 43
3.4.1.2 Üçgensel Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemlerin Özellikleri 45
3.4.2 Yamuksal Bulanık Sayı 45
3.4.2.1 Yamuksal Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler 46
3.4.2.2 Yamuksal Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemlerin Özellikleri 47

BÖLÜM 4

BULANIK VE ÇOK AMAÇLI KARAR VERME 48
4.1 Bulanık Karar Verme 48
4.1.1 Bulanık Lineer Programlama 51
4.2 Çok Amaçlı Karar Verme 57
4.2.1 Çok Amaçlı Lineer Programlama 59
4.3 ÇALP problemine Bulanık Yaklaşım 61

BÖLÜM 5

ÇOK AMAÇLI ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BİR BULANIK MODEL ÖNERİSİ 65
5.1 Modelin Matematiksel Yapısı 65
5.2 Kabuller 77
5.3 Uygulama 78
5.4 Uygulamanın Çözümü 100

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 159

KAYNAKLAR 161

ÖZGEÇMİŞ 168

SİMGE LİSTESİ

μ	Üyelik fonksiyonu
$\tilde{A}$	Bulanık bir küme
$\tilde{A}_{\alpha}$	Bulanık bir kümenin α – keseni

KISALTMA LİSTESİ

BKT	Bulanık Küme Teorisi
BLP	Bulanık Lineer Programlama
CPU	Central Processing Unit
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇALP	Çok Amaçlı Lineer Programlama
ÇAKDTZ	Çok Amaçlı Kapalı Devre Tedarik Zinciri
KDTZ	Kapalı Devre Tedarik Zinciri
KV	Karar Verici
LP	Lineer Programlama
RAM	Random Access Memory
TZ	Tedarik Zinciri
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
YTZY	Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.1 Tedarik zinciri 8
Şekil 2.1.2 TZ prosesleri 9
Şekil 2.1.3 Etkileşimli TZ yapısı 10
Şekil 2.2.1 TZY'de istenen amaçlar [41] 12
Şekil 2.3.1 TZY Kararları 14
Şekil 2.4.1 Kurumsal çevre duyarlılığı [47] 20
Şekil 2.4.2 Yeşil tedarik zincirinde malzeme akışı 20
Şekil 2.4.3 Yeşil üretim sisteminde yenileştirme akışı 23
Şekil 2.4.4 Geliştirilmiş tersine lojistik faaliyetleri [59] 26
Şekil 2.5.1 Farklı tür tedarik zincirleri 27
Şekil 2.5.2 KDTZ 28
Şekil 3.1.1 Renklerin üyelik dereceleri 31
Şekil 3.3.1 Bulanık küme ve kesin küme üyeliklerinin grafikleri 33
Şekil 3.3.2 Farklı üyelik fonksiyonlarına göre bulanık kümeler 35
Şekil 3.3.3 Konveks ve konveks olmayan küme 37
Şekil 3.3.4 Bulanık kümenin tümleyeni 39
Şekil 3.3.5 İki bulanık kümenin kesişimi 39
Şekil 3.3.6 İki bulanık kümenin birleşimi 40
Şekil 3.4.1 Üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar 42
Şekil 3.4.2 L-R tipli bulanık sayılar 42
Şekil 3.4.3 Üçgensel bulanık sayı 43
Şekil 3.4.4 Yamuksal bulanık sayı 46
Şekil 4.1.1 Bulanık karar verme 49
Şekil 4.1.2 Bulanık bir karar 51
Şekil 4.1.3 "$\tilde{\leq}$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu 54
Şekil 4.1.4 "$\tilde{\geq}$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu 56
Şekil 4.1.5 "$\cong$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu 57
Şekil 4.2.1 Klasik çok kriterli karar verme süreci 58
Şekil 5. 1 X şirketinin genel tedarik zinciri ağı 79
Şekil 5. 2 X şirketinin tedarik zinciri ağı (aday fabrika ve tesis konumları dahil) 80
Şekil 5. 3 X şirketinin 1. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 107
Şekil 5. 4 X şirketinin 2. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 111

Şekil 5. 5 X şirketinin 3. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 115
Şekil 5. 6 X şirketinin 1. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 120
Şekil 5. 7 X şirketinin 2. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 124
Şekil 5. 8 X şirketinin 3. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 129
Şekil 5. 9 X şirketinin 1. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 134
Şekil 5. 10 X şirketinin 2. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 139
Şekil 5. 11 X şirketinin 3. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 144
Şekil 5. 12 X şirketinin 1. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 149
Şekil 5. 13 X şirketinin 2. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 154
Şekil 5. 14 X şirketinin 3. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı 158

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.3.1 Tedarikçilerden satın alınabilecek maksimum bileşen miktarı ($MXis_{is}$) 81

Çizelge 5.3.2 Ürünlerin bileşen oran katsayıları (cij_{ij}) 81

Çizelge 5.3.3 Fabrikaların üretim kapasiteleri ($Capjpt_{jpt}$) 81

Çizelge 5.3.4 Depoların kapasiteleri ($Capjwt_{jwt}$) 81

Çizelge 5.3.5 Depoların kapasiteleri ($Capjwt_{jwt}$) (devamı) 82

Çizelge 5.3.6 Dağıtım merkezlerinin kapasiteleri ($Capjdt_{jdt}$) 82

Çizelge 5.3.7 Dağıtım merkezlerinin kapasiteleri ($Capjdt_{jdt}$) (devamı) 83

Çizelge 5.3.8 Geri dönüşüm merkezlerinin kapasiteleri ($Capjrt_{jrt}$)..... 83

Çizelge 5.3.9 Müşteri bölgelerinin talepleri ($Djct_{jct}$) 83

Çizelge 5.3.10 Müşteri bölgelerinin talepleri ($Djct_{jct}$) (devamı). 84

Çizelge 5.3.11 Fabrikaların kullanım maliyetleri ($SCjp_{jp}$) 84

Çizelge 5.3.12 Depoların kullanım maliyetleri ($SCjw_{jw}$)..... 85

Çizelge 5.3.13 Dağıtım merkezlerinin kullanım maliyetleri ($SCjd_{jd}$). 85

Çizelge 5.3.14 Geri dönüşüm merkezlerinin kullanım maliyetleri ($SCjr_{jr}$) 85

Çizelge 5.3.15 Fabrikaların birim üretim maliyetleri ($PCjpt_{jpt}$) 85

Çizelge 5.3.16 Geri dönüşüm merkezlerinin birim geri dönüşüm maliyetleri ($RCjr_{jr}$)86

Çizelge 5.3.17 İmha merkezinin birim imha maliyeti ($DCik_{ik}$)..... 86

Çizelge 5.3.18 Depoların birim stok maliyetleri ($StCjwt_{jwt}$) 86

Çizelge 5.3.19 Tedarikçilerden fabrikalara birim satın alma maliyetleri ($PCisp_{isp}$) 87

Çizelge 5.3.20 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCisp_{isp}$) 87

Çizelge 5.3.21 Fabrikalardan depolara taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjpw_{jpw}$)..... 88

Çizelge 5.3.22 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjwd_{jwd}$) 88
Çizelge 5.3.23 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjwd_{jwd}$) (devamı) 89
Çizelge 5.3.24 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjdc_{jdc}$) 89
Çizelge 5.3.25 Dağıtım merkezlerinden müşterilere taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjdc_{jdc}$) (devamı) 90
Çizelge 5.3.26 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim taşıma maliyetleri ($TCjcr_{jcr}$) 90
Çizelge 5.3.27 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim taşıma maliyetleri ($TCjcr_{jcr}$) (devamı) 91
Çizelge 5.3.28 Geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCirp_{irp}$) 92
Çizelge 5.3.29 Geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCirk_{irk}$) 92
Çizelge 5.3.30 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQisp_{isp}$) 92
Çizelge 5.3.31 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQisp_{isp}$) (devamı) 93
Çizelge 5.3.32 Fabrikalardan depolara taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjpw_{jpw}$) 93
Çizelge 5.3.33 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjwd_{jwd}$) 93
Çizelge 5.3.34 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjwd_{jwd}$) (devamı) 94
Çizelge 5.3.35 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$) 94
Çizelge 5.3.36 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$) (devamı) 95
Çizelge 5.3.37 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$) (devamı) 96
Çizelge 5.3.38 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjcr_{jcr}$) 96

Çizelge 5.3.39 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjcr_{jcr}$) (devamı) 97
Çizelge 5.3.40 Geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQirp_{irp}$) 97
Çizelge 5.3.41 Geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine taşınan her bir bileşen için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQirk_{irk}$) 98
Çizelge 5.3.42 Fabrikaların birim CO_2 salınım miktarları ($CQjp_{jp}$) 98
Çizelge 5.3.43 Depoların birim CO_2 salınım miktarları ($CQjw_{jw}$) 98
Çizelge 5.3.44 Dağıtım merkezlerinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQjd_{jd}$) 99
Çizelge 5.3.45 Geri dönüşüm merkezlerinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQir_{ir}$) ... 99
Çizelge 5.3.46 İmha merkezinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQik_{ik}$) 99
Çizelge 5.3.47 Fabrikaların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingP_p(\%)$) 99
Çizelge 5.3.48 Depoların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingW_w(\%)$) 100
Çizelge 5.3.49 Dağıtım merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingD_d(\%)$) 100
Çizelge 5.3.50 Geri dönüşüm merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingR_r(\%)$). 100
Çizelge 5.4.1 Amaçların bireysel maksimum ve minimum değerleri. 101
Çizelge 5.4.2 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 104
Çizelge 5.4.3 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 104
Çizelge 5.4.4 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezinlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 104
Çizelge 5.4.5 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 105
Çizelge 5.4.6 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taş ınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 105
Çizelge 5.4.7 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 106
Çizelge 5.4.8 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 106
Çizelge 5.4.9 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 107

Çizelge 5.4.10 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 108
Çizelge 5.4.11 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 108
Çizelge 5.4.12 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 108
Çizelge 5.4.13 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 109
Çizelge 5.4.14 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarı ($Qjcrt_{jcrt}$) 109
Çizelge 5.4.15 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 110
Çizelge 5.4.16 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 110
Çizelge 5.4.17 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 111
Çizelge 5.4.18 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 112
Çizelge 5.4.19 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 112
Çizelge 5.4.20 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 112
Çizelge 5.4.21 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 113
Çizelge 5.4.22 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 113
Çizelge 5.4.23 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 114
Çizelge 5.4.24 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 114
Çizelge 5.4.25 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 115
Çizelge 5.4.26 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 116
Çizelge 5.4.27 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 116

Çizelge 5.4.28 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 117
Çizelge 5.4.29 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 117
Çizelge 5.4.30 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 118
Çizelge 5.4.31 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 119
Çizelge 5.4.32 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 119
Çizelge 5.4.33 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 120
Çizelge 5.4.34 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 121
Çizelge 5.4.35 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 121
Çizelge 5.4.36 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) (devamı) 122
Çizelge 5.4.37 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 122
Çizelge 5.4.38 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 123
Çizelge 5.4.39 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 124
Çizelge 5.4.40 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 124
Çizelge 5.4.41 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 125
Çizelge 5.4.42 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 125
Çizelge 5.4.43 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 126
Çizelge 5.4.44 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 126
Çizelge 5.4.45 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı) 127

Çizelge 5.4.46 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 127
Çizelge 5.4.47 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 128
Çizelge 5.4.48 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 128
Çizelge 5.4.49 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 128
Çizelge 5.4.50 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 130
Çizelge 5.4.51 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 130
Çizelge 5.4.52 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 131
Çizelge 5.4.53 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 131
Çizelge 5.4.54 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı) 132
Çizelge 5.4.55 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 133
Çizelge 5.4.56 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 134
Çizelge 5.4.57 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 134
Çizelge 5.4.58 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 135
Çizelge 5.4.59 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 135
Çizelge 5.4.60 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 135
Çizelge 5.4.61 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) (devamı) 136
Çizelge 5.4.62 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) 136
Çizelge 5.4.63 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı) 137

Çizelge 5.4.64 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjcrt_{jcrt}}$) 138
Çizelge 5.4.65 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qirpt_{irpt}}$) 139
Çizelge 5.4.66 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qirkt_{irkt}}$)..... 139
Çizelge 5.4.67 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qispt_{ispt}}$)..... 140
Çizelge 5.4.68 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjpwt_{jpwt}}$)..... 140
Çizelge 5.4.69 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjwdt_{jwdt}}$) 140
Çizelge 5.4.70 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjwdt_{jwdt}}$) (devamı) 141
Çizelge 5.4.71 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjdct_{jdct}}$) 141
Çizelge 5.4.72 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjdct_{jdct}}$) (devamı) 142
Çizelge 5.4.73 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjcrt_{jcrt}}$) 143
Çizelge 5.4.74 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qirpt_{irpt}}$) 144
Çizelge 5.4.75 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qirkt_{irkt}}$)..... 144
Çizelge 5.4.76 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($\underline{Qispt_{ispt}}$) 145
Çizelge 5.4.77 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjpwt_{jpwt}}$) 146
Çizelge 5.4.78 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjwdt_{jwdt}}$)..... 146
Çizelge 5.4.79 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjdct_{jdct}}$) . 147
Çizelge 5.4.80 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($\underline{Qjcrt_{jcrt}}$)..... 147

Çizelge 5.4.81 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 148
Çizelge 5.4.82 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 148
Çizelge 5.4.83 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 149
Çizelge 5.4.84 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 150
Çizelge 5.4.85 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 150
Çizelge 5.4.86 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 150
Çizelge 5.4.87 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 151
Çizelge 5.4.88 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) . 151
Çizelge 5.4.89 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 152
Çizelge 5.4.90 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 153
Çizelge 5.4.91 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 153
Çizelge 5.4.92 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$) 154
Çizelge 5.4.93 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$) 155
Çizelge 5.4.94 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) 155
Çizelge 5.4.95 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) . 156

Çizelge 5.4.96 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) 156
Çizelge 5.4.97 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı) 157
Çizelge 5.4.98 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$) 157
Çizelge 5.4.99 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$) 158

ÖZET

ÇOK AMAÇLI ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BİR BULANIK MODEL ÖNERİSİ

Sema AKIN

Matematik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

Tedarikçi seçimi, yerleşim, üretim, dağıtım gibi birçok karar verme problemini içinde barındıran tedarik zinciri yönetimi son yıllarda gerek uygulamacılar gerek akademisyenler tarafından incelenen önemli bir konudur. Aynı piyasada faaliyet gösteren etkin bir tedarik zinciri yönetimi olan ve olmayan iki firmanın başarı yönünden ayrılacağı açıktır. Çağımızda giderek kirlenen dünyamız ve kısıtlı doğal kaynaklar göz önüne alındığında tedarik zincirlerinin çevreci bakış açısıyla yönetilmesi gündeme gelmekte ve böylece kapalı devre tedarik zinciri yönetiminin önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

Bu çalışmada, tedarikçi seçimi; üretim; fabrika, depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezi kullanımı; tesisler arasındaki taşıma miktarları ve depolardaki ürün stok seviyesi kararlarını dönemsel olarak veren ekonomik ve çevresel faktörlere duyarlı çok amaçlı bir kapalı devre tedarik zinciri modeli önerilmiştir. Oluşturulan şebeke; satın alma, nakliye, tesislerdeki işlem, kullanım, stoklama maliyetlerini ve aynı zamanda kapasite kısıtlarını dikkate alarak çok ürünlü, çok dönemli, çok müşteri bölgeli, çok depolu, çok dağıtım merkezli, çok geri dönüşüm merkezli, çok tedarikçili karma tamsayılı bir lineer programlama problemi olarak modellenmiştir. Modelin üç hedefi; daha önceden tesislere çeşitli nedenlerle atfedilen önemi en üst düzeye çıkarırken, bir sera gazı olan CO_2 emisyonunun ve toplam maliyetin en aza indirgenmesidir.

Zimmermann’ın minimum operatörü kullanılarak bulanık yaklaşım yardımıyla bu tüm amaçların ortak tatminini maksimize edecek şekilde çözüm üretmesi sağlanan matematiksel model sayısal verilerle bir örneğe uyarlanmış ve karar vericiler için tatmin seviyesinin kabul edilebilir olduğu optimal bir sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, kapalı devre tedarik zinciri, çok amaçlı optimizasyon, bulanık karma tamsayılı lineer programlama.

ABSTRACT

A FUZZY MODEL PROPOSAL FOR MULTI-OBJECTIVE MULTI-PERIOD MULTI-PRODUCT CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Sema AKIN

Department of Mathematics

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Beyza AHLATCIOĞLU ÖZKÖK

Supply chain management which contains supplier and location selection, production, distribution decisions is an important subject that is examined in recent years by both practitioners and academicians. It is obvious that firms which are operating in the same market, with and without an effective supply chain management separated in terms of their success. In our age, considering the limited natural resources and increasingly polluted world, supply chain is managed with the environmental point of view comes up and thus closed-loop supply chain management is becoming increasingly important day by day.

In this thesis, a multi-objective closed-loop supply chain considering the economical and environmental factors model is proposed to periodically make decisions of supplier selection, production, warehouse, distribution center and recycling center set-up, the transportation quantities between facilities and the level of product stock in warehouses. The presented network is modeled as mixed integer linear programming problem considering multi-product, multi-period, multi-customer zones, multi-warehouse, multi-distribution centers, multi recycling centers, multi-external suppliers; to take care for purchasing cost, transportation cost, processing cost in facilities, set-up cost, storage cost and capacity constraints simultaneously. The three model objectives are minimization of both the total cost and CO_2 emission which is a

greenhouse gas while maximizing the percentage of importance previously attributed to the facilities in various reasons. Mathematical model which is solved to maximize the joint satisfaction of these all objectives with a fuzzy approach by using the minimum operator of Zimmermann is illustrated with a numerical case study and an optimal result containing preferable level of satisfaction to the decision maker is obtained.

Keywords: Supply chain management, closed-loop supply chain, multi-objective optimization, fuzzy mixed integer linear programming.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Sanayi Devriminin de etkisiyle 1. ve 2. Dünya Savaşları'ndan sonra yaklaşık olarak 1960'lı yıllara denk gelen dönemlerde "fiziksel dağıtım aşaması" adı altında tedarik zincirinin temelleri Bowersox tarafından atılarak literatüre kazandırılmıştır [1]. Gündeme geldiği zamandan bu yana firmaların ve araştırmacıların epey ilgilerini çeken tedarik zinciri üzerine pek çok çalışma ve tanım mevcuttur. Ellram tarafından en genel haliyle tedarik zinciri, piyasaya ürün ve servis sağlayan şirketlerin işbirliği ağı olarak tanımlanmıştır. [2]

Firmaların etkin ve verimli bir şekilde hizmet verebilmeleri için tedarik zincirlerinin uzman kişilerce planlanması ve kontrol edilmesi gereklidir. Öyle ki faaliyetleri çok kapsamlı olan tedarik zinciri yönetimi hakkında uzun yıllardır çalışılmakta olduğundan zengin bir literatüre sahip olup sağlıklı bir biçimde incelenebilmesi için kategorize edilmesi sorunu meydana gelmiştir. Bu bağlamda, Croom vd.; tedarik zinciri yönetimi konusunda yapılan çalışmaları, içerik ve metodoloji olmak üzere iki etkene göre sınıflandıran bunu yaparken de Procite veri tabanını kullandığı bir analitik çatı geliştirirken [3], Beamon ise çok aşamalı (multi-stage) tedarik zinciri modellerini; deterministik analitik modeller, stokastik analitik modeller, ekonomik modeller ve simülasyon modelleri olmak üzere dört ana konu ile sınıflandırmıştır [4]. Ayrıca Min ve Zhou tedarik zinciri problemlerini; entegre problem yapılarına ve model yapılarına göre iki ayrı kategoride incelemişlerdir. Entegre problem yapılarına göre yapılan sınıflandırmada; literatür, tedarikçi seçimi-stok kontrolü, üretim-dağıtım, yer seçimi-stok kontrol, stok kontrol-taşıma ve yer seçimi-rotalama problemleri başlıkları altında

ayrılmıştır. Model yapılarına göre yapılan sınıflandırma işlemi ise tek amaçlı ve çok amaçlı modeller olmak üzere "deterministik"; optimal kontrol teori ve dinamik programlama alt başlıkları olmak üzere "stokastik"; stok tabanlı ve simülasyon alt başlıkları olmak üzere "hibrit" ve son olarak depo yönetim sistemi, kurumsal kaynak planlanması ve coğrafi bilgi sistemleri alt başlıkları olmak üzere "bilgi teknolojisi süreci" başlıkları altında incelenmiştir [5]. Son olarak Srivastava, geleneksel tedarik zinciri faaliyetlerine çevresel duyarlılığın adapte edildiği tersine lojistik faaliyetlerinin de yürütüldüğü yeşil tedarik zinciri yönetimi üzerine geniş bir literatür taraması sunmuştur[6].

Küreselleşme ve buna bağlı olarak çevresel duyarlılığın artmasıyla birlikle bilim insanları, yeşil ve kapalı devre tedarik zinciri konularına yönelmişlerdir. Hu vd.; çok dönemli ve çok ürünlü, zararlı atığın olduğu tersine lojistik sistemler için toplam maliyet minimizasyonlu zararlı ürün atıklarının azaltılmasına yönelik ayrık zamanlarda (discrete-time) lineer analitik yapıda bir model geliştirmişlerdir. Sistemdeki süreçlerin; atıkların toplanması, depolanması, işlenmesi ve dağıtılması olduğu kabul edilmiştir. Çalışma neticesinde, bir takım operasyonel stratejiler ile tersine lojistik maliyetlerin % 49 oranında azaltılabileceği sonucuna varılmıştır [7]. Şengül, kapalı devre tedarik zincirinin; geri dönüş faaliyetleri ile bütün geleneksel tedarik zinciri faaliyetlerinin birleştirilmesini içeren bir yapı olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında kapalı devre tedarik zinciri kavramını, işleyişini ve işletme modellerini kapsamlı olarak incelemiştir [8]. Fleischmann vd., kullanılmış ve geri dönüşümü olan ürünlerin göz önüne alındığı tersine lojistik faaliyetleriyle kapalı devre (closed-loop) tedarik zinciri şebekesi üzerine çalışmışlardır [9]. Krikke vd., gerçekte var olan buzdolabı üretimi yapan bir firmanın kapalı devre tedarik zinciri yapısı için karma tamsayılı doğrusal kantitatif bir model geliştirmişlerdir. Modelde; çevresel mevzuatlar, alternatif ürün tasarımları, geri dönen ürünlerin nitelik ve niceliksel çeşitliliği gibi farklı parametreler kullanarak farklı senaryolarla toplam maliyet, toplam enerji kullanımı ve atık miktarının minimizasyonunu amaçlamışlardır [10]. Bouzembrak vd., çevresel bilinci dikkate alan çok amaçlı yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı hakkında bir çalışma yapmışlardır. CO_2 salınımını üstten sınırlayan; depo ve dağıtım merkezi kurulumuna karar veren; tesis kurulum, çevresel önlem yatırımları, lojistik, dağıtım, enerji harcama, atık arıtma

maliyetlerinin ve toplam CO_2 emisyonu minimizasyonu ile iki amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Ancak modelin kapalı devre olmaması yeşil olma derecesini düşürmektedir [11].

Kapalı devre tedarik zincirlerinde de epey karşılaşılan birçok kritere göre kararlar vermeyi gerektiren tedarikçi seçimi problemleri üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ghodsypour ve O'Brien; (1) hangi tedarikçiyi seçmeliyim? ile (2) hangi tedarikçiden ne kadar ürün siparişi vermeliyim? sorularına yanıt arayarak tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır. Somut ve soyut faktörlerin rol oynadığı tedarikçi seçimi ve tedarikçilerden sipariş edilebilecek optimal ürün miktarlarının belirlenmesi problemleri için Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Lineer Programlamanın bütünleştirildiği matematiksel bir model sunarak sayısal bir örnek ile modelin işlerliğini göstermişlerdir [12]. Tsiakis vd., sabit bölgelere konumlandırılmış fabrikaların, bölgeleri ve sayıları müşteri talepleri doğrultusunda tayin edilen depoların ve dağıtım merkezlerinin bulunduğu çok ürünlü çok aşamalı tedarik zinciri için lineer karma tamsayılı bir model önermişlerdir. Modelin amacı; kurulacak depo ve dağıtım merkezlerinin sayıları, bölgeleri ve kapasiteleri, üretim oranları ve şebeke bağlantıları için ihtiyaç duyulan taşıma kararları verilerek yıllık toplam maliyetin minimize edilmesidir [13]. Narasimhan vd., tedarikçi seçimi problemi için önerdiği karma tamsayılı modelde; yaşam döngüsü bilinciyle toplam maliyet minimizasyonunu, teslimat performansının ve ürünlerin kalite seviyelerinin maksimizasyonunu amaçlamışlardır. Çok ürünlü olan model için Minimax yaklaşımıyla çözüm elde edilmiştir [14].

Çok amaçlı ve/veya kapalı devre tedarik zinciri problemlerinin modellenmesinde ve çözümünde yaşamın doğasındaki belirsizlikler nedeniyle kesin (crisp) yaklaşımların yetersiz kalmasından dolayı bulanık matematiği de içine alan çalışmalar yapılmaya yoğunlaşılmıştır. Bulanık küme teorisini geleneksel doğrusal programlama probleminde ilk olarak ele alan Zimmermann, bulanık bir hedef ve bulanık kısıtları olan doğrusal programlama problemi çözmüştür [15]. Narasimhan; ''bulanık alt küme" anlayışını bulanık bir ortamda hedef programlamaya uygulayarak çalışmasında, bulanık hedefler arasında tercih önceliğinin olmadığını ve bütün amaçların eşit önem derecesine sahip olduğunu kabul ederek çok amaçlı bir bulanık hedef programlama problemi modelmiş

ve doğrusal programlamaya dayanan bir çözüm yaklaşımı geliştirmiştir [16]. Leberling, çok kriterli olan doğrusal maksimum vektör problemine lineer bulanık minimum operatörü ve özel lineer olmayan üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanık olarak yaklaşarak çözüm elde etmiştir [17]. Peidro vd.; tedarik, talep ve süreç belirsizliklerini dikkate alarak toplam maliyetin minimize edilmesi amacıyla verilerdeki belirsizliğin bulanık üçgensel sayılarla ifade edildiği karma tamsayılı bulanık bir lineer programlama modeli önermişlerdir. Ayrıca modelin işlevliğini gerçek bir araba firmasının tedarik zinciri verilerini kullanarak test etmişlerdir [18]. Kumar vd.; toplam maliyetin minimizasyonu, ürün kalitesinin ve ürünün müşteriye zamanında teslim seviyesinin maksimizasyonu amaçları altında, müşteri talepleri, tedarikçi kapasitesi, tedarikçi esnekliği gibi gerçeğe uygun kısıtları bulunan bulanık çok amaçlı tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modelde çeşitli parametrelerdeki belirsizlik bulanık küme teorisi yaklaşımı ile ele alınmıştır [19]. Ahlatcıoğlu Özkök ve Tiryaki, çok ürünlü tedarik zinciri yapısında tedarikçi seçim problemi için çok amaçlı lineer programlama modeline bulanık dengeleyici bir yaklaşım önermişlerdir [20]. Amid vd., tedarikçi seçimi problemi için net maliyetin, reddedilen ürün miktarının ve geç teslim süresinin minimizasyonunun amaçlandığı ağırlıklı toplamsal bulanık çok amaçlı karma tamsayılı bir model önermişlerdir. Her bir amacın önem ağırlıkları farklı olmasından dolayı modelde amaçların ağırlıklandırılmış üyelik fonksiyonları birleştirilip ilgili karar fonksiyonları oluşturulmaktadır. Önerilen modelin nasıl çalıştığı sayısal bir örnekle gösterilmiştir. [21]. Gonce Köçken vd., çok aşamalı çok ürünlü tedarik zinciri için önerdikleri modelin çözümünde Werners'in dengeleyici bulanık birleştirme operatörünü kullanarak bulanık bir çözüm yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır [22]. Ahlatcıoğlu Özkök vd., çok aşamalı çok amaçlı kapalı devre tedarik zincirine bulanık bir yaklaşım öne sürerek tesis yerleşim yerlerini ve şebeke üzerindeki dağıtım miktarlarını belirleyen ve amaçların toplam maliyet ve önem yüzdeleri maksimizasyonu olduğu bir model oluşturmuşlardır [23]. Amin ve Zhang; tedarikçi seçimi, sipariş takibi ve tersine lojistik faaliyetlerini içeren kapalı devre tedarik zinciri tasarımı için tedarikçi ve geri kazanım tesislerinin seçimi ile stratejik, şebekedeki optimum hammadde ve ürün miktarı kararlarını veren karma tamsayılı lineer programlama modeli önermişlerdir. Kar ve tedarikçiler için önem maksimizasyonu ile arıza oranlarının minimizasyonu

amaçlarına sahip modelin çözümünde bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile uzlaşık programlama yaklaşımını kullanmışlardır [24].

Pishvaee ve Razmi, verilerin doğasında var olan belirsizlik ile çevresel tedarik zinciri tasarımı için çoklu çevresel etkilerin ve geleneksel maliyet minimizasyonun amaçlandığı çok amaçlı bulanık bir model önermişlerdir. Modelin çözüm aşaması için ise interaktif bulanık bir yaklaşım geliştirilmiştir [25]. Ramezani vd.; çok ürünlü, çok periyotlu kapalı devre tedarik zinciri şebekesi tasarımı için kar ve kalite maksimizasyonu, teslim süresi minimizasyonu yapan çok amaçlı karma tamsayılı bulanık bir lineer programlama modeli önermişlerdir. Modelde bilgi eksiklikleri için bulanık parametreler kullanılırken esnek/bulanık kısıtlar oluşturulmuştur [26]. Jindal ve Sangwan; çoklu müşteri bölgesine, çoklu toplama merkezine, çoklu parçalama merkezine, çoklu yenileme merkezine, çoklu tedarikçiye ve ürünler için farklı yenileme işlemlerine sahip kapalı devre tedarik zinciri tasarımında belirsiz ekonomik ve çevresel faktörlerin dikkate alınmasıyla bulanık parametrelerle karma tamsayılı çok amaçlı bulanık bir lineer programlama modeli kurmuşlardır. Toplam kar maksimizasyonunu ve çevresel etkinin minimizasyonunu amaçladıkları modeli interaktif ε-kısıt yöntemi yardımıyla çözmüşlerdir [27].

Temelleri 1920'lere dayanan, belirsizlik çeşitleriyle başa çıkabilmek için gündeme gelmiş olan tedarik zincirinde stok kontrolü ile ilgili yapılan çalışmalardan stok yönetiminin; belirlenen stok seviyelerinin sürekli olarak gözden geçirilmesi ve değişen ekonomik koşullara, yasal mevzuatlara uyarlanması gereken dinamik bir süreç olduğu anlaşılmıştır. Wang ve Shu; geliştirdikleri modelde, verilerdeki belirsizliklerin üstesinden gelebilmek ve stok stratejilerini belirleyebilmek için bulanık küme teorisinden yararlanmışlardır [28]. Chen ve Lee; çok aşamalı bir tedarik zinciri için bilinmeyen pazar taleplerini bilinen olasılıklar ile ayrık senaryolar kurarak paydaşlar arasında adil kar dağılımı, güvenilir stok seviyeleri, maksimum müşteri tatmini vs. gibi birbiri ile çelişen amaçlar içeren oluşturdukları lineer olmayan karma tamsayılı modelin çözümü için iki aşamalı bulanık karar verme yöntemi önermişler ve sayısal bir örnek ile çözüm yöntemini açıklamışlardır [29]. Petrovic vd.; müşteri talepleri, teslimat ve pazar arzı gibi belirsizliklerin olduğu tedarik zinciri için bu belirsizliklerin bulanık olarak ifade

edildiği makul maliyetlerde ve kabul edilebilir servis düzeyi ile stok sevilerine karar vermeyi amaçladıkları bir bulanık model önermişlerdir [30].

1.2 Tezin Amacı

Literatür özetinde de ifade edildiği gibi tedarik zinciri tasarımlarında etkili olan birçok faktör ile şebekeler genişletilerek gerçek hayat problemlerine daha uygun hale getirilebilir.

Bu çalışmadaki amacımız; birden fazla bileşene sahip çeşitli ürünlerin üretimi için gerekli olan hammaddelerin hangi tedarikçi/tedarikçilerden temin edileceğine, çoklu olan ürün tiplerinin hangi fabrikalarda üretileceğine, olası depo/depolar, dağıtım merkezi/dağıtım merkezleri, geri dönüşüm merkezi/geri dönüşüm merkezlerinden hangilerinin kullanım için seçileceğine ve hammadde yetersizliği, ani talep artışı gibi belirsiz durumlarla başa çıkabilmek için hangi depo/depolarda hangi üründen hangi miktarda stok tutulması gerektiğine dönemsel olarak karar verilirken çeşitli sebeplerden dolayı son yıllarda artan çevre duyarlılığını da dikkate alarak üretim, elleçleme, nakliye ve geri dönüşüm, imha gibi tesislerdeki işlemler esnasında ortaya çıkacak CO_2 salınımı ile toplam maliyeti en aza indirmek, bunu gerçekleştirirken de işletmenin yararına olacak tesislerin kullanımına öncelik vermek ve böylece optimum dağılımın elde edilebileceği çok amaçlı kapalı devre tedarik zinciri yönetimi için bir model kurarak literatüre kazandırmaktır.

1.3 Hipotez

Belirtilen amaçlar doğrultusunda, kurulacak karma tamsayılı lineer matematiksel model için amaçların ortak tatmin derecesini maksimize edebilme adına Zimmermann'ın minimum operatörü yardımıyla bulanık bir yaklaşımla çözüm üretilmiştir. Modelde verilen parametreler doğrultusunda bileşen ya da hammaddelerin hangi tedarikçilerden alınacağı; hangi fabrikalarda ne kadar üretim olacağı; kullanılacak depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezleri; tesisler arasında iletilecek ürün miktarı; stoklama depoları ve miktarları; müşteri talepleri karşılanarak dönemsel olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

2.1 Tedarik Zinciri

Literatürde çeşitli disiplinler ile ilgilenen bilim insanları tarafından yapılmış, görünürde birbirinden farklı gibi olsa da aslında içerik olarak aynı temel noktalardan bahseden, tedarik zinciri üzerine birçok tanım vardır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Bir Tedarik Zinciri (TZ); hammaddelerin temin işleminden sonra bu hammaddeleri ara veya son ürüne çeviren ve bu elde edilen son ürünleri de bir dağıtım sistemi aracılığıyla son müşteri bölgelerine dağıtan tesisler şebekesidir [31].

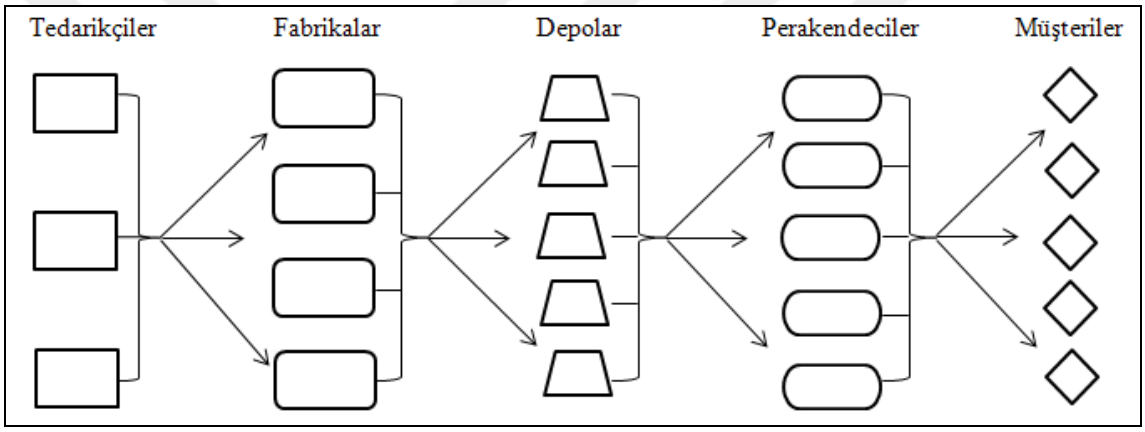
TZ; ileri akışta malzemelerin ve geri akışta ise bilginin aktarıldığı bileşen tedarikçileri, üretim tesisleri, dağıtım işlemleri ve müşteriler gibi temel bileşenleri içeren bir sistemdir [32].

TZ; yapısı firmadan firmaya göre değişebilen, ilk malzemeleri satın alma, satın alınan malzemeyi yarı mamul ya da nihai ürüne dönüştürme ve dötüştürülen son ürünlerin müşterilere dağıtılma işlevlerini gerçekleştiren araçtır [33].

TZ; hammaddeden son kullanıcıya kadar olan bütün ürün hareketlerini kapsayan, tedarik, satın alma, üretim planlama, sipariş işlemleri, envanter (stok) kontrolü, taşıma, depolama ve müşteri hizmetlerinin tümünü içerip ve bu fonksiyonların tamamını gerçekleştirirken kontrolü kolaylaştırabilmek için bilişim sistemleri üzerinde biçimlendirilebilme olanağı sağlar [34].

TZ; hammaddelerin tedarik edilmesinden üretilen son ürünün nihai kullanıcıya iletilmesi ve tamir, bakım ya da ürünün içerdiği zararlı maddelerin imha edilmesine kadar bütün faaliyetlerin, tesislerin, sistemlerin ve kişilerin oluşturduğu bir ağdır. Öyle ki hammaddenin yeryüzünde elde edilmesiyle başlayan ve ürünün tekrarlı bir biçimde kullanımından sonra atılmasıyla sona eren TZ; tedarikçilerden, üretim tesislerinden, dağıtım merkezleri ve satış işlemi yapan mağazalardan, hammaddeler, süreç içi envanterler ve sistem boyunca taşınan son ürünlerden oluşur [35].

Tedarikçi, fabrika/üretici, depo, perakendeci/dağıtım merkezi ve müşterilerden oluşan genel bir TZ, Şekil 2.1.1'de gösterilmiştir.



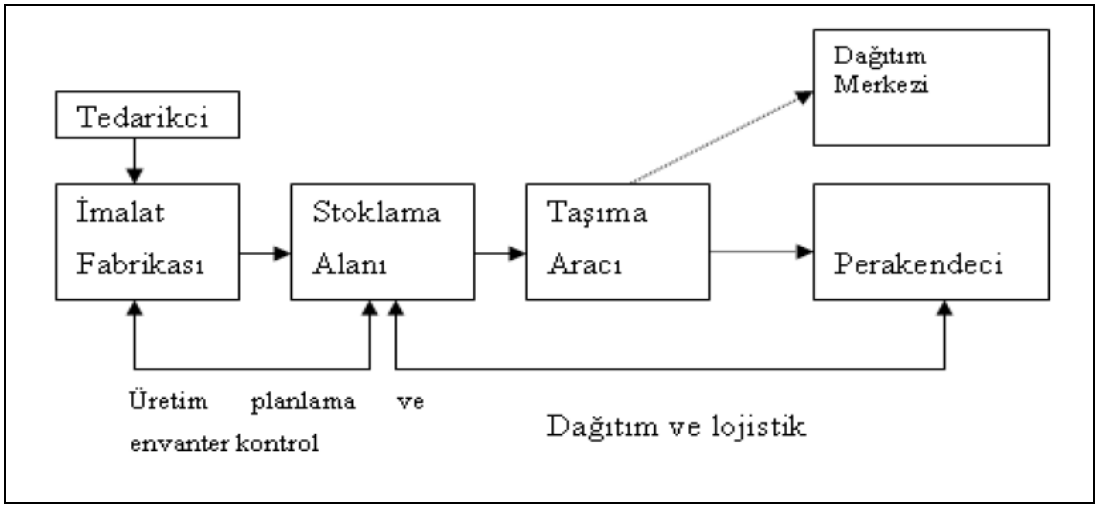
Şekil 2.1.1 Tedarik zinciri

Özetlenecek olursa TZ; ürün bileşenlerinin tedarikçilerden sağlanması, bu malzemelerin ara ve son (tamamlanmış) ürünlere dönüştürülmesi ve bu ürünlerin nihai tüketim noktalarına ulaştırılması süreçlerinin tümünü kapsayan bir ağdır. İşletmenin iş yüküne, kapasitesine, hizmet ağına veya faaliyette bulunduğu endüstri dalına bağlı olarak TZ'nin karışık yapıya sahip olup olmaması farklılığa sebep olabilir. Ayrıca eğer mevcutsa iade ve ekonomik değeri olan atıkların ayrıştırılma sonucu tekrar süreçlere katılmasıyla birlikte TZ yapısı genişletilebilmektedir. Bu açıdan genişleyip daralabilme esnekliğine sahip TZ, yalnızca üretim işletmelerinde bulunmaz aynı zamanda turizm gibi hizmet sektöründe varlığını sürdüren işletmelerde de mevcuttur.

2.1.1 Tedarik Zincirinin Yapısı

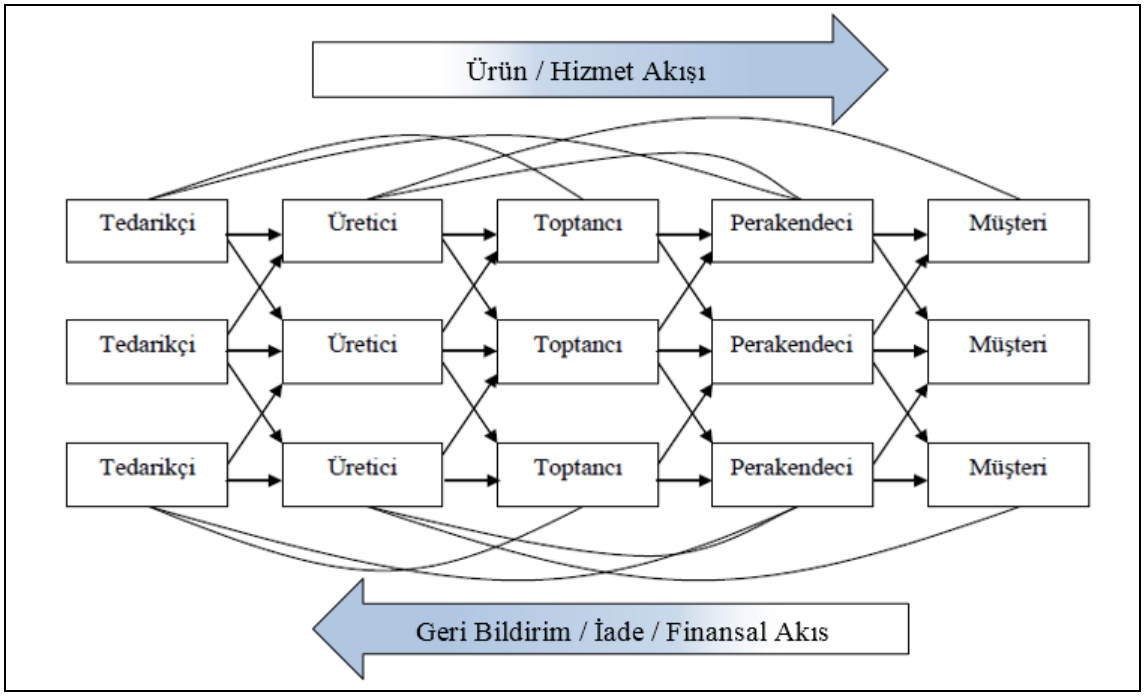
Zincirin yapısına karar verilirken, TZ'deki üye firmaların kimliklerinin tanımlanması gerekli bir işlemdir. TZ'nin çok sayıda ve çok farklı türlerden alana sahip firmaları içermesi kurulacak olan şebekenin karmaşık bir yapıda olmasına neden olabilmektedir ve süreç boyunca üyeler arasındaki bağlantıları yönetmek zorlaşabilmektedir. Burada önemli ve temel nokta, firma ve TZ'nin başarısı için hangi üyelerin uygun olduğunun belirlenmesi ve bunlar arasındaki ilişkilerde yönetim yetenekleriyle kaynakların doğru dağıtılmasıdır [36].

Bahsedildiği üzere hammaddeleri ürüne dönüştüren daha sonra bunları müşterilere ileten her aşamasıyla bütünleşik bir süreç olan TZ, "üretim planlama ve envanter kontrol" ve "dağıtım ve lojistik " olmak üzere iki temel konuyu içermektedir. Şekil 2.1.2'de bir TZ içindeki akışının gösterildiği bu iki proses, son ürüne çevrilen hammaddelerin sistemdeki hareketi ve değişimi için temel yapıdır. İmalat ve stoklama alt proseslerinden oluşan üretim planlama ve envanter kontrol prosesi; sırasıyla bütün üretim sürecinin tasarımı ve yönetimini, hammaddelerin temin edilmesini, imalat sürecini, malzeme taşıma siteminin kontrolünü ve son ürüne dönüşmek üzere hammaddeler ile birlikte nihai ürünlerin, süreç içi stoklama işlemlerinin yönetimini kapsamaktadır. Envanterlerin taşınmasını ve tamamlanmış ürünlerin dağıtım işlemlerinin yönetimini ifade eden dağıtım ve lojistik prosesi ise; son ürünlerin depolardan perakendecilere ve perakendecilerden dağıtım merkezlerine nasıl ulaştırılacağının belirlenmesidir [4].



Şekil 2.1.2 TZ prosesleri

Beş ana öğeyi içeren genel bir TZ yapısı Şekil 2.1.3'te verilmiştir. Görüldüğü üzere zincir; Tedarikçi, Üretici/Fabrika, Toptancı, Perakendeci ve Müşteri olarak sıralanmaktadır. Ancak günümüzde çeşitli sektörlerde işletmeler tek tedarikçiden ziyade hammaddeleri ve hizmeti birden fazla tedarikçiden sağlamakta olup kendinden sonraki birimleri beslemektedir. Bu durumda birçok TZ yapısı, iç içe geçmiş aşamalar yumağı halini alır. Her bir TZ birimi arasında ürün, bilgi ve parasal kaynak akışı olur ki Şekil 2.1.3'te gösterilmiş olan soldan sağa (ileriye doğru) ürün akışı sağlanırken sağdan sola (geriye doğru) geri bildirim (bilgi) akışı ve ödeme gibi mali kaynak akışı olur [37].



Şekil 2.1.3 Etkileşimli TZ yapısı

Bir TZ'de yukarıda bahsedilen beş üyenin hepsinin bulunması zorunlu değildir. Bazı ürünler ve firmaların TZ'leri basit ve kısa iken bazı firma ve ürünlerin ise uzun ve karmaşık olabilir. Müşterilerin taleplerine ve isteklerine göre şekillenen TZ şebekesi her ürün için farklı ve özgün olarak bulunmaktadır.

Ayrıca TZ'deki her bir üye; pazardaki mamulü, bilgiyi ve teknolojiyi daha iyi arz ve talep dengesini sağlayarak zincirdeki diğer birimlere hızlı, eksiksiz ve maliyetin en kabul edilebilir olduğu bir biçimde sunmayı amaçlar.

Ek olarak, iş ortamlarındaki ürünün elde edilmesinden tüketim safhasına kadar olan mamul akışı TZ işlevlerini temsil ederken bu akışa tedarikçilerden müşterilere bilgi akışı ve zincirdeki maliyetler için gereken fonları temin eden müşterilerden başlayan ters olarak ilerleyen finansal akışın dahil edilmesiyle TZ'nin geliştirilmiş hali olan değerler zinciri elde edilmiş olur.

2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi

Firmalar, rekabetçi pazar şartlarında yaptıkları yatırımların geri dönüşlerini sağlayabilmek adına bünyelerindeki birimler ve TZ'de bulunan paydaşlar ile işbirliği yapmanın kar oranlarını artırma ve toplam maliyeti azaltmada yararlarına olacağının farkına varmışlardır. Bu ehemmiyetin anlaşılması üzerine; firmaların amaçları doğrultusunda etkin ve randımanlı bir şekilde güçlü piyasada ayakta durabilme çabaları, sürekli değişim ve geliştirilme gereksinimi olan "Tedarik Zinciri Yönetimi" (TZY) kavramını gündeme getirmiştir. Bu yeni eğilimin etkisiyle müşteri odaklı ve daha verimli çalışmaya mecbur kalan firmalar söz konusu yönetim ile ilgilenen uzmanlar bulundurmaya başlamışlardır.

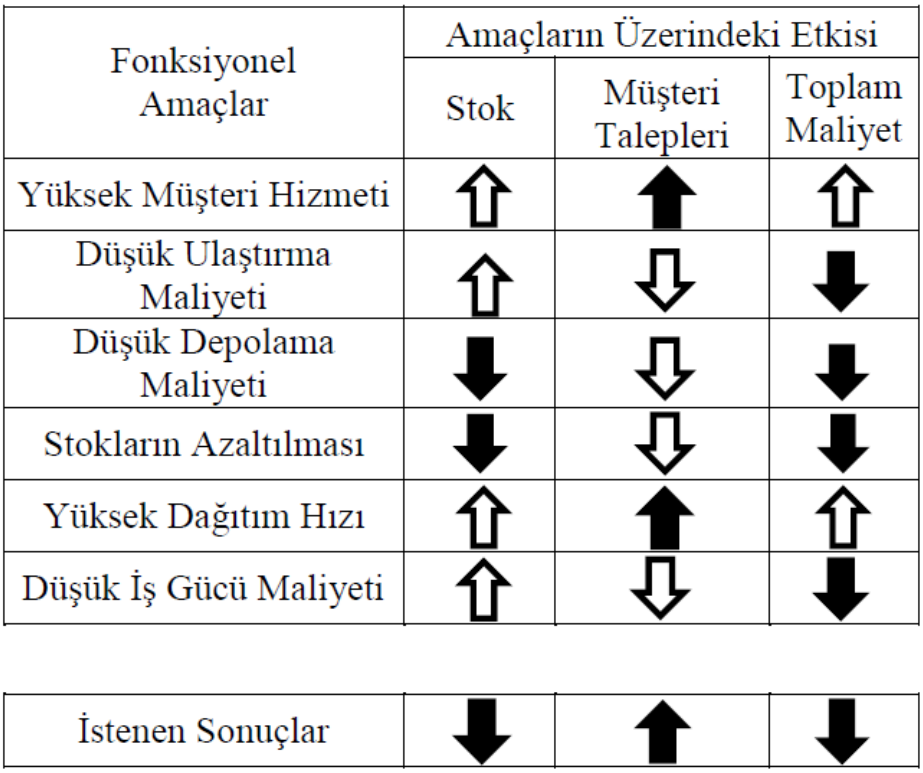
Bilgi sistemlerinin entegre edilmesi, planlama ve kontrol fonksiyonlarının koordinasyonu gibi lojistik kavramında barınmayan bileşenleri de içeren dolayısıyla birçok işletmenin inanışları aksine lojistik kavramına göre daha kapsamlı olan TZY, düğümler (node) arasındaki malzemelerin, son halini almış ürünlerin fiziksel akışı ve bilgi akışı ile birlikte düğümlerdeki etkinlikleri ve süreçleri de kapsamaktadır [38].

TZY, tümüyle TZ'de en az maliyet ile en iyi müşteri niteliğine ulaşmak için tedarikçiler ve müşteriler arasındaki alt akış (geri bildirim ve finansal) ve üst akış (ürün, hizmet) ilişkilerinin yönetimidir [39].

TZY, en elverişli biçimde ürün akışını sağlayarak stok maliyetinin düşürülmesini, ürün aktarımlarındaki belirsizlikleri azaltarak kritik karar alma süreçlerinin en aza indirgenmesini, sipariş sistemlerinin ayarlanarak planlama harcamalarının ve sipariş maliyetinin minimizasyonunu hedefleyen faaliyetler bütünüdür [40].

TZY'de fonksiyonel amaçların; stok, müşteri hizmetleri ve toplam maliyet üzerinde yaptığı etkiler Çizelge 2.2.1 ile ifade edilmiştir. Açıklanacak olursa ilk senaryo için, TZ'de

yüksek müşteri hizmetleri ilk hedef olduğunda; stok seviyeleri, müşteri hizmetleri ve toplam maliyetlerin hepsi artmaktadır. Müşteri hizmetleri için istenen sonuç artış olduğundan yukarı yönlü koyu bir okla belirtilirken stok ve toplam maliyet için bu amacın etkisi arzu edilen sonuçlar doğrultusunda gerçekleşmediğinden açık renkli oklarla gösterilmiştir.



Şekil 2.2.1 TZY'de istenen amaçlar [41]

Müşteri tatminini hedefleyerek doğru ürünün; doğru yer ve zamanda, doğru miktar ve kalitede bulunmasını sağlayarak tedarik edilmesini temel amaç olarak kabul eden TZY, firmaların performanslarını artırabilmek için kurumdaki birimler arasında bilinen çalışma faaliyetlerinin ve aralarındaki ilişkilerin sistematik ve stratejik koordinasyonunu sağlayan bir iştir.

2.2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Önemi

Ürünün kalitesi kadar, ürünün son tüketici eline geçme biçiminin ve zamanının da göz ardı edilemeyecek derecede önem taşıdığı bazı sektörlerde hizmete değer katan zaman ve yer faktöru üzerinde durulan hallerde TZ etkinliği büyük önem arz eder. Bu noktada fiziksel olarak dağıtım ağının ve sipariş takibinin çevik bir biçimde ve uyum içinde olması gerekmektedir. Ayrıca müşteriler, bir ürünü tercih ederken yalnızca ürün temini değil aynı zamanda ürün alışverişinden sonra ürün ile ilgili karşılaşabilecekleri sıkıntılara teknik destek ve bakım gibi çözüm bulabilecek bir güvence de talep etmektedirler. Bunlar TZ'nin iyi bir şekilde yönetimiyle rahatlıkla aşılabilmektedir.

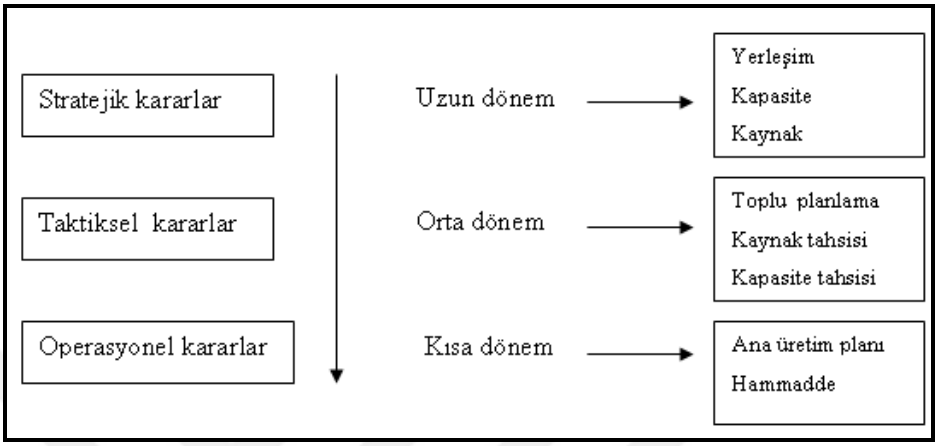
TZY, birimler arası çalışma ortaklığı sonucu sağladığı bilgi paylaşımlarıyla kaynakların lüzumsuz kullanımının ve zaman israfının önlenmesi gibi faydaları başta olmak üzere çeşitli alanlarda önemi söz konusudur. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir [42].

- Teslimat performansının iyileştirilmesi,
- Zincirin çevrim süresinin kısaltılması,
- Öngörü kabiliyetlerinin artırılması,
- Zincir boyunca verimlik artırılırken maliyetlerin düşürülmesi,
- Kapasite gerçekleşme derecesinin artırılması,
- Sipariş karşılama oranının yükseltilmesi,
- Talepleri en iyi şekilde karşılayan kalitenin sağlanarak müşteri memnuniyetinin artırılması,
- Lojistik masraflarının azaltılması,
- Üretimin devamlılığının sağlanması.

2.3 Tedarik Zinciri Yönetimi Kararları

Hammaddelerin tedarik edildiği, ürünlerin bir veya daha fazla fabrikada üretilip geçici stoklama için depolara gönderildiği ve oradan da müşterilere ulaştırıldığı genel bir TZ'de, hizmet seviyesini artırabilmek ve maliyetleri düşürebilmek için çeşitli seviyelerde etkili karar aşamaları yer alır [43].

Başarılı bir TZY; her bir kararın verilme sıklığına, verilme aşamasında zaman kapsamıyla ilgili olarak sahip olduğu etkiye göre sınıflandırılabilen ürün, bilgi ve finansal kaynak aktarımlarına ilişkin çeşitli kararlar vermeyi gerektirir. Hiyerarşik olarak üç seviyede görülen TZY kararları ve kapsamları Şekil 2.3.1'te gösterilmektedir [37].



Şekil 2.3.1 TZY Kararları

Stratejik seviyedeki kararları içeren "TZ stratejisi-tasarımı" aşamasında bir firmanın TZ ağının nasıl yapılandırılacağı ve her bir basamağındaki sürecin işleme süresi ve nasıl işleyeceği kararları verilir. Üretim ve depolama tesislerinin kapasiteleri ve lokasyonları, çeşitli yerleşim yerlerinde üretilecek ve depolanacak olan ürünler ve kullanılacak bilgi sistemleri stratejik seviyedeki kararlardandır. Birkaç yıllık veya dönemlik olabilen uzun süreçli bu seviyedeki TZ tasarımı kararlarının kısa vadede değiştirilmeleri çok maliyetli olduğundan TZ yöneticileri bu kararları alırken piyasa belirsizliklerini göz önünde bulundurmalıdırlar.

Alınan stratejik kararların uygulanabilmesi için stratejinin bölümlere ayrılması gereklidir. Bu birimler taktiksel seviyedeki kararları içeren "TZ planlaması" olup bu aşamada tedarikçi seçimi, lojistik faaliyetleri, yeni ürün geliştirme ve kalite yönetimi gibi kararlar verilir. Talebin tam olarak karşılanarak zincirin aktif olarak yönetilebilmesi için tedarik planları, üretim programları ve talep tahminleri gibi faaliyetleri içeren bu seviyedeki kararlarının alınması zorunludur. Yıllık veya aylık olabilen bu seviyedeki orta dönemli kararlar düzenli bir şekilde güncelleme gerektirmektedir.

Operasyonel seviyedeki kararları içeren "Satış ve Operasyon Planlama (Entegre Planlama)" aşamasında; satış, pazarlama, üretim, yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi, satın alma ve finans gibi tüm iş planları tek bir plan kümesi olarak bir araya getirilmeye çalışılır. Günlük kısa dönemli olan bu seviyedeki kararlar; daha çok sevkiyat, elleçleme, tonlama gibi fiziksel kontrol konularıyla da ilgilidir.

TZY'de yukarıda açıklanan stratejik, taktiksel ve operasyonel seviyede verilen bu kararlar incelendiğinde dört farklı karar türünün olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde hakkında çok sayıda çalışmanın mevcut olduğu bu kararlar; (1) yer seçimi kararları, (2) üretim kararları, (3) stok (envanter) kararları ve (4) dağıtım-taşıma kararları şeklindedir.

2.3.1 Yer Seçimi Kararları

Yer seçimi, TZ'deki üretim merkezlerinin, stok yapılabilecek depoların, tamamlanmış ürünün müşteriye iletileceği dağıtım merkezlerinin coğrafi olarak nereye konumlanacağı ile ilgilidir. Tesislerin sayı, boyut ve konumlarına karar verildikten sonra ürünlerin müşteriye ulaştırılacağı mümkün rotalar belirlenir. Burada müşteriye yakınlık, vergiler, hammadde miktarı, taşıma maliyetleri, işlem maliyetleri, işçilik ve elleçleme maliyetleri gibi çeşitli kriterlere bağlı olan yer seçimi; müşteri talepleri ve hedeflenen satış miktarına göre işletme hedeflerine en iyi hizmet edecek bir biçimde kurulacak tesislerin sayısı ve konumlarıdır. Yer seçimi kararları, uzun dönemli planlara büyük yatırımlar aktarılarak yapıldığı için temelde stratejik seviyede olsa da operasyonel kararları da barındırmaktadır.

Duyarlılığı artıracak şekilde müşteriye yakın olması açısından çok sayıda tesis kurarak; müşteri talep edip maliyeti de artıracak sorumluluğu üstlendiğinde işletme TZY'de duyarlılığa ağırlık vermelidir. Tesisler için kararlar verilirken yöneticilerin; tesislerin sayısı, konumları, çeşitleri ve işletmenin müşterilerine sağlayacağı duyarlılık temel tercihleri olmalıdır [37].

2.3.2 Üretim Kararları

Üretim kararları; hangi ürünün hangi üretim alanlarında hizmet veren tesislerde/fabrikalarda hangi miktarda üretilmesi gerektiği, hangi hizmetlerin dışarıdan

alınabileceği ve bunlara bağlı olarak depoların, dağıtım merkezlerinin kapasitelerinin saptanması gibi stratejik kararlardır. TZ yöneticilerinin verdiği stratejik seviyedeki kararlar doğrultusunda toplam üretim planlaması, ekipman bakımı ve kalite kontrol gibi unsurları da içeren operasyonel seviyede entegre planlama aşamasında üretim kararları ile verilir. İşletmeler için üretim kararları, müşteri tatmin düzeyi ve toplam maliyet bakımından kritik öneme sahiptir.

2.3.3 Stok (Envanter) Kararları

Müşteri tatmini ile doğrudan ilişkili olduğundan en önemli karar sınıflarından biri olan stok kararları; TZY'de müşteri talebindeki umulmayan ve ön görülemeyen değişimler ve tedarik aşamasındaki belirsizlik neticesinde doğabilecek zararın minimum seviyeye indirgenmesi açısından hammaddelerin, tam işlenmemiş yarı ürünlerin, son halini almış ürünlerin hangi tesislerde hangi seviyelerde bekletileceğinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. TZ boyunca karşılaşılabilecek belirsizliklerle başa çıkabilmek için tampon görevinde bulunan stok kararları; sipariş noktalarının optimal derecede belirlenmesini sağlarken her bir stok noktasındaki, hizmet seviyeleri için kritik olan, güvenli ve ideal stok seviyesini ayarlayan kararlardır.

Bir TZ'de hangi basamaklarda hangi seviyede stok tutulacağıyla ilgili olarak, son ürün için satın alma talebi ile alışveriş arasında bulunan süreçteki müşteri talebini dengelemek için tutulan stok, belirsizliklerle baş edebilmek için tutulan emniyet stoğu ile mevsimsel (dönemsel) talep artışlarını karşılayabilmek için tutulan sezonluk (dönemlik) stok olmak üzere üç çeşit envanter kararı alınabilir.

Talep ve tedarik işlevlerinin koordine edilmesinin güçlüğü ile beraber firmaları stok bulundurmaya zorlayan; zaman, belirsizlik ve ekonomi gibi başlıca faktörler sıralanabilir. Hammadde temini, yarı mamulün ve son ürünün oluşumu, nakliye ve son ürünün müşteriye iletilmesine kadar geçen tüm aşamalar göz önüne alındığında zaman faktörü devreye girmektedir. Bu bağlamda, stoklama işlemi; müşteri taleplerinin bileşen satın alma, üretim ve zincirin gerisinde kalan zaman kayıplarını yok ederek daha hızlı karşılayarak müşteri tatmin seviyesini artırmaktadır. Müşterinin gereksinim duyduğu ürünleri istediği zamanda ve istediği miktarda bulması o firma için satışların artmasında rolü olan etmenlerden biridir. Talep tahminlerindeki yanılmalar,

hammaddenin yetersiz kalması, grev gibi ön görülemeyen çalışanlar ile ilgili problemler, değişken üretim koşulları, elleçleme ve nakliyedeki gecikmeler, beklenmedik bir şekilde değişen hava koşulları gibi işletmelerin karşılaşabilecekleri birçok belirsizliğe bağlı olarak son kullanıcı ve tedarik arasında dalgalanma meydana getirmesi, üretimde kesintilerin yaşanması, üretim ve dağıtımda kullanılan araçlarının yetersiz kalması gibi risk içeren durumlarda stoğun var olması işletmeleri olumsuz sonuçlardan kurtarmaktadır. Hammaddeyi satın alma ve üretim maliyetlerinin; depolama, hizmet ve risk maliyetlerini içeren stok bulundurma maliyetlerinden fazla olması halinde stoklama kararını kaçınılmaz hale getirmektedir.

Gelecekteki talebi karşılamaya yönelik yapılan stok kontrolünün dinamik bir süreç olmasından dolayı kararı belirlenen stok seviyelerinin daimi biçimde gözden geçirilmesi ve değişim gösteren ekonomik ve teknolojik koşullara uyarlanması gerekli işlemlerdir.

Eğer firmanın TZ stratejisi "müşteri duyarlılığı" üzerine kurulmuşsa müşterilerine yakın bölgelerde çok miktarda stok bulundurarak duyarlılığa cevap vermesi gerekmektedir. Aksine, TZ stratejisi "etkinlik" üzerine kurulmuşsa, etkinliği artırabilmek için stok bulundurma derecelerini düşürebilmek amacıyla merkezi stok alanları kullanılmalıdır. Stok seviyesini yüksek tutmak TZ'ni müşteriye karşı daha duyarlı yaparken bu karar stok maliyetlerini artırarak TZ etkinliğini düşürmektedir [37].

Sonuç olarak işletmelerin kaynakları dengeli olarak kullanması gerektiği günümüz koşullarında TZY'nin temel amaçlarıyla stok yönetiminin ve kararlarının örtüştüğü görülmektedir. Ancak, yanlış zaman ve miktarda yapılan stok yönetimi tüm zincirin etkinliğinin ve verimliliğinin bozulmasına sebebiyet verebilir.

2.3.4 Dağıtım-Taşıma Kararları

Envanter kararları ile yakından ilgili olan stratejik seviyedeki dağıtım-taşıma kararları; maliyetlerin ve müşteri duyarlılıklarının dikkate alınarak temel olarak havayolu, karayolu, demiryolu ve denizyolu olmak üzere dört çeşidi bulunan taşıma biçimi ve miktarlarının belirlendiği kararlardır.

Havayolu aracılığıyla taşıma; hızlı, güvenilir ulaşım ve emniyetli stok kontrolü sağlarken pahalı bir yöntemdir. Daha ucuz olan deniz yolu veya tren aracılığıyla yapılan

taşımalarda; nakliyelerdeki ve elleçlemedeki belirsizlikleri kaldırma adına çok büyük miktarlarda envanterin bulundurulması gerekmektedir. Bu yüzden müşteri servis seviyesi ve coğrafi yer bu tip kararlarda önemli rol oynamaktadır. Nakliye, lojistik maliyetlerinin %30'undan fazlası olduğu için operasyonel verimlilik ekonomik bir anlam kazanmaktadır. Müşteri servis derecesinin ve coğrafi konumların hatırı sayılır derecede rol oynadığı bu tip kararlarda taşıma boyutu, rotalama ve ekipmanların zamansal olarak programlanması işletmeler için kilit noktalardır [33].

2.4 Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

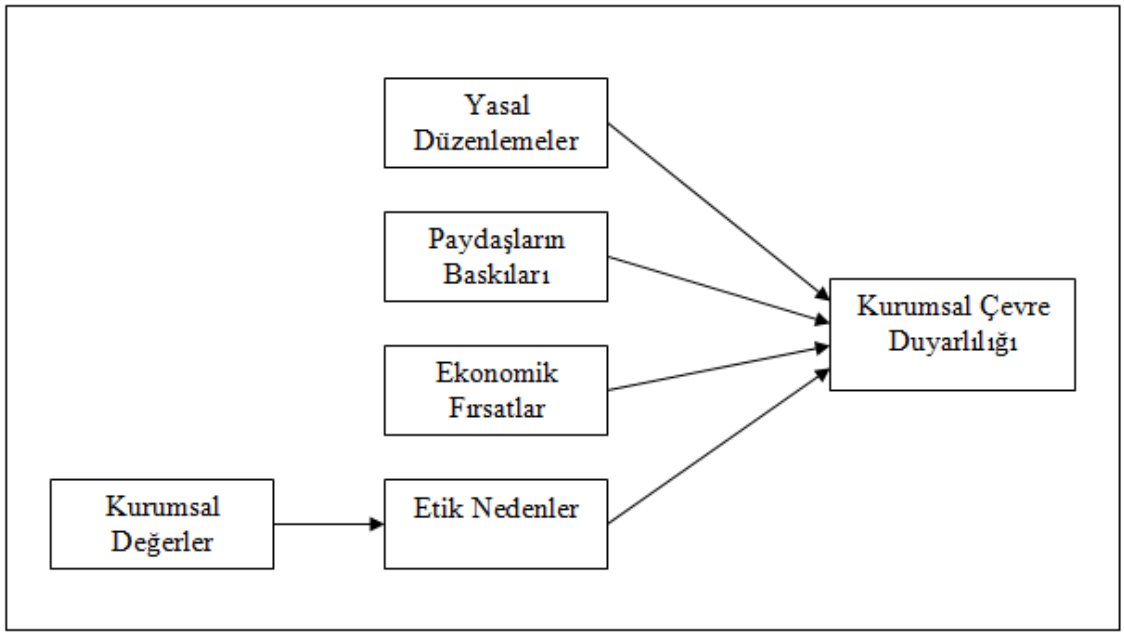
Bütün canlıların sağlığını ve cansız varlıkların niteliklerini bozarak maddi olarak olumsuz yönde etkileyen çevre kirliliği, tüm dünyada en başta yer alan temel ekolojik sorunlardan biridir. Toplumun yaşantı düzeylerini ekonomik ve sosyal açıdan yükseltebilmek adına daha kaliteli ve fazla mal ve hizmet sağlamak için çabalaması ile bulundukları doğal çevreyi kirleterek ya da kaynakları veya doğayı kötü kullanarak bireylerin sosyal yaşantısını olumsuz etkilemesi şirketlerin en ilginç ve büyük çelişkisidir.

Doğadaki canlıların birbirlerinin atıklarını kullanarak hayatta kalma döngüsünden yola çıkılarak benzeri bir çevrimin endüstriye de uyarlanabileceği düşüncesiyle gündeme gelen “endüstriyel ekoloji” sayesinde ömrü tamamlanan maddeler girdi olarak tekrar değerlendirilerek atıkların çevreye, doğaya minimum seviyede zarar vermesi sağlanacaktır. [44]

Birçok alanda işletmeler üzerinde baskı unsuru olan müşteri istekleri; 1980’lerden sonra ortaya çıkan çevreci hareketler neticesinde çevresel duyarlılığa, daha “yeşil” ürünlere yönelmiş ve müşteriler ellerindeki satın alma güçlerini kullanarak işletmelere dolaylı olarak “yeşil engeller” koymaya başlamışlardır. Nitekim, en büyük üretim ve pazarlama merkezlerinden olan Çin’de, 1997–1999 yıllarında müşteriler tarafından konulan yeşil engellerin sebep olduğu geri çevrilen ürünlerin değeri, yaklaşık 20 milyar dolar olarak saptanmıştır [45]. Buradan hareketle, satın alma kararlarını çevre duyarlılığını ön planda tutarak veren müşteriler, firmaların görmezden gelemeyecekleri miktarlarda ekonomik kayıplar vermesine sebep olmuştur ve bu yüzden işletmeler

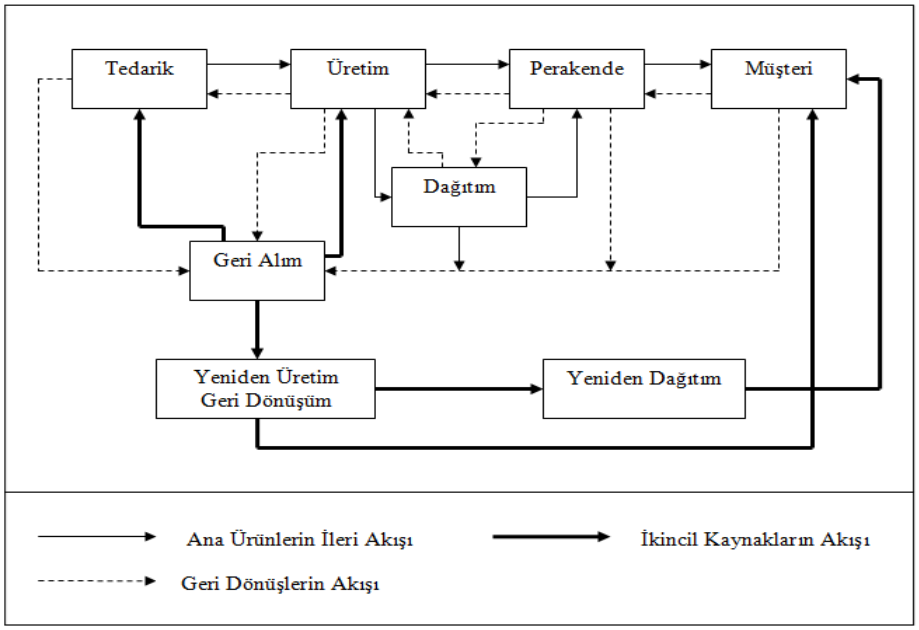
sorumluluklarının bilincinde olup çevreyi koruyacak şekilde faaliyetlerini sürdürmüşlerdir.

Ayrıca firmaları çevreye duyarlı faaliyetlere sevk eden veya iten tek etken müşterilerin satın alma güçlerini kullanıp yaptıkları baskılar değildir. Girişimcilerin nitelikli politikaları ve kalite artırma istekleriyle işletme sahiplerinin, paydaşlarının ve yöneticilerinin bireysel ve ahlaki değerleri gibi kurumsal iç faktörler TZY'lerini çevreye duyarlı hale getirmeye teşvik etmiştir [46]. Diğer faktörlerle kıyaslandığında ağır basan, firmaları TZY'lerinde çevresel duyarlılığı temel almaya zorunlu kılan, işletmelerin insiyatiflerinde olmayan, devlet tarafından konulan ve takibi yapılan en önemli etken yasal düzenlemelerdir. Şirketlerin yasal düzenlemelere uyması halinde; uzun vadeli sürdürülebilirlik, verimlilik ve hayatta kalma, nakit cezalarını önleme, riski azaltma ve çalışanların memnuniyetini sağlama gibi birçok durumla daha kolay baş edebileceklerdir [47]. Birçok araştırmacı tarafından rekabet kavramı TZY'e çevresel duyarlılık sağlayan bir etken olarak görülmüştür. İşletmelerin çevreye duyarlı satın alma yöntemleri, finansal verimlerini artırarak rekabet avantajı sağlamaktadır [46]. Çevreye duyarlı ürün geliştirme ve pazarlama, kaynak kullanımının azaltılması, enerji ve atık yönetimi, çevresel etiketleme gibi işletmelerin tercih ettikleri çevresel faaliyetler rekabet avantajı elde etmelerine destek olmaktadırlar [47].



Şekil 2.4.1 Kurumsal çevre duyarlılığı [47]

Yukarıda bahsedilen temel nedenlerin etkisiyle son yıllarda tüm işletmeler, TZ'deki tüm basamaklarda çevre bilincini üst safhada dikkate almak ve uygulamak zorunda oldukları gerçeğini idrak etmişlerdir [48]. TZY kavramına çevresel bilincin yani "yeşil" niteliğinin eklenmesi, zincirin her basamağının bu duyarlılığı devam ettirecek şekilde yeniden yapılandırılması söz konusu olmuştur [49]. Şekil 2.4.2 ile yeşil TZ içerisindeki malzeme akışı gösterilmiştir [50].



Şekil 2.4.2 Yeşil tedarik zincirinde malzeme akışı

Literatürde Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY) üzerine birçok tanım mevcut olmakla beraber bazıları aşağıdaki gibidir.

YTZY; "çevre" bağlamında dikkate alınan TZY'deki yeniliklerin ve endüstriyel satın almaların gerçekleştirilmesidir [51].

YTZY; ürünlerin/hizmetlerin planlanması, satın alınması, üretimi, nakliyesi, kullanımı, tekrar kullanımı ve imha edilmesi fonksiyonlarıyla doğal çevrenin bağlantısının kurulduğu ve bunlarla alakalı olarak duyulan kaygılar sonucunda politikaların yeniden ele alındığı, belirlenen işlemlerin yerine getirildiği TZY'dir [52].

En kapsamlı ve anlaşılır biçimde Srivastava YTZY'ni "çevresel bilincin; ürün tasarımı, malzeme seçimi ve satın alma, imalat işlemleri, tamamlanmış son ürünün tüketicilere nakliyesi ve ömrünü tamamlamış ürünlerin yönetimi işlemlerinin TZY'e adapte edilmesi" şeklinde ifade etmiştir [6].

Geleneksel ve çevreye duyarlı TZ'lerini birbirlerinden ayrılan temel bazı noktalar şöyledir: [53]

• Genellikle, geleneksel TZ ekonomik hedefler ve değerler üzerine yoğunlaşırken çevresel duyarlılığa sahip TZ'de ise hedef ve değerlerin ekonomik bakış açısında olmasının yanı sıra temel olan çevrenin korunmasıdır.

• Geleneksel TZ'de firmalar ekolojik standartları önemseseler dahi kapsamları sınırlıdır.

• Geleneksel TZ'de tedarikçi seçimi için en önemli standart fiyatken çevreye duyarlılığı olan TZ'de çevresel duyarlılığı olan tedarikçiler seçilip onlarla uzun dönemli bağlantılar kurulur. Yeşil TZ; enerji tasarrufunu sağlamayı, tehlikeli maddelerin çevreye yayılımını önlemeyi ve ömrü tamamlanmış ürünleri endüstriyel sistem içerisine hapsetmeyi ön planda tutmaktadır.

2.4.1 Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Faaliyetleri

TZY'nin yeşillendirilmesiyle TZ şebekesi boyunca CO_2 ve zehirli gazlar, katı atıklar gibi her türlü atığın çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkilerinin ve bu durumun ortaya çıkarabileceği her türlü maliyetlerin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır [54]. YTZY'i

konu alan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla TZ'ni yeşillendirme faaliyetleri gerçekleştirilirken bütün aşamalardan ziyade tek başına ifade edildiği, tüm bu faaliyetlerin bir arada belirtildiği çalışma sayısının fazla olmadığı görülmektedir. Ancak TZ'nin çevresel etkilerinin azaltılabilmesi için birçok faaliyet birlikte yürütülmelidir. Başka bir deyişle bir TZY'nin yeşillendirilebilmesi için TZ'nin bütününü kapsayan geniş bir çerçevenin oluşturulması gereklidir.

YTZY'i; yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil dağıtım ve tersine lojistik faaliyetlerinin bir bütünü olarak değerlendirmek mümkündür [55].

2.4.1.1 Yeşil Satın Alma

Yeşil satın alma, genel olarak aynı türden aynı amaca hizmet için sunulan rakip ürünlerle kıyaslandığında insan sağlığı ve çevre üzerinde daha az etkiye sahip çevreye duyarlılık anlamında daha tercih edilebilir ürünlerin satın alınması işlemidir.

Bir firmanın TZ işlemlerinin çevresel etkilerinin azaltılabilmesi için önemli birer rol oynayan tedarikçi seçimi, temin edilecek hammadde ve malzemelerin uygunluğunun yorumlanması ve tedarik stratejisi oluşturulması yeşil satın alma uygulamasının temel faaliyetleridir. Bir örnek ile açıklanırsa; bir firma, imalat sürecinde kullanılan çevreye etkisi minimum düzeyde olan malzemenin seçimine karar vererek üretilecek ürünün yaratabileceği olumsuz çevresel etkiyi minimize edebilir; tedarikçi seçiminde değişik çevresel kriterleri göz önünde bulundurarak çevreye olan negatif etkilerini azaltmaları ve performanslarını geliştirmeleri bakımından tedarikçiler üzerinde bir baskı oluşturabilir [56].

Yeşil satın alma kararları; doğal kaynaklarda tasarruf sağlayabilme ve çevreye olan zararın minimum düzeye çekilebilmesi noktasında tekrar kullanılabilen ya da geri dönüşüm sürecinden geçmiş malzemelerin satın alınması fonksiyonlarını içermektedir. Doğal kaynakların israfı ise hammadde tedarikçilerinin yerine olabildiğince geri dönüşüm yapan tedarikçilerin seçilmesi ile önlenebilir [57].

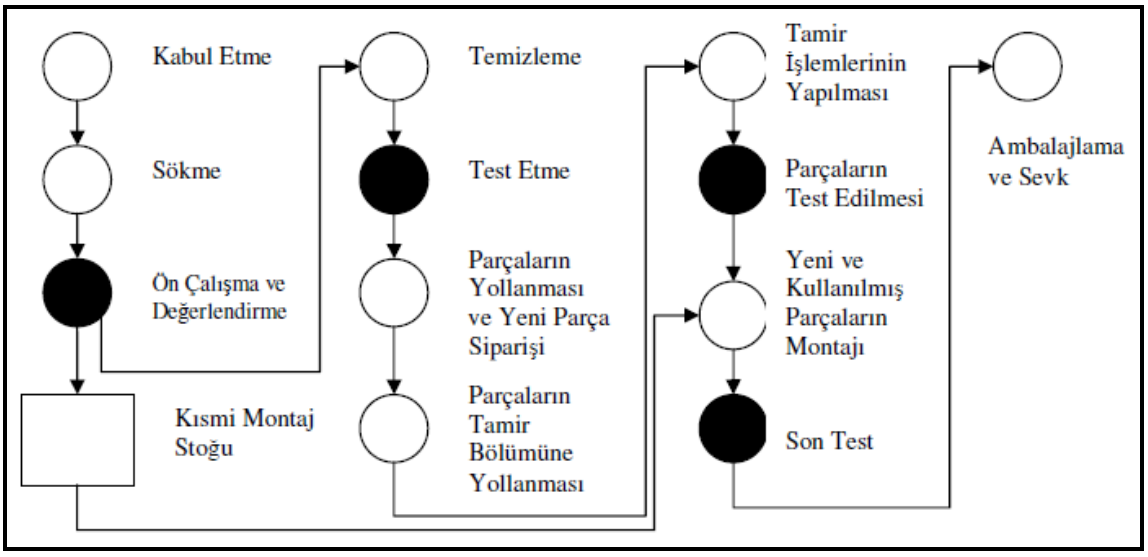
2.4.1.2 Yeşil Üretim

Çevre kirliliğinde kritik faaliyetlerden olan üretim sürecinin yeşillendirilmesi ürünün var olma döngüsü boyunca çevreye zararının en aza indirilme çabalarıyla alakalıdır. Yeşil üretim; farklı sektörlerde, değişik amaçlarla kullanılmış ürünlerin tekrar kullanılabilmesini sağlayarak çevreye verilen zararı minimize ederken hammadde kullanımını azaltarak da kaynak israfına engel olmaktadır.

Yeniden üretim (yenileştirme), yeniden kullanım ve geri dönüştürme kavramları yeşil üretimin içinde barındırdığı faaliyetlerdir [58].

Yeniden üretim süreci; kullanım veya zaman aşımından dolayı kullanılamaz hale gelen ya da niteliklerini kaybeden ürünlerin işletmeler tarafından geri toplanmasıyla başlamaktadır. Süreç; bu kullanılmış fakat dayanıklı ürünlerin, bileşenlerine ayrıştırıldıktan sonra yeniden kullanım için kabul edilebilir standartlarda olup olmadığının belirlenmesi için test edilmesi ve denetlenmesiyle devam etmektedir. Bu işlem neticesinde bazı bileşenler atık haline gelirken diğerleri ise onarılmakta veya yeniden düzenlenmektedirler.

Şekil 2.4.3'te geleneksel bir yenileştirme akışı gösterilmektedir [58].



Şekil 2.4.3 Yeşil üretim sisteminde yenileştirme akışı

Yeniden kullanım; ürünlerin, tüketicilerden toplanması ve temizleme faaliyetleri haricinde hiçbir işleme maruz kalmadığı, şekil ve nitelik olarak hiçbir bozulmaya uğramadan aynı kalan ekonomik ömrü sona erene kadar tekrar tekrar kullanılabilmesini ifade etmektedir. Cam şişeler, su damacanaları yeniden kullanılabilir ürünler arasındadır.

Geri dönüşüm faaliyeti ise, plastik, kağıt-karton, metal, cam gibi dönüştürülebilir atıkların malzeme türlerine göre fiziksel ve/veya kimyasal bir takım işlemlerden geçirilmesinin ardından ikincil hammadde olarak üretim prosesine dahil edilmesidir.

2.4.1.3 Yeşil Dağıtım

Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) gibi sera gazlarının çoğu, son yıllarda artış gözlenen dünya çapındaki çevresel sıkıntılardan olan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Çoğu, taşıma ve/veya nakliyede kullanılan araçlardan kaynaklanan bu gazların emisyonlarının azaltılmasına ve çevresel duyarlılıkların artırılmasına dair özellikle nakliye sektörü olmak üzere; TZ'de bulunan tüm paydaşlar büyük bir baskı altındadırlar.

İşletme veya dış firmalar tarafından yürütülen dağıtım filosunun etkin, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, nakliyenin sürecinden kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin ve lojistik maliyetlerin kayda değer miktarlarda azaltılmasına destek olmaktadır. Bu noktada "yeşil dağıtım"; bütün dağıtım hareketliliğinin çevreye verdiği zararın ölçülmesi, en aza indirgenecek biçimde planlanması ve uygulanması çalışmasıdır. Doğanın korunması adına dağıtım politikalarıyla ilgili olarak, dağıtım boyutunun ürünlerin daha az yer kaplayacağı ve daha az yakıt tüketilebilecek şekilde tercih edilmesi, satışın gerçekleştiği tesislerin müşterilerin minimum zaman ve yakıt harcayacağı biçimde kurulması, dağıtım türünün küresel ısınmaya sebebiyet veren gazların emisyonunu minimize edecek şekilde seçilmesi alınabilecek önlemler arasındadır.

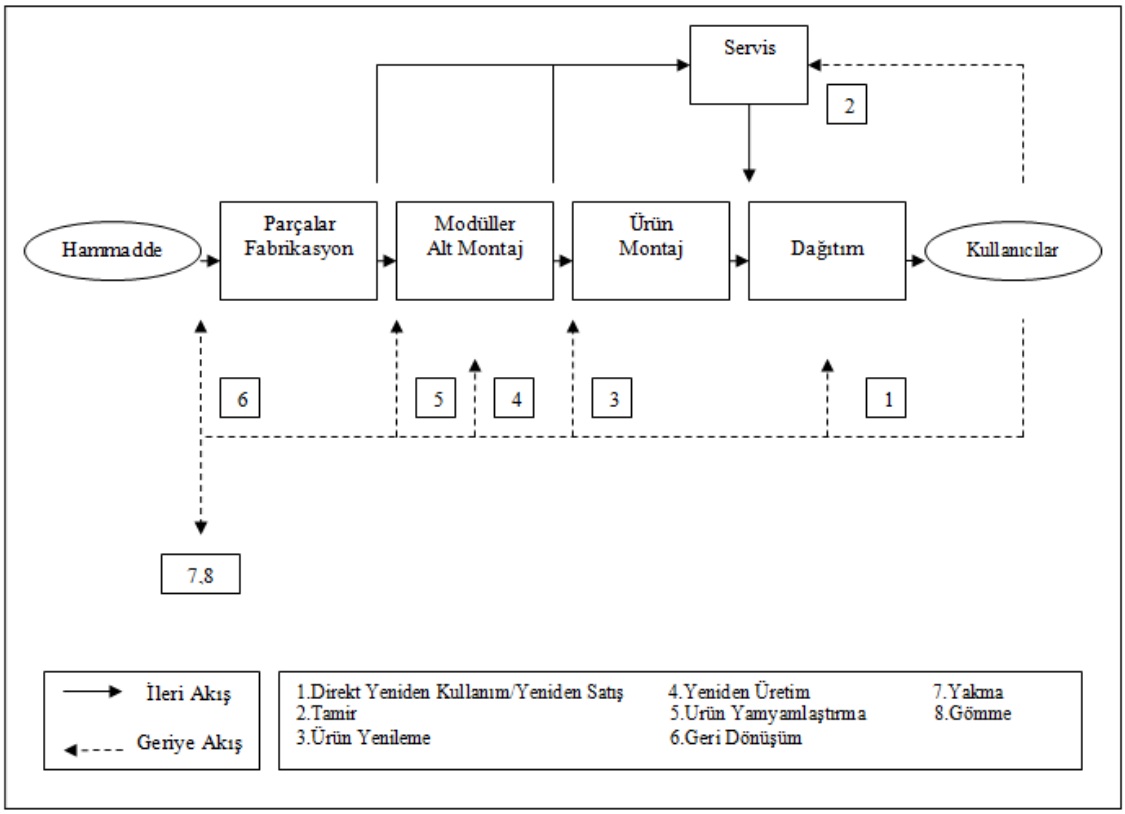
Dağıtımda model (tür) değiştirilmesinin yanı sıra, firmalar ile rakipleriyle dahi olsa diğer işletmeler arasında stratejik işbirliği oluşturularak nakliyenin sebep olduğu çevresel etkiler azaltılabilmektedir. Örneklenecek olursa; 2007 yılında İngiltere'deki yiyecek ve

içecek sektöründe hizmet veren 37 firma sürdürülebilir dağıtım projesi için beraber çalışmış; birbirlerinin boş yani anlık olarak kullanmadıkları araçlarını paylaşmaları ve daha etkin, verimli depolama projeleri neticesinde yıllık yaklaşık 85 milyon km yol daha az katedilmiş, 26 milyon litre daha az dizel yakıt tüketilmiş ve fazladan 900 kamyonun yola çıkması önlenmiştir [92].

2.4.1.4 Tersine Lojistik

Son müşteriye iletilmiş nihai ürünün çevresel ve ekonomik bağlamda geri kazanılması ve tekrarlı olarak değerlendirilmesi faaliyetlerinin dikkate alınmadığı tek yönlü (tedarikçilerden son müşteriye) olan klasik bir TZ'ye çevresel duyarlılığın adapte edilmesini sağlayacak ters akış faaliyetlerin eklenmesiyle tersine lojistik süreci başlamıştır. Ürünlerin; imalat fazlası olması, başarısız bir kalite kontrol sürecinden geçmesi, herhangi bir hasar sonucu iade edilmiş olması, son kullanılma tarihlerini aşmış olması, tamir/bakım amaçlı veya yeniden değerlendirme gibi nedenlerle sürece dahil olabildiği tersine lojistik, uygun yöntemlerle imha etme ya da birtakım geri kazanma biçimleriyle toplam ekonomik değeri artırmayı amaçlamaktadır.

Tersine lojistik; Şekil 2.4.4'te gösterilen geri dönüştürme, parçalama, yenileştirme (yeniden üretim) ve atık yönetimi gibi etkinlikleri kapsayan, firmaların kaynaklarını etkin olarak kullanabilmesi için son tüketiciden üreticiye doğru ters akışı gerçekleştiren, yeşil TZ hareketlerinin yerine getirilebilmesini sağlayan en temel faaliyetlerden biridir.



Şekil 2.4.4 Geliştirilmiş tersine lojistik faaliyetleri [59]

Boyutu, kapsamı ve verimliliği sektörden sektöre farklılık göstermesine rağmen tüm tersine lojistik faaliyetleri, ekonomik açıdan çok büyük yer tutmakta ve her geçen gün gelişimini devam ettirmektedir [60].

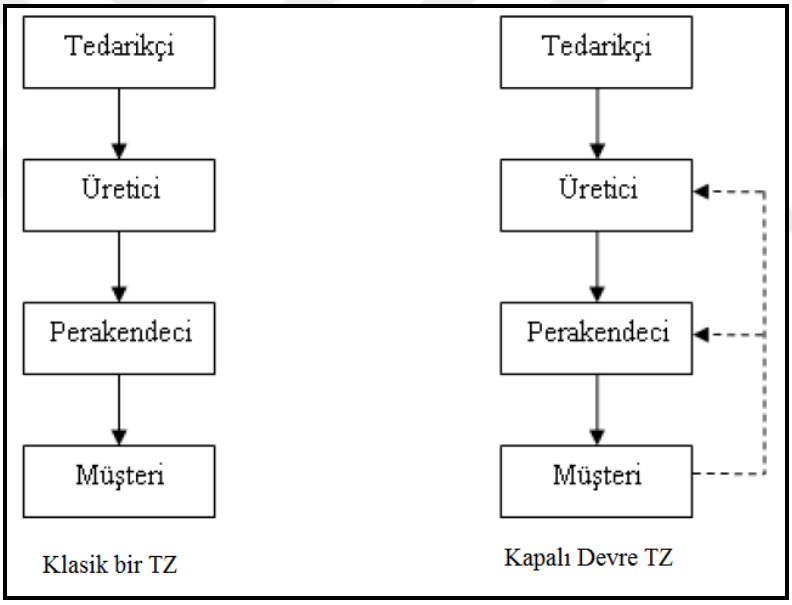
Günümüzde çevresel, yasal ve ekonomik etkenlerle önemli bir kavram haline gelen tersine lojistik; istenmeyen malzemelerin geri dönüştürülmesine ve iadelerin veya defoluların diğer türden satış noktalarına (fabrika satış mağazaları, bit pazarları gibi) geri dönebilmesine yardımcı olduğundan çevreye duyarlı olan lojistik olarak da ifade edilebilir [61].

Diğer bir yaklaşımla tersine lojistik; malzemelerin, süreçte bulunan envanterlerin, tamamlanmış ürünlerin ve bunlarla ilgili bilgilerin müşteri bölgelerinden üretim bölgelerine yeniden değer elde etmesini sağlama veya doğru ve uygun bir biçimde elden çıkarma amacıyla maliyet avantajlı ve verimli olacak şekilde akışını planlama, yürütme ve kontrolünü yapma sürecidir [62].

2.5 Kapalı Devre Tedarik Zinciri Yönetimi

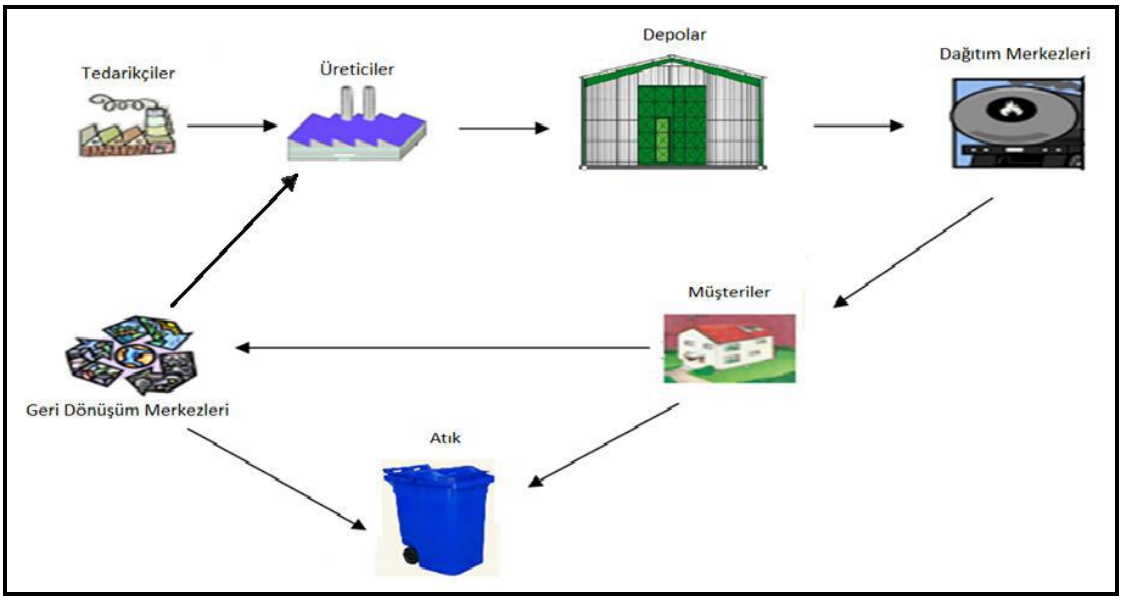
Kapalı devre tedarik zinciri (KDTZ), malzeme tedarikçilerinden başlayarak ürünlerin imalatından sonra fabrikalardan çeşitli dağıtım araçlarıyla müşterilere iletilmesi ve son tüketiciler tarafından kullanılmış veya iade edilmiş ürünlerin toplama kanalları ile geri dönüşüm, parçalama, toplama merkezi vb. gibi tesislerde yeniden kazanımı ile üretim süreçlerine adapte olmasını sağlayan geleneksel ileri ve çevreye duyarlı tersine lojistik faaliyetlerinin bütünleşik bir şekli olarak düşünülebilir.

KDTZ'de ileri ve geri yöndeki akışlar, birbirinin simetriği gibi düşünülmesine ve algılanmasına rağmen birbirinden farklı yapı ve özelliklere sahiptirler. Bu yüzden, farkın daha iyi anlaşılabilmesi açısından Şekil 2.5.1'de üzerlerinde akışların da gösterildiği tipik bir TZ ile KDTZ yapısı şematize edilmiştir.



Şekil 2.5.1 Farklı tür tedarik zincirleri

KDTZ; klasik TZ' nin sağladığı yararların yanı sıra çeşitli sebeplerle müşterilerden geri dönen ürünleri zincire yeniden dahil etmeyi sağlayan tersine lojistik etkinlikleri ile hızla kirlenen çevremize duyarlılık kazandırmaktadır. Şekil 2.5.1 ile klasik bir KDTZ şebeke yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.5.2 KDTZ

Firmaların; geri kazanım, ürün veri yönetimi, imha vb. etkinliklerin zincirlerini karmaşık hale çevireceği ve mali açıdan kayıplara uğrayacakları gibi düşünceleri KDTZ kullanmak istememelerine sebep olmaktadır.

Ancak TZ'lerini kapalı devre haline çeviren firmalar yeşil imaj sağlayarak daha fazla kar ve değer kazanabilmektedirler [63]. Sonuç olarak, hızlıca endüstri kuruluşlarının ilgi alanlarına giren kapalı devre yaklaşımı; çevresel yoğunluk kazanan son yıllardaki stratejik değişmeler neticesinde açık yaşam döngüsü (beşikten mezara) anlayışından kapalı devre (beşikten beşiğe) anlayışının TZ'ne adepte edilmesidir [8].

BÖLÜM 3

BULANIK MATEMATİK

Küme teorisini 1874'te ilk olarak ortaya atan Alman matematikçi Georg Cantor klasik küme kavramını, nesneleri birbirinden ayırıp tanımlama biçimi şeklinde öne sürmüştür [64]. Bu anlamda klasik bir küme iyi tanımlanmış, ortak özellikleri kesin olarak belirlenmiş nesneler topluluğu olarak tanımlanabilir. Buna dayanarak bir nesne tanımlanmış bir kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Örneğin, günlük hayatta "şişmanlık" kavramının kesin bir kriteri bulunmamakla beraber bireyin hangi sınırdan sonra şişman olarak değerlendirildiği tartışma konusu olabilmektedir. Dolayısıyla klasik küme teorisine göre "şişman insanlar" kümesi oluşturulamamaktadır.

Kriterleri net olarak verilmemiş nesnelerin Cantor'un mantığıyla klasik bir küme oluşturmayacağı Kel Adam Paradoksu (***Baldheaded Paradox***) ile açıklanabilir:

Önerme: n (bir doğal sayı olmak üzere) tane saç teline sahip bir adam kel ise; n+1 tane saç teline sahip adam da keldir.

Kel Adam Paradoksu (***Baldheaded Paradox***): Tüm adamlar keldir.

İspat: Tümevarım kullanılarak ispat yapılabilir.

1. Tek saç teline sahip bir adam keldir.

2. n tane saç teline sahip bir adamın kel olduğunu kabul edelim.

3. Önermeden n+1 tane saç teline sahip bir adamın da kel olduğu söylenebilir.

Tümevarımdan tüm adamlar keldir [64].

Paradokstan da anlaşılacağı üzere klasik mantıkta her önerme ya doğru ya da yanlıştır, ikisi arasında her hangi bir olasılık yoktur. Klasik mantığın kesin (crisp)

sınıflandırmalarından ve tanımlamalarından dolayı çoğu gerçek hayat problemlerinin çözümlerinde yetersiz kalmasından oluşan gereksinim bilim insanlarını yeni araştırmalar yapmaya sevk etmiştir. Klasik mantığın uygulamalardaki bu tür zorluklarını aşabilmek için Azeri kökenli ABD'li bilim adamı Zadeh "Bulanık (Fuzzy) Küme Teorisi" çalışmasını 1965'te bilim dünyasıyla paylaşmıştır ve bu çalışma ile birlikte bulanık mantığın dolayısıyla bulanık matematiğin temellerini atmıştır. Zadeh birçok kavramın dilsel açıdan klasik matematiğe nazaran daha iyi belirlenebildiğini, bulanık mantığın ve kavramların bulanık kümelerdeki karakterlerinin gerçek hayatı daha iyi modelleyebildiğini göstermiştir [65]. İnsanoğlunun doğasında varolan belirsizlikten ve karmaşıklıktan dolayı bu çalışma bilim ve teknoloji alanında çığır açmaya yetmiştir. Zadeh'ten günümüze birçok bilim insanı da bulanık mantıkla ilgilenmiştir.

İncelenen olayın karmaşık olması halinde veya yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarıyla beraber göreceli olan birey muhakemesinde ve karar vermesinde bulanık mantığa gereksinim duyulur. Böylelikle tıptan mühendisliğe, fizikten ekonomiye birçok alanda kendine yer edinen bulanık mantık aşağıda belirtilen iki ana konudan oluşmaktadır [66].

1. Bulanık kümeler ve bunların oluşturduğu kurallar

2. Bulanık kararlar

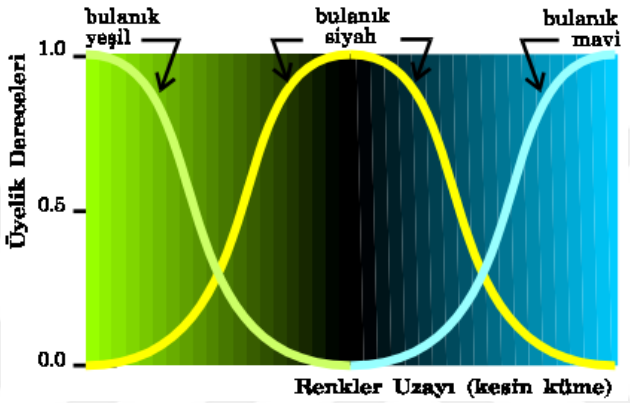
Bulanık küme teorisinde nesnelere esneklik, klasik küme teorisinden farklı olarak "doğru" veya "yanlış" , "0" veya "1" yerine üyelik fonksiyonları yardımıyla [0,1] aralığındaki üyelik derecesiyle kazandırılır.

3.1 Bulanıklık Kavramı

"Bulanık" kelime anlamı olarak "net görünmeyen, karışık, berrak olmayan, belirsiz," olmakla birlikte, "bulanıklık" ise net ve belirli olmama durumu şeklinde bir belirsizlik çeşididir. Birçok belirsizlik durumundan bahsedilebilir.

- Denize giren bir bireyin deniz seviyesine göre derin değil, az derin, çok derin şeklinde denizin derinliğini söylemesi küme sınırlarının net olmamasından kaynaklanan bir belirsizliktir.

- Göz bozukluğu olan bir öğrencinin numaralı gözlüğünü çıkardığında tahtayı net görememesi bulanık bir belirsizliktir.
- Karşıdan gelen bir bireyin güzel yüzlü olarak değerlendirilmesi diğer bir birey için çok anlamlılığın sebep olduğu bir belirsizliktir.
- Renkler arasındaki geçişlerde ara tonların hangi net renge yakın olduğu, hangi sınırdan sonra rengin isim değiştirdiği ise yine bulanık bir belirsizliktir.



Şekil 3.1.1 Renklerin üyelik dereceleri

Şekil 3.1.1'de görüldüğü gibi yeşil ve mavi arasındaki geçişte kesin olarak isimlendirilebilecek renk siyah olmakla birlikte yeşil, siyah ve mavi bulanık kümelerinin elemanları olarak ara renklerin üyelik dereceleri bulunabilir. Ara bir rengin klasik küme teorisinde yeşil, siyah ve mavi değildir şeklindeki katı olarak sıfır değeri almasının aksine bulanık küme teorisi renklere yakınlık durumuna göre $[0,1]$ aralığında üyelik dereceleri tayini ile daha esnek yaklaşmaktadır [67].

Heisenberg'in kuantum mekaniğindeki konum-momentum belirsizliği ilkesine dayanarak "bulanıklık" kavramı matematiksel olarak *çok değerliliği* ifade etmektedir. Belirlenemezlik veya belirsizliğin dereceleri, durum ya da ilişkilerin kısmi oluşları, yani "kesin doğru" , "doğru olabilir", "yanlış" ve "kesinlikle doğru olamaz" gibi sınıflandırmalar çok değerli bulanıklığa karşılık gelir [68].

3.2 Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Bulanık mantığın insan doğasına yakın olmasından dolayı gerek ekonomi ve istatistik gerek fizik gerekse tıp ve biyoloji problemlerini modellemede gösterdiği performanstan dolayı son zamanlarda araştırmacıların ve işletmecilerin gözdesi haline gelmiştir.

Bulanık mantığın sağladığı başlıca avantajları aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [69].

1. Günlük hayatta kullanılan belli belirsiz şeyleri ifade etmede esnek olduğundan dolayı dilsel olarak elverişlidir.
2. İnsan düşünce tarzına yakındır.
3. Uygulanmasında kesin bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmaz.
4. Yazılımının kolay olması maliyeti düşürmektedir.
5. Eksik problemlerin çözümlerinde de rahatlıkla kullanılabilmektedir.
6. Doğrusal olmayan problemlerin modellenmesine olanak sağlar.
7. Geleneksel kontrol teknikleriyle uyumludur.

Bulanık mantık yukarıda başlıcaları belirtilen birçok avantaja sahip olmakla beraber bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir [70].

1. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması deneyime bağlı olduğundan deneme-yanılma zaman kaybına sebep olabilmektedir.
2. Bulanık mantık uygulamalarında kullanılan kuralların oluşturulması mutlaka uzmana bağlı olarak yapılması gerekmektedir.
3. Kararlılık analizinin yapılması güç olabilmektedir.

3.3 Bulanık Kümeler

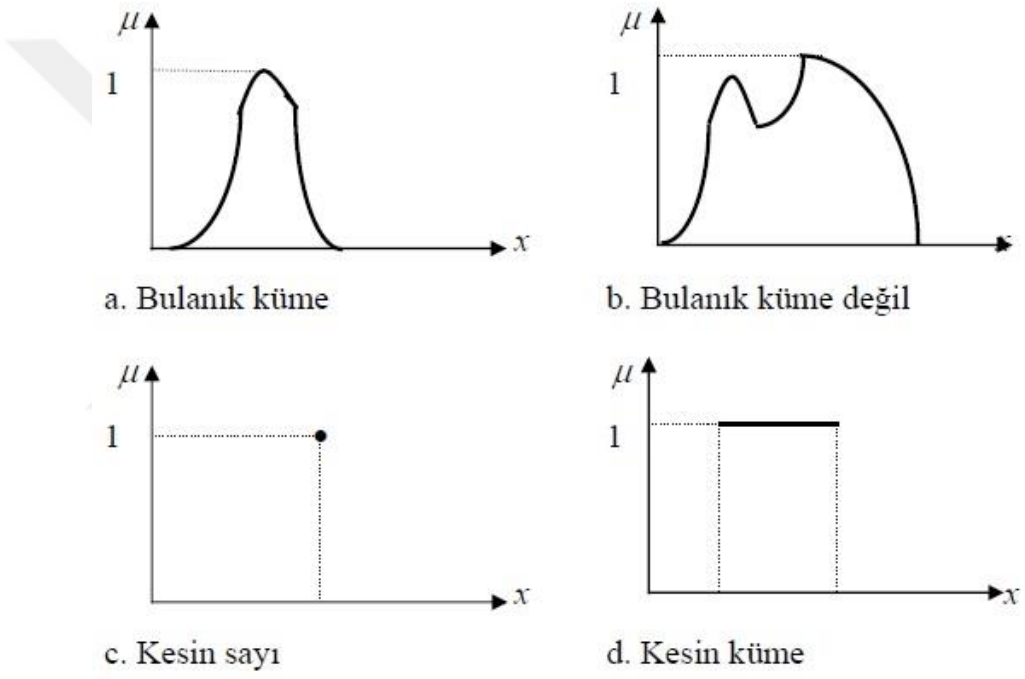
Klasik küme teorisinde bir nesne söz konusu kümenin ya “elemanıdır” ya da “elemanı değildir” şeklinde ifade edilir. Yani tanımlamalar ya “hep” ya “hiç” üzerinden ilerlemektedir. Bir elemanın kümeye üyelik değeri **1** ise o eleman kümeye aittir, **0** ise eleman kümeye ait değildir. Klasik küme teorisine göre $x \in X$ ve $A \subseteq X$ olmak üzere klasik bir A kümesinin üyelik fonksiyonu:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 \ ; \ x \in A \\ 0 \ ; \ x \notin A \end{cases}$$

şeklindedir.

Gerçek hayattaki tüm soruları “evet” ya da “hayır” şeklinde cevaplandıramadığımız için klasik küme teorisindeki gibi kesin (crisp) sayılar, cevaplar ve çizgilerin yanı sıra çoğu zaman bulanık sayıları kullanmak daha akıllıca olabilir. Yani bulanık küme teorisindeki bir elemanın aitliği için [0,1] aralığında tanımlanan üyelik dereceleri kullanılabilir.

Şekil 3.3.1’de bulanık küme ve kesin (crisp) küme üyeliklerinin grafikleri gösterilmektedir [71].



Şekil 3.3.1 Bulanık küme ve kesin küme üyeliklerinin grafikleri

Tanım 3.1 Bulanık Küme

$x \in X$ olmak üzere X sonlu evrensel kümesinin bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi

$$\tilde{A} = \left\{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \middle| x \in X \right\}$$

şeklinde x ve x'e $[0,1]$ aralığında reel bir değer atayan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonunun sıralı ikilileri şeklinde ifade edilir. Eğer X evsensel kümesi kesikli ya da sayılabilir ise $\tilde{A}$ bulanık kümesi

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \ldots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}$$

ve eğer X evrensel kümesi sürekli ve sayılamaz (sonsuz elemanlı) ise $\tilde{A}$ bulanık kümesi

$$\tilde{A} = \int_X \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} dx$$

şeklinde yazılır.

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x): X \to [0,1]$ ile tanımlanır [72]. Kısaca açıklamak gerekirse; $\mu_{\tilde{A}}(x)$, "0" ve "1" değerlerini alıp küme sadece $(x_1, 0)$ ve $(x_2, 1)$ noktalarını içerdiğinde küme artık bulanık bir küme olmayıp $\mu_{\tilde{A}}(x)$, klasik bir kümenin karakteristik foksiyonunu ifade etmektedir. Bir örnek ile açıklanırsa:

Örnek 3.1

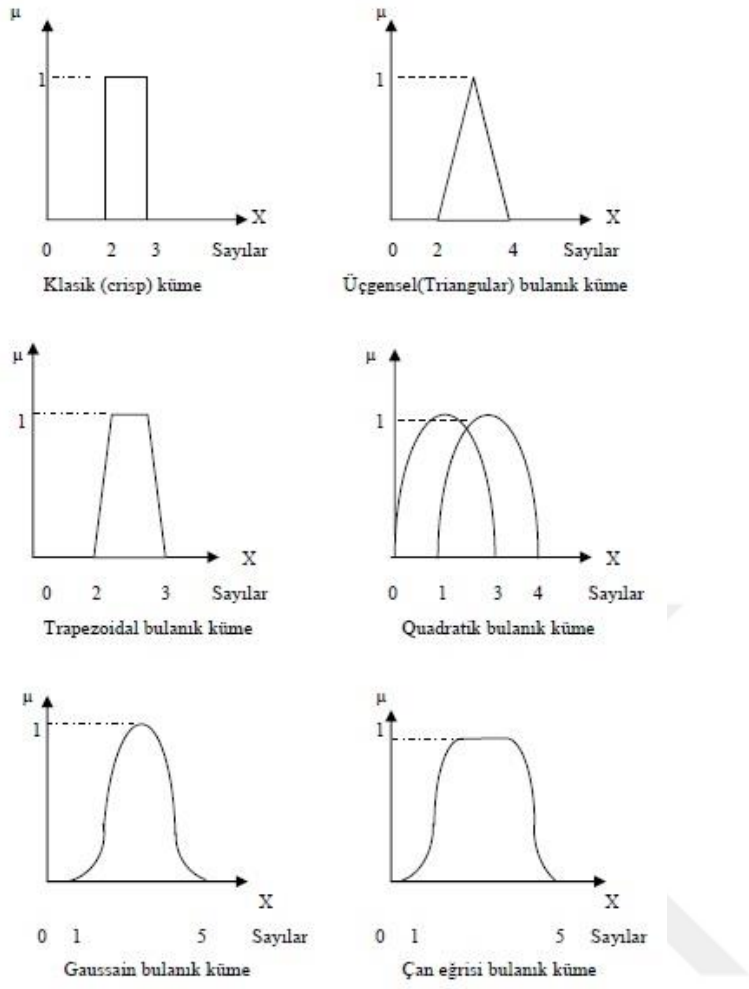
Bir spor salonuna yeni kayıt olacak olan üyeler $X = \{Ahmet, Selin, Fatma, Emre, Serkan\}$ olmak üzere yöneticiler tarafından yapılan "şişman üyeler" değerlendirmesi sonuçları aşağıdaki gibidir.

$\tilde{A} = \{(Ahmet, 0), (Selin, 0.6), (Fatma, 0.6), (Emre, 0.8), (Serkan, 1)\}$ veya

$$\tilde{A} = \frac{0}{Ahmet} + \frac{0.6}{Selin} + \frac{0.6}{Fatma} + \frac{0.8}{Emre} + \frac{1}{Serkan}$$

Değerlendirme sonucunda Serkan'ın kesin olarak şişman olduğu, Ahmet'in ise şişman olmadığı kanısına varılabilir.

Birçok çeşit üyelik fonksiyonu tipi olmakla birlikte en fazla kullanılan üyelik fonksiyonlarına göre bulanık kümeler Şekil 3.3.2'de gösterilmiştir [73].



Şekil 3.3.2 Farklı üyelik fonksiyonlarına göre bulanık kümeler

3.3.1 Bulanık Kümelerde Temel Tanımlar

Tanım 3.2 Bulanık Kümenin Desteği (support)

Matematiksel olarak

$$S(\tilde{A}) = \left\{ x \in A \middle| \mu_{\tilde{A}}(x) > 0 \right\}$$

şeklinde tanımlanan, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik derecesi sıfır olmayan elemanlarının oluşturduğu kümedir [72].

Örnek 3.2

$\tilde{A} = \{(Ahmet, 0), (Selin, 0.6), (Fatma, 0.6), (Emre, 0.8), (Serkan, 1)\}$

bulanık kümesinin desteği

$S(\tilde{A}) = \{Selin, Fatma, Emre, Serkan\}$ 'dır. Ahmet, $\tilde{A}$ kümesinin desteğinin bir elemanı değildir.

Tanım 3.3 Bulanık Kümenin α - keseni

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin α-keseni, bulanık $\tilde{A}$ kümesinin elemanlarından üyelik derecesi en az $\alpha \in [0,1]$ seviyesinde olan elemanların oluşturduğu kesin (crisp) kümedir. Matematiksel olarak $A_\alpha = \{x \in A | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq 0\}$ ile ifade edilir [72].

Örnek 3.3

$\tilde{A} = \{(Ahmet, 0), (Selin, 0.6), (Fatma, 0.6), (Emre, 0.8), (Serkan, 1)\}$ bulanık kümesinin $\alpha = 0.6$ için α-keseni $A_{0.6} = \{Selin, Fatma, Emre, Serkan\}$ 'dir.

$\alpha = 0.7$ için α-keseni $A_{0.7} = \{Emre, Serkan\}$ 'dir.

$\alpha = 1$ için α-keseni $A_1 = \{Serkan\}$ 'dir.

Tanım 3.4 Bulanık Kümenin Konveksliği

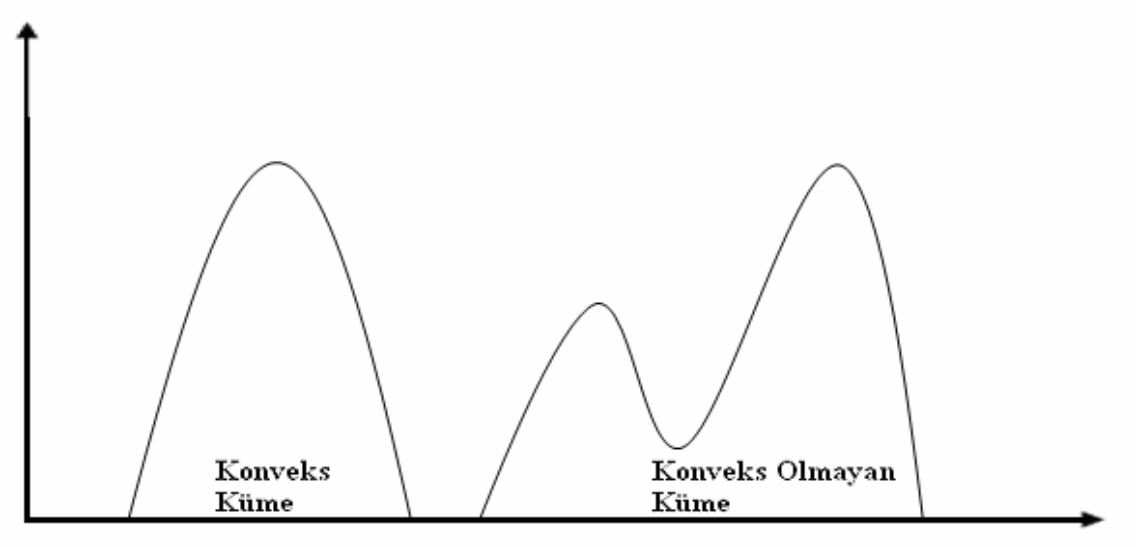
X evrensel kümesi üzerindeki bulanık bir $\tilde{A}$ kümesinin dışbükey (konveks) olması için gerek ve yeter şart söz konusu bulanık kümenin tüm $\alpha-$kesenlerinin dışbükey olmasıdır. Daha açık ve matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

X evrensel kümesi üzerindeki bulanık $\tilde{A}$ kümesi olmak üzere $\forall x_1, x_2 \in X$, $\lambda \in [0,1]$ için

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda) x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2))$$

koşulu sağlanıyorsa $\tilde{A}$ konveks bulanık bir kümedir [72].

Şekil 3.3.3'te konveks ve konveks olmayan birer küme örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3.3 Konveks ve konveks olmayan küme

Tanım 3.5 Bulanık Kümenin Yüksekliği

X evrensel kümesi üzerindeki bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin $hgt(\tilde{A})$ ile gösterilen yüksekliği, $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonlarının derecesinin en küçük üst sınırıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır [74].

$$hgt(\tilde{A}) = \sup_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x)$$

Tanım 3.6 Bulanık Kümenin Normalliği

X evrensel kümesi üzerinde tanımlı bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin normal bulanık küme olması için gerek ve yeter şart $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ eşitliğini sağlayan en az bir $x \in \tilde{A}$ elemanının mevcut olmasıdır [75].

Ayrıca herhangi bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi normal bir bulanık küme değilse, ilgili kümenin üyelik değeri $\mu_{\tilde{A}}(x)$, kümenin yüksekliğine bölünerek normalize edilebilir.

Tanım 3.7 Bulanık Kümenin Kardinalitesi

Sonlu bir bulanık $\tilde{A}$ kümesinin $|\tilde{A}|$ ile gösterilen kardinalitesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$$

Eğer $\|\tilde{A}\| = \frac{|\tilde{A}|}{|X|}$ ise $\|\tilde{A}\|$, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin göreceli (relative) kardinelitesidir.

Eğer X evrensel kümesi sonlu değilse $\tilde{A}$'nın kardinalitesi, $|\tilde{A}| = \int_X \mu_{\tilde{A}}(x)dx$

ile tanımlanır ve bu durumda kardinalitenin varlığından her zaman söz edilemeyebilir [72].

Örnek 3.4

Evrensel $X = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ kümesi üzerindeki $\tilde{A} = \{(3,0.3),(5,0.9),(6,0.7),(8,1)\}$ bulanık kümesinin kardinalitesi $|\tilde{A}| = 0.3 + 0.9 + 0.7 + 1$ ve ve göreceli kardinalitesi $\|\tilde{A}\| = \frac{2.9}{8} = 0.3625$ şeklindedir.

3.3.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Temel küme teorisindeki işlemler bulanık kümelerin en önemli belirleyicisi olan üyelik fonksiyonları aracılığıyla ifade edilir. Zadeh tarafından 1965'te önerilen bulanık küme teorisinde tutarlı ve önemli yapı oluşturan bulanık kümeler ile ilgili kavramlar şu şekildedir [73].

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, X evrensel kümesinde tanımlı boş kümeden farklı iki bulanık küme olsun.

Tanım 3.8 Bulanık Kümelerin Eşitliği

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin eşit olabilmesi için gerek ve yeter şart X evrensel kümesi üzerindeki tüm noktalar için söz konusu bulanık kümelerin üyelik derecelerinin eşit olmasıdır. Yani,

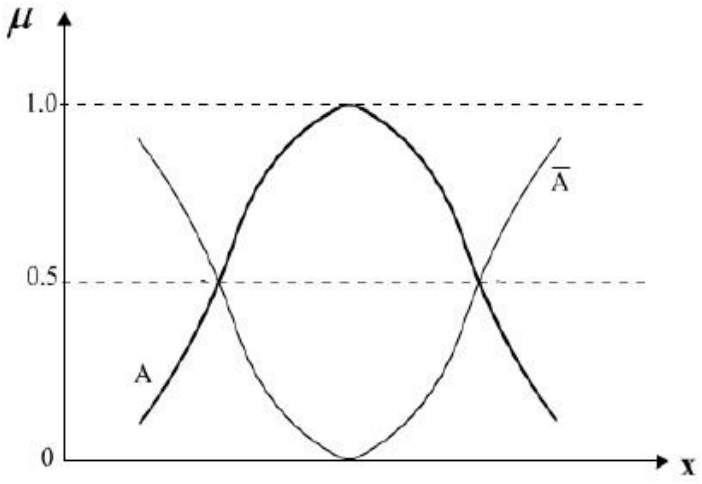
$$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x),\ \forall x \in X$$ 'dir.

Tanım 3.9 Bulanık Kümelerin Tümleyeni

$\overline{\tilde{A}}$ ile gösterilen $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin birleşimi, üyelik fonksiyonu ile

$$\mu_{\overline{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x),\ \forall x \in X$$

şeklindedir ve grafiği Şekil 3.3.4'teki gibi gösterilir.



Şekil 3.3.4 Bulanık kümenin tümleyeni

Örnek 3.5

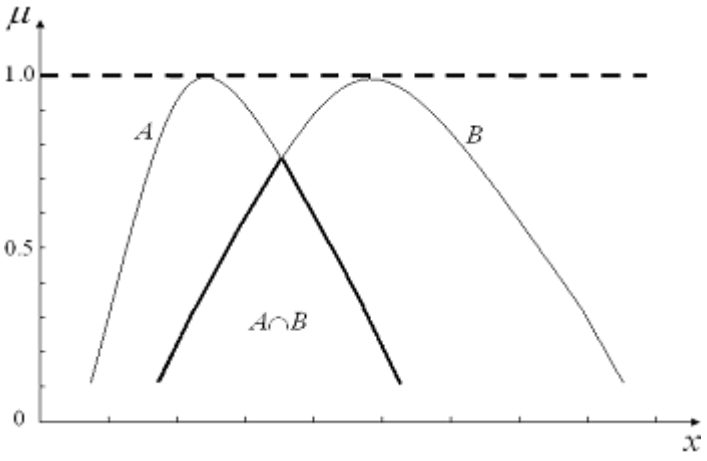
Örnek 3.4 'teki $\tilde{A} = \{(3,0.3),(5,0.9),(6,0.7),(8,1)\}$ bulanık kümesinin tümleyeni $\overline{\tilde{A}} = \{(1,1),(2,1),(3,0.7),(4,1),(5,0.1),(6,0.3),(7,1)\}$ 'dir.

Tanım 3.10 Bulanık Kümelerin Kesişimi

$\tilde{A} \cap \tilde{B}$ ile gösterilen $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi, üyelik fonksiyonu ile

$$\mu_{\tilde{A}\cap\tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\},\ \forall x \in X$$

şeklindedir ve grafiği Şekil 3.3.5'teki gibi gösterilir. Ayrıca bulanık kümeler üzerindeki kesişim işlemi, klasik mantıktaki "mantıksal ve" bağlacına karşılık gelmektedir.



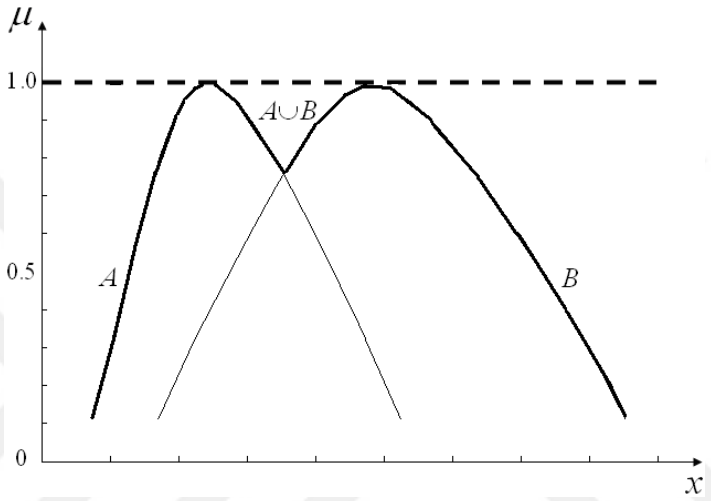
Şekil 3.3.5 İki bulanık kümenin kesişimi

Tanım 3.11 Bulanık Kümelerin Birleşimi

$\tilde{A} \cup \tilde{B}$ ile gösterilen $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin birleşimi, üyelik fonksiyonu ile

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, \forall x \in X$$

şeklindedir ve grafiği Şekil 3.3.6'daki gibi gösterilir. Ayrıca bulanık kümeler üzerindeki kesişim işlemi, klasik mantıktaki "mantıksal veya" bağlacına karşılık gelmektedir.



Şekil 3.3.6 İki bulanık kümenin birleşimi

Örnek 3.6

Evrensel $X = \{1,2,3,4,5\}$ kümesi ile $\tilde{A} = \frac{1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.9}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.5}{5}$ ve $\tilde{B} = \frac{1}{1} + \frac{0.2}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.4}{5}$ bulanık kümeleri olmak üzere, kesişim ve birleşimleri

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \frac{1}{1} + \frac{0.2}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.4}{5}$$

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \frac{1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.9}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.5}{5}$$

şeklindedir.

Belirtilmelidir ki aşağıda verilen kritik iki özellik hariç klasik kümeler ile bulanık kümelerin cebirsel özellikleri aynıdır.

- $\tilde{A} \cap \overline{\tilde{A}} \neq \varnothing$
- X evrensel küme olmak üzere $\tilde{A} \cup \overline{\tilde{A}} \neq X$'dir

3.4 Bulanık Sayılar

Bulanık sayı kavramı "10'a yakın", "7 civarında" gibi kesinlik arz etmeyen sayısal nicelikleri ifade edebilmek için kullanılır [76].

Tanım 3.12 Bulanık Sayı

Bulanık sayı, parçalı ve sürekli üyelik fonksiyonuna sahip olan, $\mathbb{R}$ reel ekseni üzerinde tanımlanmış olan, konveks ve normalize edilmiş bulanık kümeye denir [74]. Bulanık sayılar için diğer bir tanım da aşağıdaki gibi verilebilir.

Tanım 3.13 Bulanık Sayı

X evrenselinde tanımlı bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi ve $x \in \tilde{A}$ olmak üzere aşağıdaki özellikleri sağlayan x bulanık sayı olarak isimlendirilir.

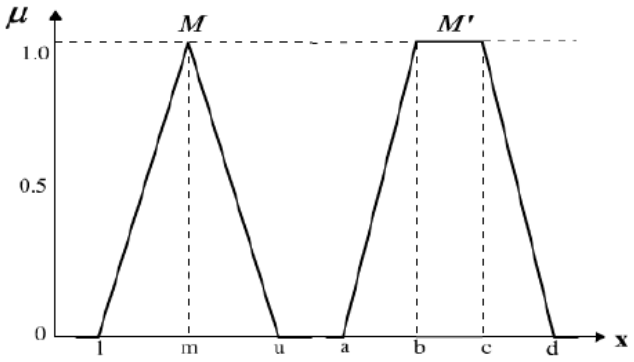
1. $\tilde{A}$ bulanık kümesi normaldir.
2. $A_\alpha \in (0,1]$ 'dir.
3. $\tilde{A}$'nın destek kümesi sınırlıdır [77].

Bir $\tilde{M}$ bulanık sayısı, tüm negatif (pozitif) x değerleri için sıfır üyelik değerini alıyorsa bu bulanık sayı pozitiftir (negatiftir) denir. Öyle ki

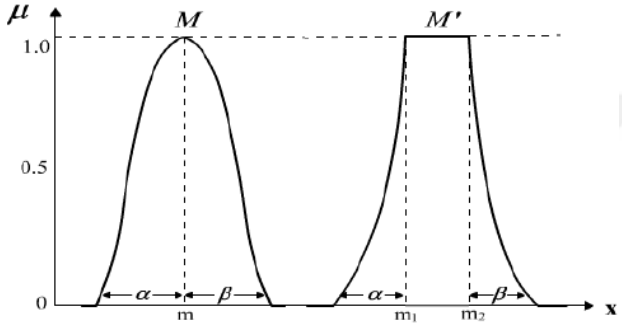
$\tilde{M}$ bulanık sayısı pozitiftir. $\Leftrightarrow \forall x < 0$ için $\mu_{\tilde{M}}(x) = 0$ ve

$\tilde{M}$ bulanık sayısı negatiftir. $\Leftrightarrow \forall x > 0$ için $\mu_{\tilde{M}}(x) = 0$'dir.

Şekil 3.4.1 ve Şekil 3.4.2'de bulanık sayı örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.4.1 Üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar



Şekil 3.4.2 L-R tipli bulanık sayılar

Burada incelenecek olan üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar pratikte en sık kullanılan bulanık sayı çeşitleridir.

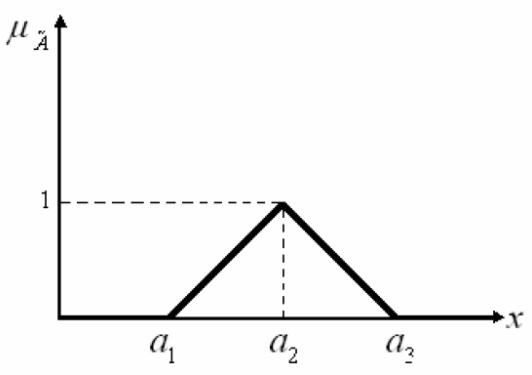
3.4.1 Üçgensel Bulanık Sayı

$\tilde{A}$ bulanık küme ve $x \in \tilde{A}$ olmak üzere (a_1, a_2, a_3) gibi sıralı üçlüler ile gösterilen ve

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \le x \le a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_2 \le x \le a_3 \\ 0 & , x > a_3 \end{cases}$$

biçimindeki üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bulanık (a_1, a_2, a_3) sayısı üçgensel bulanık sayı olarak adlandırılır. Burada a_2 büyüklüğü tam olarak gösteren sayı iken a_1 ve a_3 parametreleri sırasıyla alınabilecek büyüklüğün alt ve üst sınırları olarak kabul edilebilir

değerini temsil etmektedir [78]. Şekil 3.4.3 ile gösterilen grafik üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonuna aittir.



Şekil 3.4.3 Üçgensel bulanık sayı

3.4.1.1 Üçgensel Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler

İki üçgensel bulanık sayı $\tilde{A}=(a_1,a_2,a_3)$ ve $\tilde{B}=(b_1,b_2,b_3)$ olmak üzere bu sayılar arasındaki cebirsel işlemler aşağıdaki biçimde tanımlanır.

Eşitlik:

Bütün elemanların (yani üyelik fonksiyonlarının) eşitliği demektir. Matematiksel olarak;

$$\tilde{A}=\tilde{B} \Leftrightarrow (a_1,a_2,a_3)=(b_1,b_2,b_3) \Leftrightarrow a_1=b_1,\ a_2=b_2,\ a_3=b_3\text{'dır.}$$

Toplama:

$$\tilde{A}(+)\tilde{B}=(a_1,a_2,a_3)+(b_1,b_2,b_3)=(a_1+b_1,a_2+b_2,a_3+b_3)$$

Çıkarma:

$$\tilde{A}(-)\tilde{B}=(a_1,a_2,a_3)-(b_1,b_2,b_3)=(a_1-b_3,a_2-b_2,a_3-b_1)$$

Simetri:

$$-(\tilde{A})=(-a_3,-a_2,-a_1)$$

Çarpma ve bölme işlemleri, yalnızca pozitif bulanık sayılarda tanımlanacak olup pozitif bulanık sayılar, alt sınır değeri pozitif olan sayılardır. Doğrudan çarpma (bölme) işlemi ve $\alpha-$kesenler cinsinden olmak üzere iki şekilde tanımlanabilir [75].

Çarpma:

Doğrudan çarpım $\tilde{A}.\tilde{B}=\left(a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3\right)$ şeklindedir.

$\alpha-$kesenler cinsinden çarpım için bu sayıların $\alpha-$kesenleri

$A_\alpha=[a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]$ ve $B_\alpha=[b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)}]$ olsun. Buna göre $\alpha-$kesenler cinsinden çarpımları

$A_\alpha(.)B_\alpha=[a_1^{(\alpha)}.b_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}b_3^{(\alpha)}]$ şeklindedir. Daha da açık yazılırsa aşağıdaki çarpım elde edilir.

$$\begin{aligned}A_\alpha(.)B_\alpha &=[(a_2-a_1)\alpha+a_1, -(a_3-a_2)\alpha+a_3][(b_2-b_1)\alpha+b_1, -(b_3-b_2)\alpha+b_3]\\ &=[((a_2-a_1)\alpha+a_1).((b_2-b_1)\alpha+b_1), (-(a_3-a_2)\alpha+a_3).(-(b_3-b_2)\alpha+b_3)]\\ &=[a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]\\ a_1^{(\alpha)} &= a_1b_1+\alpha(a_1b_2-2a_1b_1+b_1a_2)+\alpha^2(a_2-a_1)(b_2-b_1)\\ a_1^{(\alpha)} &= a_3b_3+\alpha(a_3b_2-2a_3b_3+b_3a_2)+\alpha^2(a_3-a_2)(b_3-b_2).\end{aligned}$$

İki farklı çarpım şeklinin sonuçları arasında karşılaştırma yapabilmek için doğrudan çarpım yoluyla elde edilen $\tilde{A}.\tilde{B}$'nin $\alpha-$keseni aşağıdaki gibi bulunur.

$$(\tilde{A}.\tilde{B})_\alpha=[(a_2b_2-a_1b_1)\alpha+a_1b_1, -(a_3b_3-a_2b_2)\alpha+a_3b_3]$$

Anlaşıldığı üzere doğrudan çarpım, $\alpha-$kesenler ile yapılan çarpma işleminden belirli bir miktarda sapmaktadır. Bu sapma miktarı kabul edilebilir miktarda olduğunda işlemlerde kolaylık olması açısından doğrudan çarpım işlemi tercih edilmektedir.

Bölme:

Doğrudan bölme $\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}}=\left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}\right)$ şeklindedir.

$\alpha-$kesenler cinsinden bölme için $b_1^{(\alpha)}>0,\ b_3^{(\alpha)}>0$ olmak üzere $\forall\alpha\in[0,1]$ için

$$\begin{aligned}A_\alpha(:)B_\alpha &=[\frac{a_1^{(\alpha)}}{b_3^{(\alpha)}}, \frac{a_3^{(\alpha)}}{b_1^{(\alpha)}}]\\ &=[(a_2-a_1)\alpha+a_1, -(a_3-a_2)\alpha+a_3]:[(b_2-b_1)\alpha+b_1, -(b_3-b_2)\alpha+b_3]\\ &=[\frac{((a_2-a_1)\alpha+a_1)}{(-(b_3-b_2)\alpha+b_3)}, \frac{(-(a_3-a_2)\alpha+a_3)}{((b_2-b_1)\alpha+b_1)}].\end{aligned}$$

Çarpma işleminde olduğu gibi iki farklı bölme şeklinin sonuçları da karşılaştırılabilir.

3.4.1.2 Üçgensel Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemlerin Özellikleri

•İki üçgensel bulanık sayının toplanması ya da çıkarılması işlemleri sonucunda yine bir üçgensel bulanık sayı oluşur.

• Çarpma, bölme ve tersini alma işlemleri sonucunda birer üçgensel bulanık sayı elde edilemeyebilir.

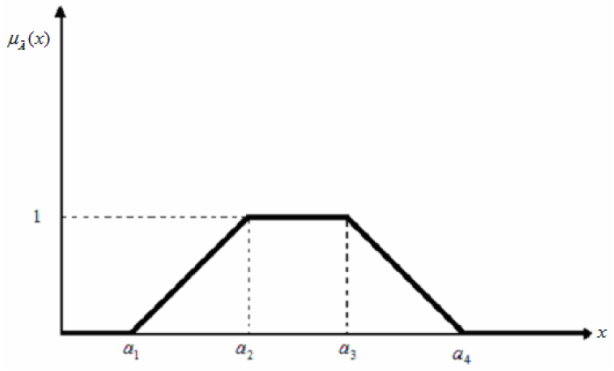
• Üçgensel bulanık sayılarda maksimum ve minimum işlemleri sonucunun da üçgensel bir bulanık sayı olması zorunlu değildir. Öte yandan bu işlemlerin sonucu üçgensel bir bulanık sayı olacak şekilde kabul edilebilir [75].

3.4.2 Yamuksal Bulanık Sayı

$\tilde{A}$ bulanık küme ve $x \in \tilde{A}$ olmak üzere (a_1, a_2, a_3, a_4) gibi sıralı dörtlüler ile gösterilen ve

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \le x \le a_2 \\ 1 & , a_2 \le x \le a_3 \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & , a_3 \le x \le a_4 \\ 0 & , x > a_4 \end{cases}$$

biçimindeki üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bulanık (a_1, a_2, a_3, a_4) sayısı yamuksal bulanık sayı olarak adlandırılır. Burada $[a_2, a_3]$ aralığı büyüklüğü tam olarak gösteren sayı iken a_1 ve a_4 parametreleri sırasıyla alınabilecek büyüklüğün alt ve üst sınırları olarak kabul edilebilir değerini temsil etmektedir [78]. Şekil 3.4.4 ile gösterilen grafik yamuksal bulanık sayının üyelik fonksiyonuna aittir.



Şekil 3.4.4 Yamuksal bulanık sayı

3.4.2.1 Yamuksal Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler

İki yamuksal bulanık sayı $\tilde{A}=(a_1,a_2,a_3,a_4)$ ve $\tilde{B}=(b_1,b_2,b_3,b_4)$ olmak üzere bu sayılar arasındaki cebirsel işlemler aşağıdaki biçimde tanımlanır.

Eşitlik:

Bütün elemanların (yani üyelik fonksiyonlarının) eşitliği demektir. Matematiksel olarak;

$$\tilde{A}=\tilde{B} \Leftrightarrow (a_1,a_2,a_3,a_4)=(b_1,b_2,b_3,b_4) \Leftrightarrow a_1=b_1,\ a_2=b_2,\ a_3=b_3,\ a_4=b_4$$'dır.

Toplama:

$$\tilde{A}(+)\tilde{B} =(a_1,a_2,a_3,a_4)+(b_1,b_2,b_3,b_4)=(a_1+b_1,a_2+b_2,a_3+b_3,a_4+b_4)$$

Çıkarma:

$$\tilde{A}(-)\tilde{B} =(a_1,a_2,a_3,a_4)-(b_1,b_2,b_3,b_4)=(a_1-b_4,a_2-b_3,a_3-b_2,a_4-b_1)$$

Simetri:

$$-(\tilde{A})=(-a_4,-a_3,-a_2,-a_1)$$

Çarpma ve bölme işlemleri, yalnızca pozitif bulanık sayılarda tanımlanacak olup pozitif bulanık sayılar, alt sınır değeri pozitif olan sayılardır. Doğrudan çarpma (bölme) işlemi ve $\alpha-$kesenler cinsinden olmak üzere iki şekilde tanımlanabilir [75].

Çarpma:

Doğrudan çarpım $\tilde{A}.\tilde{B} = \left(a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3, a_4.b_4\right)$ şeklindedir.

$\alpha -$kesenler cinsinden çarpım için bu sayıların $\alpha -$kesenleri

$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_4^{(\alpha)}]$ ve $B_\alpha = [b_1^{(\alpha)}, b_4^{(\alpha)}]$ olsun. Buna göre $\alpha -$kesenler cinsinden çarpımları

$A_\alpha(.)B_\alpha = [a_1^{(\alpha)}.b_1^{(\alpha)}, a_4^{(\alpha)}b_4^{(\alpha)}]$ şeklindedir.

Bölme:

Doğrudan bölme $\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}, \frac{a_4}{b_4}\right)$ şeklindedir.

$\alpha -$kesenler cinsinden bölme için $b_1^{(\alpha)} > 0,\ b_4^{(\alpha)} > 0$ olmak üzere $\forall \alpha \in [0,1]$ için

$A_\alpha(:)B_\alpha = [\frac{a_1^{(\alpha)}}{b_4^{(\alpha)}}, \frac{a_4^{(\alpha)}}{b_1^{(\alpha)}}]$'dir.

3.4.2.2 Yamuksal Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemlerin Özellikleri

Öncelikle üçgensel bir bulanık sayının, $a_2 = a_3$ eşitliğiyle birlikte yamuksal bir bulanık sayının özel hali olduğu belirtilmelidir. Üçgensel bulanık sayılardaki cebirsel işlemlerin bütün sonuçları yamuksal bulanık sayılara da genişletilebilir.

• İki yamuksal bulanık sayının toplanması ya da çıkarılması işlemleri sonucunda yine bir yamuksal bulanık sayı oluşur.

• Çarpma, bölme ve tersini alma işlemleri sonucunda birer yamuksal bulanık sayı elde edilemeyebilir.

• Yamuksal bulanık sayılarda maksimum ve minimum işlemleri sonucunun da yamuksal bir bulanık sayı olması zorunlu değildir. Öte yandan bu işlemlerin sonucu yamuksal bir bulanık sayı olacak şekilde kabul edilebilir [75].

BÖLÜM 4

BULANIK VE ÇOK AMAÇLI KARAR VERME

4.1 Bulanık Karar Verme

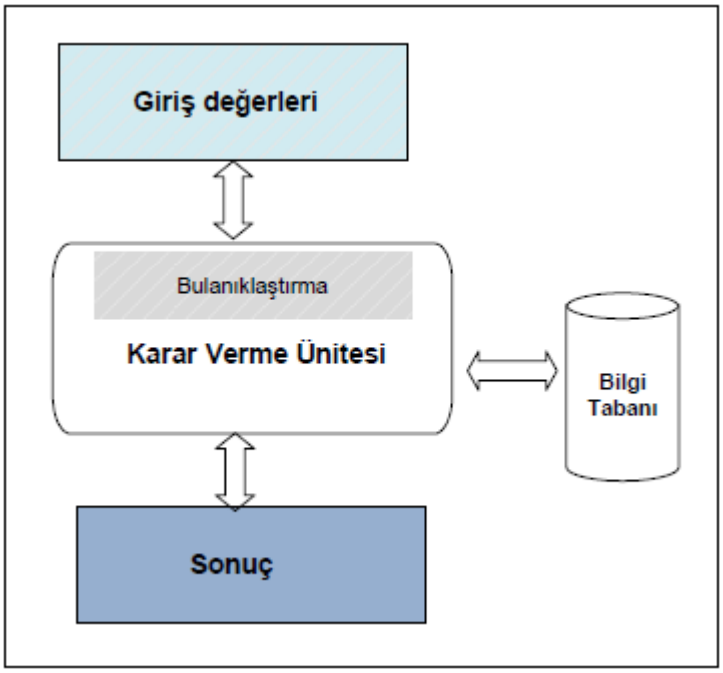
Kantitatif yöntemlerin ve yöneylem araştırmasının yoğunlukla kullanıldığı 'karar verme' varolan bütün bilgilerin (verilerin) göz önünde bulundurulmasıyla durumun analiz edilmesi ve olası tüm sonuçların değerlendirilerek uygun seçeneğin uygulanması sürecidir. Piyasadaki artan rekabet ile birlikte işletmeler açısından çok daha fazla öneme sahip olan karar verme süreçleri geleneksel olarak sezgisel ve tecrübesel yöntemlerden ziyade bilimsel yöntemlerle sürdürülmek üzere harekete geçilmiştir.

Klasik olarak karar alma teorisinde bir karar; bir karar seçenekleri kümesi (karar uzayı), bir durum uzayı kümesi, her ikiliye kararı ve sonucu atayan bir bağıntı ve sonuçları istek duyulabilirliklerine göre sıralayan bir fayda fonksiyonu ile tanımlanabilir. Belirlilik hallerinde karar verirken Karar Verici (KV) hangi sonuçla karşılayacağını kestirebilir ve tanımlanan durum uzayında en çok yararı sağlayan karar seçeneğini seçer. Risk altında karar alınırken ise hangi durumun gerçekleşeceği tam olarak ön görülemediğinden yalnızca durumların olasılık fonksiyonları bilinir dolayısıyla karar vermek daha güçleşir [72].

Güncel yaşamın beraberinde getirdiği belirsizlikler, karışıklıklar ve bilgi eksiklikleri karar alma süreçlerinde KV'nin objektif sonuçlar elde etmesini bir hayli güç hale getirmektedir. Bu durum birey hayatında olduğu kadar organizasyonlar, bürokratik ve siyasal haller, teknik durumlar ve bilimsel araştırmalar için de aynı şekildedir. Bu sıkıntıların dilsel açıdan ifade edilmesi daha kolay olmakla birlikte karar verme sürecinde matematiksel olarak ifade etmek, modellemek ve programlamak oldukça

zordur. Bu noktada 'bulanık karar verme' kavramı devreye girmektedir. Öyle ki karmaşık ve belirsiz veriyi yorumlamada, bu verileri analiz etmede KV'nin içgüdüleri ve tecrübeleriyle hareket ederek bu süreci zorlaştırmak yerine bulanık mantık yaklaşımını kullanarak bulanıklığı modellemesi ve bu şekilde karar vermesi oldukça elverişlidir.

Bulanık karar vermenin algoritmik olarak gösterimi Şekil 4.1.1'deki gibidir. Giriş verileri karar verme ünitesine iletildikten sonra burada bulanıklaştırma işlemi uygulanır ve nihai olarak ilgili karar verme modeli için sonuca varılır [79].



Şekil 4.1.1 Bulanık karar verme

Bellman ve Zadeh'in bulanık karar tanımına istinaden amaç, bulanık karar $\tilde{D}$'yi verirken bulanık kısıtlayıcı $\tilde{C}$'yi doyurarak bulanık hedef $\tilde{G}$'ye ulaşmaktır denilebilir. Açıklamak gerekirse X evrensel kümesi üzerinde tanımlı bir $\tilde{D}$ bulanık karar kümesi olmak üzere $\tilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C}$ ile tanımlanır ve üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\left(\mu_{\tilde{G}}(x), \mu_{\tilde{C}}(x)\right) \tag{4.1}$$

(4.1) kullanılarak bulanık kararlar arasında en büyük üyelik derecesine sahip olan bulanık optimal karar, aşağıdaki eşitlik aracılığıyla verilir.

$$\max_{x\in X} \mu_{\tilde{D}}(x) = \max_{x\in X} \min\left(\mu_{\tilde{G}}(x), \mu_{\tilde{C}}(x)\right) \tag{4.2}$$

Genelleştirilecek olursa, $\tilde{G}_1,\ldots,\tilde{G}_m$ şeklinde m tane bulanık hedef, $\tilde{C}_1,\ldots,\tilde{C}_n$ şeklinde n tane bulanık kısıt olmak üzere, nihai $\tilde{D}$ bulanık kararı, verilen $\tilde{G}_1,\ldots,\tilde{G}_m$ hedeflerinin ve verilen $\tilde{C}_1,\ldots,\tilde{C}_n$ kısıtlarının kesişimi olarak ifade edilir. Öyle ki; bulanık karar

$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \ldots \cap \tilde{G}_m \cap \tilde{C}_1 \cap \ldots \cap \tilde{C}_n$ olup üyelik fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\left(\mu_{\tilde{G}_1}(x),..,\mu_{\tilde{G}_m}(x),\mu_{\tilde{C}_1}(x),\ldots,\mu_{\tilde{C}_n}(x)\right)$$
$$= \min\left(\mu_{\tilde{G}_i}(x),\mu_{\tilde{C}_j}(x)\right) = \min\left(\mu_k(x)\right)$$

şeklindedir. $\tilde{D}$ kararının üyelik fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\max_{x\in X} \mu_{\tilde{D}}(x) = \max_{x\in X} \min\left(\mu_{\tilde{G}_1}(x),\ldots,\mu_{\tilde{G}_m}(x),\mu_{\tilde{C}_1}(x),\ldots,\mu_{\tilde{C}_n}(x)\right)$$

Burada, karara etkisi bakımından bulanık hedefler ve bulanık kısıtlar arasında herhangi bir fark olmadığı, eşit önem ağırlıklarıyla karara katkı sağladıkları unutulmamalıdır [72].

Örnek 4.1 :

" x bilinmeyeni, 10'dan yeterli miktarda büyük olmalı" olarak ifade edilen amacın üyelik fonksiyonu

$$\mu_{\tilde{G}}(x) = \begin{cases} 0 & ,x \le 10 \\ (1+(x-10)^{-2})^{-1} & ,x > 10 \end{cases},$$

"x, 11 civarında olmalı" olarak ifade edilen kısıtın üyelik fonksiyonu ise

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = (1+(x-11)^4)^{-1}$$

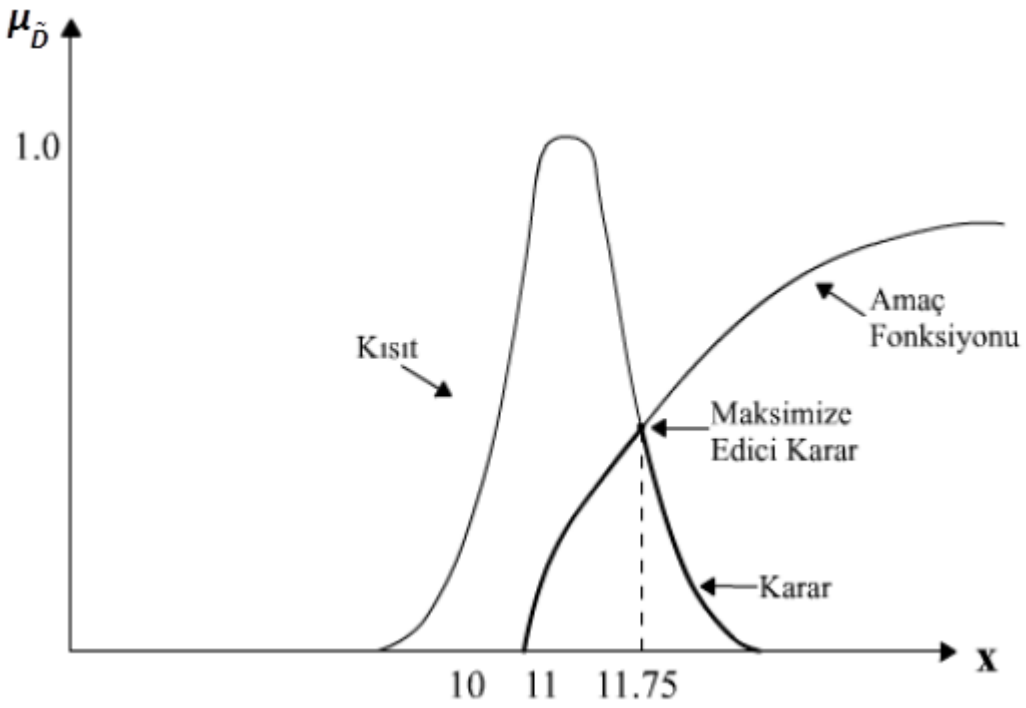
şeklindedir. $\tilde{D}$ kararının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\left(\mu_{\tilde{G}}(x),\mu_{\tilde{C}}(x)\right)$$

$$\Rightarrow \mu_{\tilde{D}}(x) = \begin{cases} \min\left\{(1+(x-10)^{-2})^{-1},(1+(x-11)^4)^{-1}\right\} & ,x > 10 \\ 0 & ,x \le 10 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \mu_{\tilde{D}}(x) = \begin{cases} (1+(x-11)^4)^{-1} & ,x > 11.75 \\ 0 & ,x \le 11.75 \end{cases}$$

Şekil 4.1.2'de bu örnek için bulanık karar gösterilmiştir.



Şekil 4.1.2 Bulanık bir karar

4.1.1 Bulanık Lineer Programlama

Hedef ve kısıtların kesin olarak ifade edildiği karar modellerinin özel bir hali olan klasik bir doğrusal (lineer) programlama (LP), sınırlı kaynakların etkin bir biçimde nasıl kullanılabileceğini saptama tekniği olarak kısaca açıklanabilir. Genel ve matematiksel haliyle lineer programlama problemi (4.3) ile gösterilebilir.

$$\begin{aligned} &\text{Amaç :} \quad \max z = f(c,x) = c^T x \\ &\text{Kısıtlar:} \quad g(A,x) = Ax \le b \\ &\qquad\qquad x \ge 0 \\ &c, x \in R^n, b \in R^m, A \in R^{m \times n} \end{aligned} \tag{4.3}$$

Burada, c; amacının kâr katsayılar vektörü iken b; mevcut kaynaklar vektörü, x; karar değişkenleri vektörü (ya da alternatifler vektörü) ve A; teknolojik katsayılar matrisidir.

Gerçek dünya karmaşık sistemlerini (problemlerini) iyileştirerek birey bakış açısını içeren, daha sağlam ve esnek model geliştirerek çözebilmek amacıyla gündeme gelmiş olan Bulanık Küme Teorisi (BKT), karar vericiye yalnızca belirlenen kısıtlar altında bütün mevcut seçenekleri göz önünde buldurma (verilen sitemi en iyileme) değil, aynı zamanda yeni alternatifler geliştirme olanağı da sağlamaktadır. BKT, kısmi üyeliği dikkate alarak keskin sınırları olmayan ve hedeflerin göreli ağırlıkları karar vericinin öznel yargılarına dayanan bu problemleri tanımlamak, analiz etmek ve çözmek için geliştirilmiştir. Klasik LP problemlerindeki giriş verileri (c, b ve A), gerçek yaşamda çoğu zaman tam olmayan veya elde edilemeyen bilgiler olduğundan, genellikle, bulanık / kesin olmayan özelliklidir [80].

Bulanık lineer programlama (BLP), ilk olarak 1976'da, H-J Zimmermann geleneksel LP problemlerini BKT'yi kullanarak modellemeyi önermesiyle gündeme gelmiştir [74].

BLP, bulanık mantık ve lineer programlamanın birleşimi olup klasik LP'nin genişletilmiş şeklidir. LP yöntemi kullanılarak çözümlenebilen problemlere karar süreçlerine belirsizlik eklendiğinde uygulanan bir yöntem olarak, klasik LP'nin kullanıldığı her sahada uygulanabilen BLP kullanılır [81].

KV'nin amaç fonksiyonunu en büyükleme ya da en küçükleme yapmak istemesinden ziyade bazı istek seviyelerine ve tatmin derecesine ulaşmak dolayısıyla da mevcut maliyet durumunu iyileştirmek daha mantıklı gelebilir. Kısıtların, "$\leq$" işaretiyle birlikte kesin matematiksel anlam yüklenmeyip ufak tefek sapmaları kabul edebilir olması şeklinde belirsizlik hali mevcut olabilir. Dahası; b, c vektörlerinin ve A matrisinin öğelerinin bulanık karaktere sahip olmalarından dolayı belirsizlik oluşabilir [72].

Sonuç olarak gerçek durumun özelliklerine ve dolayısıyla bulanıklığın modele nerede ve nasıl ekleneceği cevaplarına göre oluşturulan BLP problemlerinin birçok çeşidi mevcut olup literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma şöyledir: [82]

i. Bulanık kısıtlayıcılı BLP problemi

ii. Bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcılı BLP problemi

iii. Bulanık amaç katsayılı BLP problemi

iv. Bulanık parametreli BLP problemi.

Tipik bir BLP probleminin formülasyonu en basit ve klasik haliyle aşağıdaki gibi yapılabilir [83].

$$\begin{aligned} & x_i && i=1,\ldots,I \\ & Z_m(x_i) \prec \overline{Z_m} && \mathrm{m}=1,\ldots,M \\ & Z_k(x_i) \succ \overline{Z_k} && \mathrm{k}=m+1,m+2,\ldots,K \\ & g_j(x) \le b_j && j=1,\ldots,J \\ & x_i \ge 0 && i=1,\ldots,I \end{aligned} \qquad (4.4)$$

'z_0 değerinden büyük olma' hedefi verildiği farz edilen amaç fonksiyonunun ve problemin kısıtlarının bulanık olarak verilmesi halinde oluşturulan BLP problemi ele alındığında model

$$\begin{aligned} & c^T x \tilde{\ge} z_0 \\ & Ax \tilde{\le} b \\ & x \ge 0 \end{aligned} \qquad (4.5)$$

olarak belirlenebilir. Burada "$\tilde{\ge}$" ve "$\tilde{\le}$" , sırasıyla matematiksel anlamda verilen "$\ge$" ve "$\le$" işaretlerinin bulanık şeklidir. Problem, $\begin{pmatrix} -c \\ A \end{pmatrix} = B$ ve $\begin{pmatrix} -z_0 \\ b \end{pmatrix} = d$ dönüşümleri ile yeniden düzenlenirse

$$\begin{aligned} & Bx \tilde{\le} d \\ & x \ge 0 \end{aligned} \qquad (4.6)$$

biçiminde olur. $(m+1)$ adet satır $Bx \tilde{\le} d$ kısıtlarından her bir satırı, üyelik fonksiyonu $\mu_i(x)$ olan bulanık kümeler ile tanımlanırsa, kararın üyelik fonksiyonu (4.1) ile,

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min_i \{\mu_i(x)\} \qquad (4.7)$$

ile ifade edilir. x'in $B_i(x) \le d_i$ eşitsizliğini sağlama derecesi olarak yorumlanan $\mu_i(x)$, B_i (B'nin i. satırı) 'nin üyelik değeridir. Bu durumda maksimum yapıcı karar;

$$\max_{x \ge 0} \min_i \{\mu_i(x)\} = \max_{x \ge 0} \mu_{\tilde{D}}(x) \qquad (4.8)$$

olası lineer olmayan (non-lineer) programlama probleminin çözümü olarak kullanılabilir. $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonları belirlenen problemin amaç fonksiyonu ile

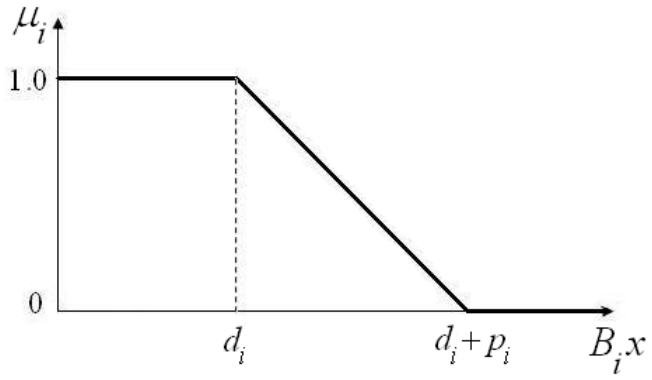
doğrudan ilgili kısıtlar da dahil olmak üzere kısıtlar tümüyle bozulmuş ise $\mu_i(x)$, 0 değerini alır iken; kısıtlar kesin olarak (çok iyi) tanımlanmışsa $\mu_i(x)=1$ olmaktadır. $i=1,2,\ldots,m+1$ olmak üzere p_i, kısıtların ve amaç fonksiyonunun kabul edilebilir bozulma (sapma) miktarları için, her bir satırın $[d_i, d_i+p_i]$ olarak belirlenen "tolerans aralığı" boyunca $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonu monoton azalandır. Bu durumda $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonu;

$$\mu_i(x)=\begin{cases}1 & ,B_i(x)\le d_i\\ \in[0,1] & ,d_i<B_i(x)\le d_i+p_i\\ 0 & ,B_i(x)>d_i+p_i\end{cases} \qquad (4.9)$$

olarak belirlenebilir. Lineer üyelik fonksiyonları ile $\mu_i(x)$ üyelik fonksiyonları;

$$\mu_i(x)=\begin{cases}1 & ,B_i(x)\le d_i\\ 1-\dfrac{B_i(x)-d_i}{p_i} & ,d_i<B_i(x)\le d_i+p_i\\ 0 & ,B_i(x)>d_i+p_i\end{cases} \qquad (4.10)$$

şeklinde yazılır. Şekil 4.1.3'te üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1.3 "$\tilde{\leq}$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu

Elde edilen üyelik fonksiyonları, (4.8)'de yerine konularak gerekli düzenlemeler yapıldığında maksimum yapıcı karar

$$\max_{x\geq 0} \min_{i} \left(1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i} \right)$$

ya da $\min_i \{\mu_i(x)\} = \lambda$ alınarak problem,

Amaç : max λ

Kısıtlar: $\lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i \qquad i = 1,\ldots,m+1$

$x \geq 0$ (4.11)

halini alır. Aşikar olarak;

$\min_i \{\mu_i(x)\} = \lambda \Rightarrow \forall i\ (i = 1,2,\ldots,m+1)$ için $\mu_i(x) \geq \lambda$

$$\Rightarrow 1 - \frac{B_i(x) - d_i}{p_i} \geq \lambda$$

$$\Rightarrow 1 - \lambda \geq \frac{B_i(x) - d_i}{p_i}$$

$$\Rightarrow p_i(1-\lambda) \geq B_i(x) - d_i$$

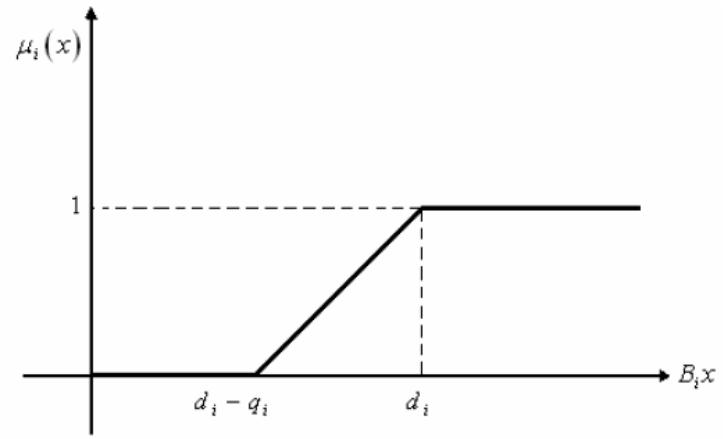
$$\Rightarrow \lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i$$

olacaktır.

Burada amacı en iyileştiren kararın, (4.5) ile verilen modelden yalnızca fazladan bir adet değişkene ve kısıta sahip olan klasik LP çözümü yapılarak elde edildiği atlanmamalıdır [72].

Amaç fonksiyonu ya da kısıtlarda $\tilde{\leq}$ ile bulanıklık olması halinde $B_i x \tilde{\leq} d_i$ yapısındaki ve p_i tolerans miktarına sahip olan kısıtlar Zimmermann' ın yaklaşımı aracılığıyla $\lambda p_i + B_i x \leq d_i + p_i$ yapısındaki kesin kısıtlara dönüşmektedir. Benzer olarak üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 4.1.4'te gösterilen amaç fonksiyonu ya da kısıtlarda $\tilde{\geq}$ ile bulanıklık olması halinde $B_i x \tilde{\geq} d_i$ yapısındaki ve p_i tolerans miktarına sahip olan kısıtlar Zimmermann'ın yaklaşımı aracılığıyla $B_i x - \lambda p_i \geq d_i - p_i$ yapısındaki kesin kısıtlara dönüşmektedir. Üyelik fonksiyonu şöyledir:

$$\mu_i(x)=\begin{cases}0 & ,B_i(x)\le d_i-p_i^- \\ 1+\dfrac{B_i(x)-d_i}{p_i^-} & ,d_i-p_i^-<B_i(x)\le d_i \\ 1 & ,B_i(x)>d_i+p_i^+\end{cases}$$

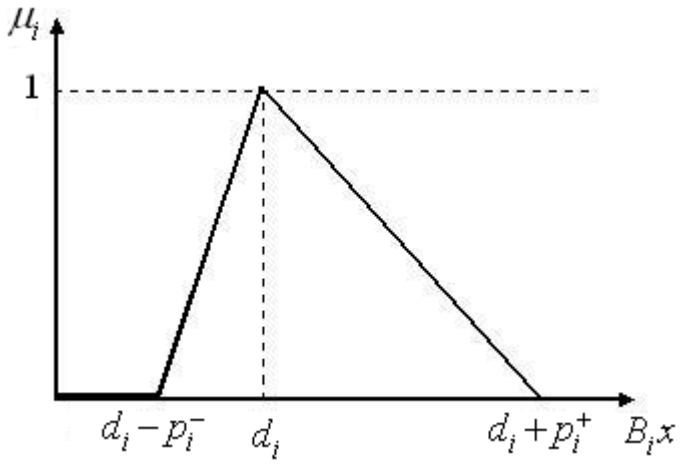


Şekil 4.1.4 "$\tilde{\geq}$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu

Dahası amaç fonksiyonu ya da kısıtlarda $\cong$ ile bulanıklık olması halinde $B_i x \cong d_i$ yapısındaki, p_i^- ve p_i^+ tolerans miktarlarına sahip olan kısıtların üyelik fonksiyonu,

$$\mu_i(x)=\begin{cases}0 & ,B_i(x)\le d_i-p_i^- \\ 1+\dfrac{B_i(x)-d_i}{p_i^-} & ,d_i-p_i^-<B_i(x)\le d_i \\ 1-\dfrac{B_i(x)-d_i}{p_i^+} & ,d_i<B_i(x)\le d_i+p_i^+ \\ 0 & ,B_i(x)>d_i+p_i^+\end{cases} \qquad (4.12)$$

şeklinde tanımlanır. Şekil 4.1.5'te üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.

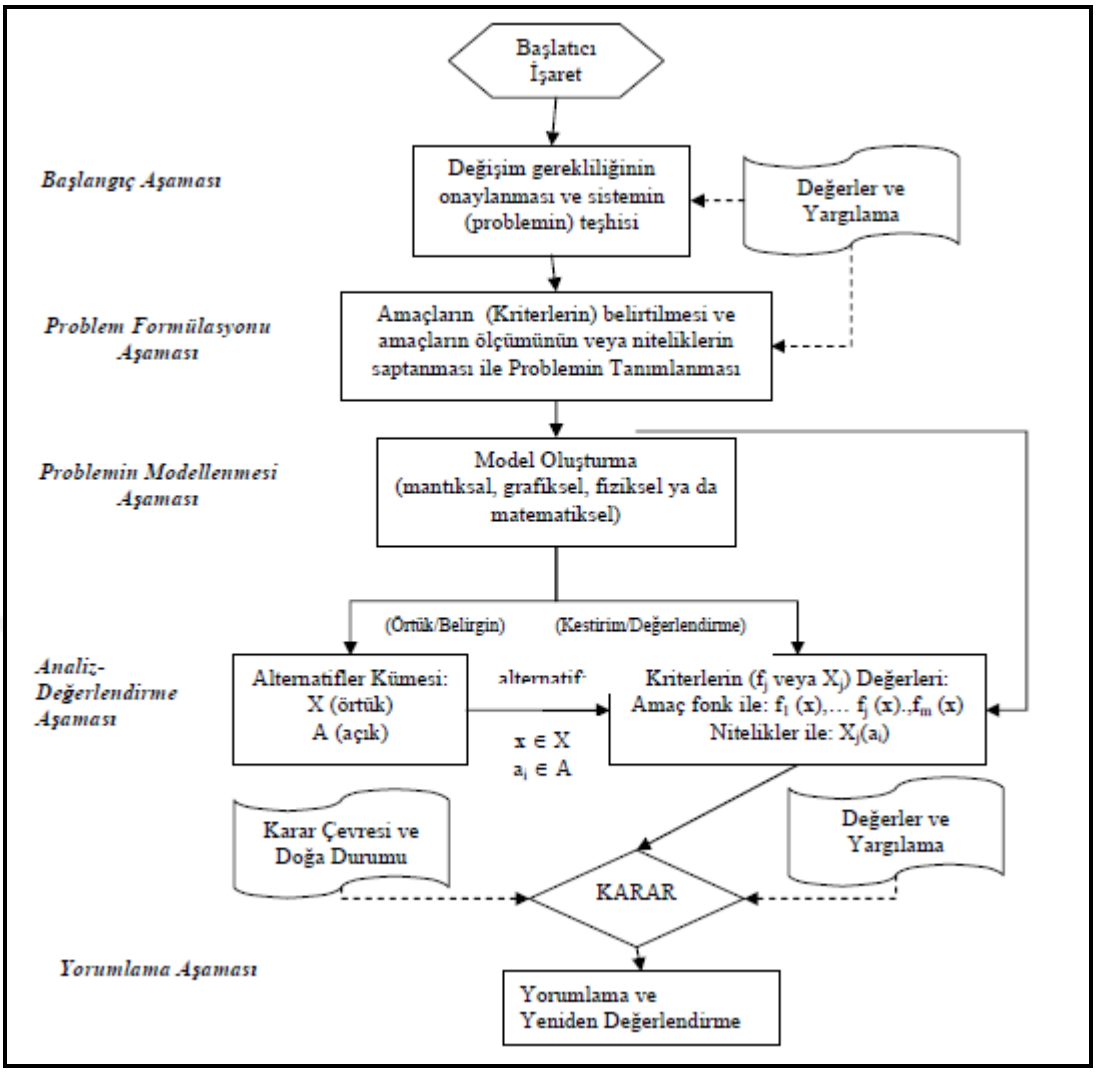


Şekil 4.1.5 "$\cong$" yapısındaki kısıtlara veya amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu

Amaç fonksiyonu ya da kısıtlarda $\cong$ ile bulanıklık olması halinde $B_i x \cong d_i$ yapısındaki bulanık kısıtlar Zimmermann'ın max-min yaklaşımı aracılığıyla $\lambda p_i^- + B_i x \le d_i + p_i^-$ ve $B_i x - \lambda p_i^+ \ge d_i + p_i^+$ şeklindeki iki kesin kısıta dönüşecektir.

4.2 Çok Amaçlı Karar Verme

Gelişen çağla beraber insan ve kurumların, etraflarındaki dünyayı tek boyutlu olarak değerlendirmeleri ve bunları tek bir kritere bağlıymış gibi görerek yorumlayıp yargılamaları gittikçe zorlaşmaktadır [84]. Bu durumdan hareketle; yalnızca bir yaklaşımı temsil etmekle kalmayıp aynı zamanda çoklu, aynı dereceye sahip olmayan ve birbirine ters düşen kriterlerle ifade edilebilecek problemlerle karşılaşan bireylere, kendi değer yargılarına uygun kararlar vermelerine yardımcı olması için tasarlanmış olan yöntemleri kapsayan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) üst düzey bir kavramdır [85]. Genel haliyle beş aşamadan oluşan ÇKKV prosesi, Şekil 4.2.1'de gösterilmiştir [86].



Şekil 4.2.1 Klasik çok kriterli karar verme süreci

Genellikle literatürde ÇKKV, *çok amaçlı karar verme* ve *çok nitelikli karar verme* olarak iki temel başlık altında kategorize edilmiştir. Bu iki konu arasındaki en önemli fark alternatifler uzaylarının (karar uzayı) yapısıdır. Çok amaçlı karar verme sürekli karar uzaylarındaki problemlerin ifadesi için kullanılırken, çok nitelikli karar verme ise ayrık karar uzaylarındaki problemleri ifade etmek için kullanılmıştır [72].

Matematik – fen bilimleri, ticari, mühendislik ve en önemlisi gerçek yaşam problemlerinin modellerindeki tek amaçlı sistemlerin yetersiz kalmasından dolayı amaç fonksiyonu sayısının arttırılmasıyla ve amaçların birbirleriyle çelişen durumlarda olmasıyla birlikte pratik olarak bu modellemelerin daha gerçekçi yapılma çabaları "çok amaçlı karar verme" (Multi-Objective Decision Making) disiplininin doğmasına sebep

olmuştur. Problem çözüm sürecinde düşünme ve bilimsel yaklaşım şekli, çok disiplinlilik yönleriyle öne çıkan alanı temsil eden çok amaçlı karar verme, son yıllarda yöneylem araştırmasının en süratli bir şekilde ilerleme kaydeden dalı olarak görülmektedir.

Bu bölümde teze konu olan Çok Amaçlı Kapalı Devre Tedarik Zinciri (ÇAKDTZ) probleminin modellenmesine ve çözüm yöntemine temel olması bakımından ilk olarak ÇALP probleminin matematiksel modeli, daha sonra kullanılacak temel kavramlar ve problemin çözümü için bulanık bir yaklaşım incelenecektir.

4.2.1 Çok Amaçlı Lineer Programlama

ÇALP problemi, verilen lineer kısıtlar altında birden çok lineer amacı en iyilemeye çalışan problem olarak tanımlanabilir. Matematiksel model,

$$\begin{aligned} &\text{Amaçlar: } \max z_1(x) = c_1 x \\ &\qquad \max z_2(x) = c_2 x \\ &\qquad \vdots \\ &\qquad \max z_K(x) = c_K x \\ &\text{Kısıtlar: } Ax \le b \\ &\qquad x \ge 0 \end{aligned} \tag{4.13}$$

şeklindedir. Burada $i = 1,\ldots,K$ olmak üzere z_i amacının katsayılar vektörü $c_i = (c_{i1},\ldots,c_{in})$, karar değişkenleri vektörü $x = (x_1,\ldots,x_n)^T$, teknolojik katsayılar matrisi $A = \begin{bmatrix} a_{11},\ldots,a_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots \\ a_{m1},\ldots,a_{mn} \end{bmatrix}$ ve sağ taraf sabitleri vektörü $b = (b_1,\ldots,b_n)^T$ ÇALP modelinin bileşenleridir.

Çoğunlukla çok amaçlı karar verme problemi, matematiksel programlamada ilk kez 1951'de Kuhn - Tucker tarafından işlenen vektör-maksimum problemi olarak adlandırılır.

Tanım 4.1: (Vektör-Maksimizasyon Problemi)

X çözüm uzayı (karar uzayı, çözümler bölgesi ve alternatifler uzayı) ve $z(x)=(z_1(x),\ldots,z_K(x))$, $x\in R^n$'den R^K'ya tanımlı vektör değerli bir fonksiyon olmak üzere;

$$\text{"max"}\left\{z(x)\middle|x\in X\right\}$$

ile ifade edilen probleme vektör-maksimizasyon problemi denir. Benzer şekilde

$$\text{"min"}\left\{z(x)\middle|x\in X\right\}$$

problemi de vektör-minimizasyon problemi olarak isimlendirilir.

Buna göre (4.13), şu şekilde güncellenebilir:

$$\begin{aligned}&\text{Amaç} \quad : \max z(x)=Cx\\ &\text{Kısıtlar} : \quad Ax\le b,\quad x\ge 0\end{aligned} \tag{4.14}$$

Tipik bir LP probleminde kısıtların meydana getirdiği uygun çözümler bölgesinde amacın optimum değerini aldığı nokta "optimal nokta" iken k adet amaç fonksiyonundan oluşan ÇALP problemi için "optimal nokta" ise verilen kısıtlar ile birlikte tüm amaç fonksiyonlarının eş anlı olarak optimum değerini aldığı noktadır. Söz konusu nokta, *ideal nokta* olarak isimlendirilir.

Tanım 4.2: (İdeal Nokta)

$i=1,\ldots,K$ için her bir amacın optimal değeri $z_i^*=\max\{z_i(x)\,|\,Ax\le b, x\ge 0\}$ olmak üzere $z_i^*=(z_1^*,z_2^*,\ldots,z_K^*)$ noktasına ideal nokta denir.

Tanım 4.3: (Etkin Çözüm)

Tanım 4.1 ile verilen bir vektör-maksimizasyon problemi $\text{"max"}\left\{z(x)\middle|x\in X\right\}$, olmak üzere,

$\forall i=1,2,\ldots,K$ için $z_i(x)\ge z_i(\bar{x})$ ve en az bir $i=1,2,\ldots,K$ için $z_i(x)>z_i(\bar{x})$

eşitsizliklerini sağlayan hiçbir $x \in X$ mevcut değilse, $\bar{x}$ çözümüne bir etkin çözüm denir. Tüm etkin çözümlerin kümesi çoğunlukla "tam çözüm" olarak tanımlanır. Burada $z_i(\bar{x})$ değerlerine ise basılamaz çözüm denir [87].

k adet amaç fonksiyonu içeren ÇALP problemlerinde çözüm için tüm amaç fonksiyonlarını eş anlı olarak en iyileyen bir vektörün başka bir deyişle ideal noktanın elde edilmesi güçtür. Çünkü genel olarak ulaşılmak istenen amaçlar, birbiri ile çelişen ve negatif yönde etkileşimli olan değerlendirme ölçütleridir. Örneğin bir fabrikanın kalite kontrol biriminin probleminin temelinde; kaliteyi arttırmak, kalite kontrol masraflarını azaltmak gibi amaçlar vardır. Aslında bu her iki amacın da birbirini ters yönde etkilediğinden optimum çözümden bahsetmek zorlaşmaktadır. Dolayısıyla, her bir amaç için optimum olan çözümlerin KV'nin tercihleri de dikkate alınarak belirli bir şekilde uzlaştırılması en olası seçenek olarak gözükmektedir. Sonuç olarak ÇALP probleminde ulaşılan çözüm, tek-amaçlı karar problemlerindeki optimum çözüm yerine verilen tüm kriterler dikkate alınarak KV'nin diğer alternatiflere tercih ettiği çözüm olan "en iyi (optimum) uzlaşık çözüm" olacaktır [88].

Kabulden uzaklaşmamak için tüm optimal uzlaşık çözümlerin aynı zamanda etkin birer çözüm olduğu farz edilecektir.

4.3 ÇALP problemine Bulanık Yaklaşım

Kar maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu, çalışma süresinin minimize edilmesi gibi göreceli değerleri farklı olan karar süreçleri tek bir amaca dayanmaktadır. Bir örnek ile açıklanacak olursa, yeni bir bilgisayar tasarımı yapılma aşamasında eş anlı olarak maliyeti minimize etme, işlemci sayısını (CPU) maksimize etme, RAM'i maksimize etme ve güvenilirlik derecesini maksimize etme amaçlanmaktadır. Ayrıca, maliyet önemli amaçlardan biri olup diğer üç amaç (CPU, RAM ve güvenilirlik) ile karşılaştırıldığında daha az ancak eşit ağırlıkta önem taşımaktadır. Farklı karar seçenekleri için amacın tatmin derecesi göz önünde bulundurularak anlamlı bilgiler kazanma, çok amaçlı karar vermede öncelikli olan iki temel konudan ilkidir. Diğeri ise her bir amaç için göreceli olan önem değerini sıralamak veya ağırlıklandırmaktır [89].

Bu açıdan matematiksel olarak kesin (crisp) veriler ile verilen ÇALP probleminin çözüm aşamasında ilk yapılacak işlem amaçların üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenebilmesi için ise amaç fonksiyonlarının en iyi ve en kötü tatmin düzeylerine karşılık gelen alt (z_k^-) ve üst (z_k^+) sınırları belirlenmelidir. Literatürde bu değerlere ulaşabilmek için en sık kullanılan iki yaklaşım mevcuttur [90].

Ödemeler matrisi (pay-off matrix) olarak adlandırılan ilk yaklaşımda öncelikle her bir amaç, problemin özgün kısıtları altında, tek amaçlı bir LP problemi olarak çözülerek tüm amaçların bireysel maximum değerleri $\left(z_k^+\right)$ belirlenir. Daha sonra ise elde edilen bireysel maximumu veren noktalar, diğer tüm amaçlarda yerine yazıldıktan sonra elde edilen değerlerin minimumu ilgili amacın alt sınır değerini $\left(z_k^-\right)$ verir. Böylece vektör-maksimizasyon problemi için, amaçların bireysel optimal noktaları sırasıyla $x^{1*}, x^{2*}, \ldots, x^{K*}$ olmak üzere, köşegen elemanlarının sırasıyla her bir amacın bireysel maksimum değeri z_k^+ ve her bir satırının minimum değerinin ise z_k^- olduğu ödemeler matrisi

$$\begin{bmatrix} z_1\left(x^{1*}\right) & z_1\left(x^{2*}\right) & \cdots & z_1\left(x^{K*}\right) \\ z_2\left(x^{1*}\right) & z_2\left(x^{2*}\right) & \cdots & z_2\left(x^{K*}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_K\left(x^{1*}\right) & z_K\left(x^{2*}\right) & \cdots & z_K\left(x^{K*}\right) \end{bmatrix} \tag{4.15}$$

şeklindedir.

Alt ve üst sınır değerlerini belirleyen ikinci yaklaşımda ise her bir amaç, problemin özgün kısıtları altında minimize ve maksimize edilir. Başka bir deyişle amaçların bireysel minimum ve maksimum değerleri hesaplanır. S, problemin özgün kısıtlarının oluşturduğu uygun çözümler bölgesi olmak üzere, elde edilen sınır değerleri

$$z_k^- = \min_{x \in S} z_k(x) \;,\; z_k^+ = \max_{x \in S} z_k(x),\; k = 1,2,\ldots,K \tag{4.16}$$

şeklindedir. Sınır değerleri elde edildikten sonra üyelik fonksiyonları tanımlanmalıdır. Çalışmamızda işlem kolaylığı açısından lineer üyelik fonksiyonlarını kullanılmıştır. Buna

göre, $k \in \{1,2,\ldots,K\}$ olmak üzere ele alınan vektör-maksimizasyon probleminin, *k.* amaç fonksiyonuna karşılık gelen lineer yapıya sahip $\mu_k\left(z_k(x)\right)$ üyelik fonksiyonu

$$\mu_k\left(z_k(x)\right)=\begin{cases} 0 & ,z_k(x)<z_k^-, \\ \dfrac{z_k(x)-z_k^-}{z_k^+-z_k^-} & ,z_k^- \le z_k(x) \le z_k^+, \\ 1 & ,z_k(x)>z_k^+ \end{cases} \tag{4.17}$$

olarak belirlenir. Burada tüm amaçlar için alt ve üst sınır değerlerin birbirinden farklı olduğu kabul edilmiştir. (yani $z_k^- \neq z_k^+$, $k=1,2,\ldots,K$ 'dir.) Eğer sınır değerleri birbirine eşit ise ilgili amacın üyelik fonksiyonu 1 olarak alınacaktır $\left(z_k^- = z_k^+ \Rightarrow \mu_k\left(z_k(x)\right)=1\right)$. $\mu_k\left(z_k(x)\right)$ üyelik fonksiyonlarının $\left[z_k^-, z_k^+\right]$ aralığında lineer ve monoton artan olduğuna dikkat edilmelidir.

Zimmermann'ın [91] 'deki minimum operatörü kullanılarak, ÇALP, vektör-maksimizasyon probleminin elde edilen son hali aşağıdaki gibidir:

$$\max_{x} \min_{k} \mu_k\left(z_k(x)\right) \quad x \in S \tag{4.18}$$

Yardımcı bir λ değişkeni kullanılarak

$$\min_k \mu_k\left(z_k(x)\right)=\lambda \Rightarrow \mu_k\left(z_k(x)\right) \ge \lambda$$

olacaktır. Böylece (4.18) probleminin muadili olarak tek amaçlı lineer programlama problemi

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\mu_k\left(z_k(x)\right) \ge \lambda,\ k=1,2,\ldots,K \\ &x \in S \\ &\lambda \in [0,1]. \end{aligned} \tag{4.19}$$

şeklinde oluşturulabilir. Burada (4.19), ele alınan ÇALP vektör-maksimizasyon problemine karşılık gelen minimum operatör modelidir. Bu problemin optimal değeri

λ^*, problemin tüm amaçlarının en düşük tatmin seviyesinin maksimize edildiği değere karşılık gelir ve verilen esas problemdeki amaçların en temel tatmin düzeyi olarak yorumlanabilir.

Vektör-minimizasyon problemi, vektör- maksimizasyon probleminde verilen minimum operatör yaklaşımına benzer şekilde uyarlanarak amaçların üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\mu_k\left(z_k\left(x\right)\right)=\begin{cases}1 & ,z_k\left(x\right)<z_k^-,\\ \dfrac{z_k^+-z_k\left(x\right)}{z_k^+-z_k^-} & ,z_k^-\le z_k\left(x\right)\le z_k^+,\\ 0 & ,z_k\left(x\right)>z_k^+\end{cases} \tag{4.20}$$

BÖLÜM 5

ÇOK AMAÇLI ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DEVRE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN BİR BULANIK MODEL ÖNERİSİ

Bu çalışmada amaçlandığı üzere karar vericilerin, firmaların kapalı devre yeşil tedarik zincirlerini daha etkin bir şekilde yönetebilecekleri çok amaçlı karma tamsayılı lineer bir matematiksel model önerilmiştir. Amaçların; firmanın tedarik zincirindeki fabrikalar, depolar, dağıtım merkezleri ve geri dönüşüm merkezlerinin kapasitelerini ve birbirleriyle olan bağlantılarını da dikkate alarak bulundukları bölgelerin önemlerinin maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu yanında fabrikalardaki, tesislerdeki işlemler sırasında ve dağıtımda ortaya çıkan CO_2 salınımlarını dikkate alarak karbon ayak izinin minimizasyonu olduğu odaklanılan çok amaçlı kapalı devre modelde geri dönüşüm, tekrar üretime kazandırma ve imha işlemleri de yürütülerek tedarik zinciri yönetimine çevreci bir bakış açısı kazandırılmıştır. Müşterilerin taleplerinin karşılanmasının esas alındığı çalışmada hedefleri gerçeklerken de üretim kararı ve fabrikaların, depoların, dağıtım merkezlerinin ve geri dönüşüm merkezlerinin kullanım kararlarının yanı sıra depolarda stok kontrolü de yapan model; çok ürünlü, çok bileşenli, çok periyotlu olarak ele alınmaktadır. Modelin çözümünde Zimmermann'ın "min" operatörü kullanılarak bulanık bir yaklaşımla çözüm elde edilmiştir.

5.1 Modelin Matematiksel Yapısı

Uygulamada kullanılacak karma tamsayılı lineer matematiksel modelin indis kümeleri, karar değişkenleri, parametreleri, kısıtları ve amaçları aşağıdaki gibidir:

İndis Kümeleri

i: Ürün bileşeni indisi $(i = 1, 2, ..., I)$

j: Ürün tipi indisi $(j = 1, 2, ..., J)$

s: Tedarikçi indisi $(s = 1, 2, ..., S)$

p: Fabrika indisi $(p = 1, 2, ..., P)$

w: Depo indisi $(w = 1, 2, ..., W)$

d: Dağıtım merkezi indisi $(d = 1, 2, ..., D)$

c: Müşteri bölgesi indisi $(c = 1, 2, ..., C)$

r: Geri dönüşüm merkezi indisi $(r = 1, 2, ..., R)$

k: İmha merkezi indisi $(k = 1, 2, ..., K)$

t: Dönem indisi $(t = 1, 2, ..., T)$

Modelin Karar Değişkenleri

İkili Karar Değişkenleri

$$Yjpt_{jpt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün p. fabrikada üretilirse} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Yjwt_{jwt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için w. depo kullanılırsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Yjdt_{jdt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için d. dağıtım merkezi kullanılırsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Yjrt_{jrt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için r. geri dönüşüm merkezi kullanılırsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xispt_{ispt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde i. bileşen için s. tedarikçiden p. fabrikaya bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xjpwt_{jpwt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için p. fabrikadan w. depoya bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xjwdt_{jwdt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için w. depodan d. dağıtım merkezine bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xjdct_{jdct} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için d. dağıtım merkezinden c. müşteri bölgesine bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xjcrt_{jcrt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde j. ürün için c. müşteri bölgesinden r. geri dönüşüm merkezine bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xirpt_{irpt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde i. bileşen için r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

$$Xirkt_{irkt} = \begin{cases} 1 & \text{, t. dönemde i. bileşen için r. geri dönüşüm merkezinden k. imha merkezine bağlantı varsa} \\ 0 & \text{, aksi durumda} \end{cases}$$

Sürekli Değişkenler

$LSjwt_{jwt}$: t. dönemde w. depodaki j. ürünün stok seviyesi

$Qjpt_{jpt}$: t. dönemde p. fabrikada üretilen j. ürün miktarı

$Qispt_{ispt}$: t. dönemde s. tedarikçiden p. fabrikaya taşınan i. bileşen miktarı

$Qjpwt_{jpwt}$: t. dönemde p. fabrikadan w. depoya taşınan j. ürün miktarı

$Qjwdt_{jwdt}$: t. dönemde w. depodan d. dağıtım merkezine taşınan j. ürün miktarı

$Qjdct_{jdct}$: t. dönemde d. dağıtım merkezinden c. müşteri bölgesine taşınan j. ürün miktarı

$Qjcrt_{jcrt}$: t. dönemde c. müşteri bölgesinden r. geri dönüşüm merkezine taşınan j. ürün miktarı

$Qirpt_{irpt}$: t. dönemde r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya taşınan i. bileşen miktarı

$Qirkt_{irkt}$: t. dönemde r. geri dönüşüm merkezinden k. imha merkezine taşınan i. bileşen miktarı

Modelin Parametreleri

Tesis Kullanım Maliyetleri

$SCjp_{jp}$: j. ürün için p. fabrikanın kullanım maliyeti

$SCjw_{jw}$: j. ürün için w. deponun kullanım maliyeti

$SCjd_{jd}$: j. ürün için d. dağıtım merkezinin kullanım maliyeti

$SCjr_{jr}$: j. ürün için r. geri dönüşüm merkezinin kullanım maliyeti

Üretim, Geri Dönüşüm ve İmha Maliyetleri

$PCjpt_{jpt}$: t. dönemdeki j. ürünün p. fabrikadaki birim üretim maliyeti

$RCjr_{jr}$: j. ürün için r. geri dönüşüm merkezindeki birim geri dönüşüm maliyeti

$DCik_{ik}$: i. bileşen için k. imha merkezindeki birim imha maliyeti

Taşıma Maliyetleri

$TCisp_{isp}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

$TCjpw_{jpw}$: p. fabrikadan w. depoya taşınan j. ürün için birim taşıma maliyeti

$TCjwd_{jwd}$: w. depodan d. dağıtım merkezine taşınan j. ürün için birim taşıma maliyeti

$TCjdc_{jdc}$: d. dağıtım merkezinden c. müşteri bölgesine taşınan j. ürün için birim taşıma maliyeti

$TCjcr_{jcr}$: c. müşteri bölgesinden r. geri dönüşüm merkezine taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

$TCirp_{irp}$: r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

$TCirk_{irk}$: r. geri dönüşüm merkezinden k. imha merkezine taşınan i. bileşen için birim taşıma maliyeti

Kapasite Parametreleri

$Capjpt_{jpt}$: t. dönemde p. fabrikanın j. ürün için üretim kapasitesi

$Capjwt_{jwt}$: t. dönemde w. deponun j. ürün için kapasitesi

$Capjdt_{jdt}$: t. dönemde d. dağıtım merkezinin j. ürün için kapasitesi

$Capjrt_{jrt}$: t. dönemde r. geri dönüşüm merkezinin j. ürün için kapasitesi

$Capikt_{ikt}$: t. dönemde k. imha merkezinin i. bileşen için kapasitesi

Karbon Salınım Miktarları

$CQjp_{jp}$: p. fabrikadaki j. ürünün birim üretimi için karbon salınım miktarı

$CQjw_{jw}$: w. depodaki j. ürün için birim karbon salınım miktarı

$CQjd_{jd}$: d. dağıtım merkezindeki j. ürün için birim karbon salınım miktarı

$CQir_{ir}$: r. geri dönüşüm merkezindeki i. bileşen için birim karbon salınım miktarı

$CQik_{ik}$: k. imha merkezindeki i. bileşen için birim karbon salınım miktarı

$TCQisp_{isp}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya taşınan i. bileşeni taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQjpw_{jpw}$: p. fabrikadan w. depoya taşınan j. ürünü taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQjwd_{jwd}$: w. depodan d. dağıtım merkezine taşınan j. ürünü taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQjdc_{jdc}$: d. dağıtım merkezinden c. müşteri bölgesine taşınan j. ürünü taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQjcr_{jcr}$: c. müşteri bölgesinden r. geri dönüşüm merkezine taşınan j. ürünü taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQirp_{irp}$: r. geri dönüşüm merkezinden p. fabrikaya taşınan i. bileşeni taşımanın birim karbon salınım miktarı

$TCQirk_{irk}$: r. geri dönüşüm merkezinden k. imha merkezine taşınan i. bileşeni taşımanın birim karbon salınım miktarı

Önem Parametreleri

$ratingP_p(\%)$: p. fabrikanın bulunduğu bölgeye ait önem değeri

$ratingW_w(\%)$: w. deponun bulunduğu bölgeye ait önem değeri

$ratingD_d(\%)$: d. dağıtım merkezinin bulunduğu bölgeye ait önem değeri

$ratingR_r(\%)$: r. geri dönüşüm merkezinin bulunduğu bölgeye ait önem değeri

Diğer Parametreler

$Djct_{jct}$: t. dönemde c. müşteri bölgesinin j. ürün için talep miktarı

cij_{ij} : j. ürünün i. bileşeninin oran katsayısı

LBi : tek seferde taşınabilecek bileşen miktarının alt sınırı

LBj : tek seferde taşınabilecek ürün miktarının alt sınırı

$MXis_{is}$: s. tedarikçiden satın alınabilecek maksimum miktar

$PCisp_{isp}$: s. tedarikçiden p. fabrikaya i. bileşenin birim satın alma maliyeti

$StCjwt_{jwt}$: t. dönemde w. depodaki j. ürünün birim stok maliyeti

η_j : müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine giden j. ürünün miktar yüzdesi

λ_i : geri dönüşüm merkezlerinde ayrıştırma sonucu geri kazanılabilen i. bileşenin miktar yüzdesi

Kısıtlar

Talep Kısıtı

$$Djct_{jct} = \sum_{d}^{D} Qjdct_{jdct} \qquad \forall j,\ \forall c,\ \forall t \tag{5.1}$$

Denge Kısıtları

$$\sum_{s}^{S} Qispt_{ispt} + \sum_{r}^{R} Qirpt_{irpt} = \sum_{j}^{J} cij_{ij}.Qjpt_{jpt} \qquad \forall i,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.2}$$

$$Qjpt_{jpt} = \sum_{w}^{W} Qjpwt_{jpwt} \qquad \forall j,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.3}$$

$$\sum_{w}^{W} Qjwdt_{jwdt} = \sum_{c}^{C} Qjdct_{jdct} \qquad \forall j,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.4}$$

$$\sum_{j}^{J} (\sum_{c}^{C} Qjcrt_{jcrt}).cij_{ij} = \sum_{p}^{P} Qirpt_{irpt} + \sum_{k}^{K} Qirkt_{irkt} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.5}$$

$$\sum_{r}^{R} Qjcrt_{jcrt} = \eta_j.\sum_{d}^{D} Qjdct_{jdct} \qquad \forall j,\ \forall c,\ \forall t \tag{5.6}$$

$$\sum_{p}^{P} Qirpt_{irpt} = \lambda_i.\sum_{j}^{J} (\sum_{c}^{C} Qjcrt_{jcrt}).cij_{ij} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.7}$$

$$\sum_{k}^{K} Qirkt_{irkt} = (1-\lambda_i).\sum_{j}^{J} (\sum_{c}^{C} Qjcrt_{jcrt}).cij_{ij} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.8}$$

Stok Seviyesi Kısıtı

$$\sum_{p}^{P} Qjpwt_{jpwt} + LSjwt_{jw,t-1} = \sum_{d}^{D} Qjwdt_{jwdt} + LSjwt_{jwt} \qquad \forall j,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.9}$$

Kapasite Kısıtları

$$\sum_{w}^{W} Qjpwt_{jpwt} \le Capjpt_{jpt}.Yjpt_{jpt} \qquad \forall j,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.10}$$

$$\sum_{p}^{P} Qjpwt_{jpwt} \le Capjwt_{jwt}.Yjwt_{jwt} \qquad \forall j,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.11}$$

$$\sum_{d}^{D} Qjwdt_{jwdt} \le Capjwt_{jwt}.Yjwt_{jwt} \qquad \forall j,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.12}$$

$$\sum_{w}^{W} Qjwdt_{jwdt} \le Capjdt_{jdt}.Yjdt_{jdt} \qquad \forall j,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.13}$$

$$\sum_{c}^{C} Qjdct_{jdct} \le Capjdt_{jdt}.Yjdt_{jdt} \qquad \forall j,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.14}$$

$$\sum_{c}^{C} Qjcrt_{jcrt} \le Capjrt_{jrt}.Yjrt_{jrt} \qquad \forall j,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.15}$$

$$\sum_{p}^{P} Qispt_{ispt} \le MXis_{is} \qquad \forall i,\ \forall s,\ \forall t \tag{5.16}$$

$$\sum_{r}^{R} Qirkt_{irkt} \le Capikt_{ikt} \qquad \forall i,\ \forall k,\ \forall t \tag{5.17}$$

$$Qispt_{ispt} \le MXis_{is}.Xispt_{ispt} \qquad \forall i,\ \forall j,\ \forall s,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.18}$$

$$Qjpwt_{jpwt} \le Capjpt_{jpt}.Xjpwt_{jpwt} \qquad \forall j,\ \forall p,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.19}$$

$$Qjwdt_{jwdt} \le Capjwt_{jwt}.Xjwdt_{jwdt} \qquad \forall j,\ \forall w,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.20}$$

$$Qjdct_{jdct} \le Capjdt_{jdt}.Xjdct_{jdct} \qquad \forall j,\ \forall d,\ \forall c,\ \forall t \tag{5.21}$$

$$Qjcrt_{jcrt} \le Capjrt_{jrt}.Xjcrt_{jcrt} \qquad \forall j,\ \forall c,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.22}$$

$$Qirpt_{irpt} \le Capjrt_{jrt}.Xirpt_{irpt} \qquad \forall i,\ \forall j,\ \forall r,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.23}$$

$$Qirkt_{irkt} \le Capjkt_{jkt}.Xirkt_{irkt} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall k,\ \forall t \tag{5.24}$$

Mantık Kısıtları

$$Qispt_{ispt} \ge LBi.Xispt_{ispt} \qquad \forall i,\ \forall s,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.25}$$

$$Qjpwt_{jpwt} \ge LBj.Xjpwt_{jpwt} \qquad \forall j,\ \forall p,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.26}$$

$$Qjwdt_{jwdt} \geq LBj.Xjwdt_{jwdt} \quad \forall j,\ \forall w,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.27}$$

$$Qjdct_{jdct} \geq LBj.Xjdct_{jdct} \quad \forall j,\ \forall d,\ \forall c,\ \forall t \tag{5.28}$$

$$Qjcrt_{jcrt} \geq LBj.Xjcrt_{jcrt} \quad \forall j,\ \forall c,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.29}$$

$$Qirpt_{irpt} \geq LBi.Xirpt_{irpt} \quad \forall i,\ \forall r,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.30}$$

$$Qirkt_{irkt} \geq LBi.Xirkt_{irkt} \quad \forall i,\ \forall r,\ \forall k,\ \forall t \tag{5.31}$$

$$\sum_{p}^{P} Yjpt_{jpt} \geq 1 \quad \forall j,\ \forall t \tag{5.32}$$

$$\sum_{w}^{W} Yjwt_{jwt} \geq 1 \quad \forall j,\ \forall t \tag{5.33}$$

$$\sum_{d}^{D} Yjdt_{jdt} \geq 1 \quad \forall j,\ \forall t \tag{5.34}$$

$$\sum_{r}^{R} Yjrt_{jrt} \geq 1 \quad \forall j,\ \forall t \tag{5.35}$$

$$Xispt_{ispt} \leq \sum_{j}^{J} Yjpt_{jpt} \quad \forall i,\ \forall s,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.36}$$

$$Xjpwt_{jpwt} \leq Yjpt_{jpt} \quad \forall j,\ \forall p,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.37}$$

$$Xjpwt_{jpwt} \leq Yjwt_{jwt} \quad \forall j,\ \forall p,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.38}$$

$$Xjwdt_{jwdt} \leq Yjwt_{jwt} \quad \forall j,\ \forall w,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.39}$$

$$Xjwdt_{jwdt} \leq Yjdt_{jdt} \quad \forall j,\ \forall w,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.40}$$

$$Xjdct_{jdct} \leq Yjdt_{jdt} \quad \forall j,\ \forall d,\ \forall c,\ \forall t \tag{5.41}$$

$$Xjcrt_{jcrt} \leq Yjrt_{jrt} \quad \forall j,\ \forall c,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.42}$$

$$Xirpt_{irpt} \leq \sum_{j}^{J} Yjrt_{jrt} \quad \forall i,\ \forall r,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.43}$$

$$Xirpt_{irpt} \leq \sum_{j}^{J} Yjpt_{jpt} \quad \forall i,\ \forall r,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.44}$$

$$\sum_{s}^{S}\sum_{i}^{I} Xispt_{ispt} \geq Yjpt_{jpt} \quad \forall i,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.45}$$

$$\sum_{w}^{W} Xjpwt_{jpwt} \geq Yjpt_{jpt} \quad \forall i,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.46}$$

$$\sum_{p}^{P} Xjpwt_{jpwt} \geq Yjwt_{jwt} \quad \forall i,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.47}$$

$$\sum_{d}^{D} Xjwdt_{jwdt} \geq Yjwt_{jwt} \qquad \forall i,\ \forall w,\ \forall t \tag{5.48}$$

$$\sum_{w}^{W} Xjwdt_{jwdt} \geq Yjdt_{jdt} \qquad \forall i,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.49}$$

$$\sum_{c}^{C} Xjdct_{jdct} \geq Yjdt_{jdt} \qquad \forall i,\ \forall d,\ \forall t \tag{5.50}$$

$$\sum_{c}^{C} Xjcrt_{jcrt} \geq Yjrt_{jrt} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.51}$$

$$\sum_{p}^{P}\sum_{i}^{I} Xirpt_{irpt} \geq Yjrt_{jpt} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \tag{5.52}$$

$$\sum_{r}^{R}\sum_{i}^{I} Xirpt_{irpt} \geq Yjpt_{jpt} \qquad \forall i,\ \forall p,\ \forall t \tag{5.53}$$

Burada (5.1) müşteri taleplerinin karşılanmasını sağlayan kısıttır. (5.2) kısıtı ürün bileşen dengesini sağlar. (5.3) fabrikalardaki üretim miktarının depolara giden miktarlara eşit olmasını sağlayan ve böylece fabrikalardaki ürün stoğunu engelleyen kısıttır. (5.4) ve (5.5) dağıtım merkezleri ve geri dönüşüm merkezleri için denge kısıtları iken (5.6) ve (5.7) geri dönüşüm işlemi için ve (5.8) imha işlemi için dengeyi sağlayan kısıtlardır. (5.9) kısıtı dönemsel olarak tutulan stoğun bir sonraki dönemde kullanımını sağlayarak depolardaki ürün stoğunun kontrolünü yapar. (5.10) fabrikalar için üretim kısıtı iken (5.11)-(5.15) depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezleri için giren ve çıkan ürünler için kapasite; (5.16) tedarikçilerden yapılan satın almalar için üst sınır; (5.17) imha merkezi için imha kısıtıdır. (5.18) tedarikçi ve fabrika arasında bağlantı varsa taşıma miktarının tedarikçiden satın alınabilecek maksimum miktarın aşılmamasını, bağlantı yoksa taşıma yapılmamasını sağlarken (5.19)-(5.24) kısıtları tesisler ve müşteri bölgeleri arasında bağlantı yoksa taşıma yapmamasını, bağlantı varsa yapılacak taşımanın tesislerin kapasitelerini aşmamasını sağlar. (5.25)-(5.31) tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan depolara, depolardan dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine, müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine, geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara ve imha merkezine yapılacak olası taşımaların belirli bir değerin altına düşmemesini garanti eder. (5.32)-(5.35) kısıtları; fabrika, depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezlerinden en az birer tane kullanılmasını sağlar. (5.36)-(5.44) ile herhangi bir fabrika, depo, dağıtım merkezi

ya da geri dönüşüm merkezi kullanılmadığında o tesise herhangi bir bağlantı (yol) kurulmaz. (5.45)-(5.53) nolu kısıtlar herhangi bir fabrika, depo, dağıtım merkezi ya da geri dönüşüm merkezinin kullanım kararı alındığında en az bir bağlantı kurulmasını sağlar.

Değişken tipi kısıtları

Değişken tipi kısıtlar $\forall i, j, s, p, w, d, c, r, k, t$ için tanımlanmış olup (5.54), (5.55) ve (5.56) ile gösterilmiştir.

$$Yjpt_{jpt},\ Yjwt_{jwt},\ Yjdt_{jdt},\ Yjrt_{jrt} \in [0,1] \tag{5.54}$$

$$Xispt_{ispt},\ Xjpwt_{jpwt},\ Xjwdt_{jwdt},\ Xjdct_{jdct},\ Xjcrt_{jcrt},\ Xirpt_{irpt},\ Xirkt_{irkt} \in [0,1] \tag{5.55}$$

$$LSjwt_{jwt},\ Qjpt_{jpt}, Qispt_{ispt}, Qjpwt_{jpwt}, Qjwdt_{jwdt}, Qjdct_{jdct}, Qjcrt_{jcrt}, Qirpt_{irpt}, Qirkt_{irkt} \geq 0 \tag{5.56}$$

Amaç Fonksiyonları

1. Amaç Fonksiyonu

Amaç; tedarikçilerden bileşen satın alma, üretim, stoklama, geri dönüştürme, imha, taşıma ve tesis kullanım maliyetlerini göz önünde bulundurarak toplam maliyeti minimize etmektir. Buna göre, 1. amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
Z_1 = &\sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} TCisp_{isp} \sum_{t}^{T} Qispt_{ispt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{w}^{W} TCjpw_{jpw} \sum_{t}^{T} Qjpwt_{jpwt} + \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{d}^{D} TCjwd_{jwd} \sum_{t}^{T} Qjwdt_{jwdt} \\
&+ \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D}\sum_{c}^{C} TCjdc_{jdc} \sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct} + \sum_{j}^{J}\sum_{c}^{C}\sum_{r}^{R} TCjcr_{jcr} \sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} + \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{p}^{P} TCirp_{irp} \sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt} \\
&+ \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{k}^{K} TCirk_{irk} \sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{t}^{T} PCjpt_{jpt}.Qjpt_{jpt} + \sum_{j}^{J}\sum_{r}^{R} RCjr_{jr} \sum_{c}^{C}\sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} \\
&+ \sum_{i}^{I}\sum_{k}^{K} DCik_{ik} \sum_{r}^{R}\sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P} SCjp_{jp} \sum_{t}^{T} Yjpt_{jpt} + \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W} SCjw_{jw} \sum_{t}^{T} Yjwt_{jwt} \\
&+ \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D} SCjd_{jd} \sum_{t}^{T} Yjdt_{jdt} + \sum_{j}^{J}\sum_{r}^{R} SCjr_{jr} \sum_{t}^{T} Yjrt_{jrt} + \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{t}^{T} LSjwt_{jwt}.StCjwt_{jwt} \\
&+ \sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} PCisp_{isp} \sum_{t}^{T} Qispt_{ispt}
\end{aligned} \tag{5.57}$$

şeklinde olup içeriği aşağıdaki gibidir.

i. Taşıma Maliyetleri

$$\sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} TCisp_{isp}\sum_{t}^{T} Qispt_{ispt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{w}^{W} TCjpw_{jpw}\sum_{t}^{T} Qjpwt_{jpwt}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{d}^{D} TCjwd_{jwd}\sum_{t}^{T} Qjwdt_{jwdt} + \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D}\sum_{c}^{C} TCjdc_{jdc}\sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{c}^{C}\sum_{r}^{R} TCjcr_{jcr}\sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} + \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{p}^{P} TCirp_{irp}\sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt}$$
$$+\sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{k}^{K} TCirk_{irk}\sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt}$$

ii. Üretim Maliyeti

$$\sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{t}^{T} PCjpt_{jpt}.Qjpt_{jpt}$$

iii. Geri Dönüştürme Maliyeti

$$\sum_{j}^{J}\sum_{r}^{R} RCjr_{jr}\sum_{c}^{C}\sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt}$$

iv. İmha Maliyeti

$$\sum_{i}^{I}\sum_{k}^{K} DCik_{ik}\sum_{r}^{R}\sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt}$$

v. Fabrika, Depo, Dağıtım Merkezi ve Geri Dönüşüm Merkezi Kullanım Maliyetleri

$$\sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P} SCjp_{jp}\sum_{t}^{T} Yjpt_{jpt} + \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W} SCjw_{jw}\sum_{t}^{T} Yjwt_{jwt} + \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D} SCjd_{jd}\sum_{t}^{T} Yjdt_{jdt}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{r}^{R} SCjr_{jr}\sum_{t}^{T} Yjrt_{jrt}$$

vi. Stoklama Maliyeti

$$\sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{t}^{T} LSjwt_{jwt}.StCjwt_{jwt}$$

vii. Tedarikçiden Bileşen Satın Alma Maliyeti

$$\sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} PCisp_{isp}\sum_{t}^{T} Qispt_{ispt}$$

2. Amaç Fonksiyonu

Amaç; aday tesislerin tercih edilme seviyelerini gösteren önem değerlerini maksimize edecek şekilde karar vermektir. Buna göre, 2. amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$Z_2 = \sum_{p}^{P} ratingP_p \sum_{j}^{J}\sum_{t}^{T} Qjpt_{jpt} + \sum_{w}^{W} ratingW_w \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{t}^{T} Qjpwt_{jpwt}$$
$$+\sum_{d}^{D} ratingD_d \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{t}^{T} Qjwdt_{jwdt} + \sum_{r}^{R} ratingR_r \sum_{j}^{J}\sum_{c}^{C}\sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} \qquad (5.58)$$

3. Amaç Fonksiyonu

Amaç; taşıma ve tesislerdeki işlemler sırasında ortaya çıkan CO_2 salınımlarını dikkate alarak karbon ayak izinin en aza indirgenmesidir. Buna göre, 3. amaç fonksiyonu

$$Z_3 = \sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} TCQisp_{isp} \sum_{t}^{T} Qispt_{ispt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{w}^{W} TCQjpw_{jpw} \sum_{t}^{T} Qjpwt_{jpwt}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{d}^{D} TCQjwd_{jwd} \sum_{t}^{T} Qjwdt_{jwdt} + \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D}\sum_{c}^{C} TCQjdc_{jdc} \sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{c}^{C}\sum_{r}^{R} TCQjcr_{jcr} \sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} + \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{p}^{P} TCQirp_{irp} \sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt}$$
$$+\sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{k}^{K} TCQirk_{irk} \sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt} + \sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W} CQjw_{jw} \sum_{t}^{T} (LSjwt_{jw,t-1} + \sum_{p}^{P} Qjpwt_{jpwt})$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D} CQjd_{jd} \sum_{c}^{C}\sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct} + \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R} CQir_{ir} \sum_{p}^{P}\sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt}$$
$$+\sum_{i}^{I}\sum_{k}^{K} CQik_{ik} \sum_{r}^{R}\sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt} \qquad (5.59)$$

şeklinde olup içeriği aşağıdaki gibidir.

i. Taşımadan Dolayı Ortaya Çıkan Karbon Salınımı Miktarı

$$\sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S}\sum_{p}^{P} TCQisp_{isp} \sum_{t}^{T} Qispt_{ispt} + \sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P}\sum_{w}^{W} TCQjpw_{jpw} \sum_{t}^{T} Qjpwt_{jpwt}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W}\sum_{d}^{D} TCQjwd_{jwd} \sum_{t}^{T} Qjwdt_{jwdt} + \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D}\sum_{c}^{C} TCQjdc_{jdc} \sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct}$$
$$+\sum_{j}^{J}\sum_{c}^{C}\sum_{r}^{R} TCQjcr_{jcr} \sum_{t}^{T} Qjcrt_{jcrt} + \sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{p}^{P} TCQirp_{irp} \sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt}$$
$$+\sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R}\sum_{k}^{K} TCQirk_{irk} \sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt}$$

ii. Üretimden Dolayı Ortaya Çıkan Karbon Salınımı Miktarı

$$\sum_{j}^{J}\sum_{p}^{P} CQjp_{jp} \sum_{t}^{T} Qjpt_{jpt}$$

iii. Depo, Dağıtım Merkezi, Geri Dönüşüm Merkezi ve İmha Merkezindeki İşlemlerden Dolayı Ortaya Çıkan Karbon Salınımı Miktarı

$$\sum_{j}^{J}\sum_{w}^{W} CQjw_{jw} \sum_{t}^{T} (LSjwt_{jw,t-1} + \sum_{p}^{P} Qjpwt_{jpwt}) + \sum_{j}^{J}\sum_{d}^{D} CQjd_{jd} \sum_{c}^{C}\sum_{t}^{T} Qjdct_{jdct}$$
$$+\sum_{i}^{I}\sum_{r}^{R} CQir_{ir} \sum_{p}^{P}\sum_{t}^{T} Qirpt_{irpt} + \sum_{i}^{I}\sum_{k}^{K} CQik_{ik} \sum_{r}^{R}\sum_{t}^{T} Qirkt_{irkt}$$

Böylece ÇAKDTZ modeli (5.1)-(5.59) ile verilebilir. (5.1)-(5.56) kısıtlarının oluşturduğu uygun çözümler bölgesi kısaca X_T ile gösterilecektir.

5.2 Kabuller

Çalışmada oluşturulan matematiksel modelin dayandığı kabuller aşağıdaki gibidir:

1. Tüm amaç ve kısıtlar doğrusaldır.
2. Tedarikçiler, müşteri bölgeleri ve imha merkezinin konumları sabittir ve önceden bilinmektedir.
3. Dört tip olarak üretilen ürünün beş bileşenden oluştuğu kabul edilmiştir.
4. Tesisler arası mesafeler planlama dönemleri boyunca belirlidir ve sabittir.
5. Mesafeler baz alınarak hesaplanmış olan birim taşıma maliyetleri ve bu taşımalardan dolayı ortaya çıkan birim CO_2 salınım miktarları belirlidir.
6. Miktar indirimleri dikkate alınmamıştır.
7. TZY'de tüm şebeke boyunca stoklar yönetilmektedir ve depoların stoklama koşulları ürün tipleri için elverişlidir.
8. Her bir fabrika, depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezinin önceden belirlenmiş tercih edilme seviyesini gösteren önem değerleri vardır.

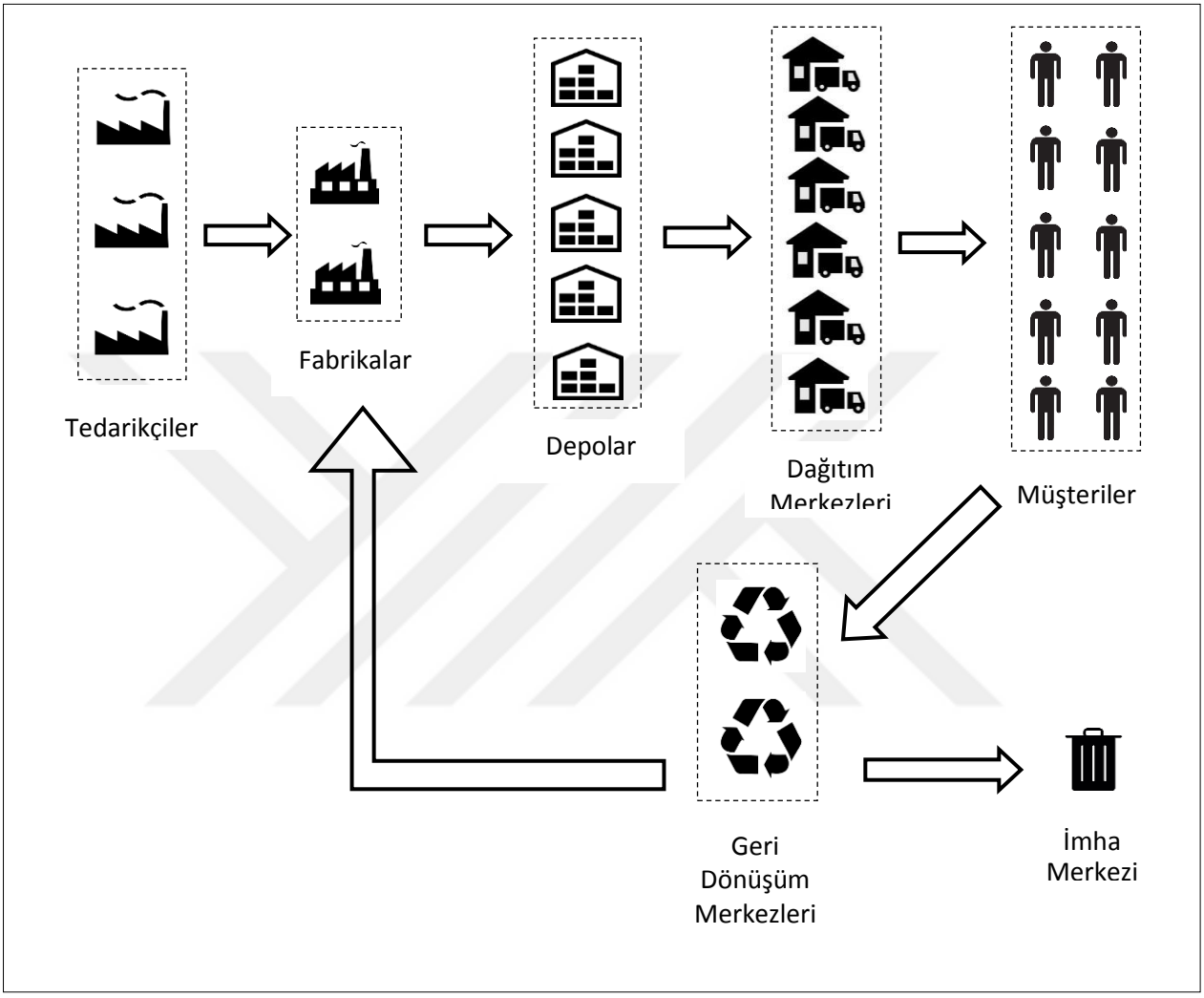
9. Her bir fabrika, depo, dağıtım merkezi ve geri dönüşüm merkezinin kullanım maliyetleri belirlidir.
10. Tedarikçilerden bileşen satın alma, üretim, stoklama, geri dönüşüm ve imha maliyetleri belirlidir.
11. Kararlar dönemsel olarak alınmış olup her bir dönemin bir önceki dönemle bağlantısı bulunmaktadır.
12. Her bir tesisin kapasitesi ve tesislerdeki işlemlerin birim CO_2 salınım miktarları belirlidir.
13. Geri kazanım için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine gidebilecek ürünlerin miktar yüzdeleri belirlidir.
14. Geri dönüşüm merkezlerinde ayrıştırma sonucu geri kazanılabilen bileşenlerin miktar yüzdeleri belirlidir.

5.3 Uygulama

Süt ürünleri üretip pazarlayan bir X firması, tüm müşteri taleplerini karşılamaya ve müşteri memnuniyetine odaklanarak tedarik zinciri yönetimini en etkin şekilde uygulayacakları planı yapmayı hedeflemektedir. Üretim ve lojistik maliyetlerin yüksek olduğu dönemlerdeki ürünler için kritik unsur olan stok yönetimini de gerçekleştirerek şebekeyi mümkün olduğunca etkin şekilde yönetmiş olacaklardır. Maliyeti en aza indirgemenin yanında tesislerdeki işlemler ve taşımada oluşan CO_2 salınımını dikkate alarak karbon ayak izinin de en aza indirgenmesiyle tedarik zinciri yönetimine çevreci bir bakış açışı kazandırılacaktır. Bunun yanında kullanılıp kullanılmama kararı verilecek olan her bir tesisin bağlantılı olduğu tesislere veya pazara yani müşteri bölgelerine olan ulaşımına, üretim, pazarlama ve geri kazanım faaliyetlerindeki üstünlüğüne, verilen teşviğe, işgücü arzı, işçi maliyeti, altyapı hizmetleri gibi faktörlere göre önceden saptanmış olan önem yüzdeleri, mümkün olan en üst düzeye çıkarılmak istenmektedir.

Ele alınacak ÇAKDTZ şebekesinde üç tedarikçinin, iki aday fabrikanın, beş aday deponun, altı aday dağıtım merkezinin, on müşteri bölgesinin, iki aday geri dönüşüm

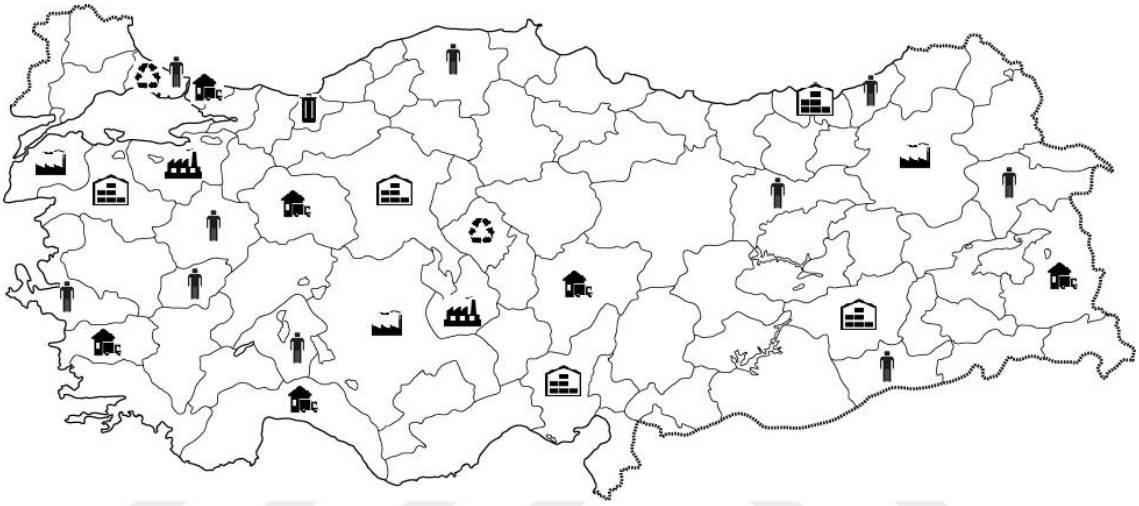
merkezinin, bir imha merkezinin yer aldığı ve dört ürün tipinin beş bileşenden oluşabileceği varsayılmıştır. Şirketin tedarik zinciri ağ yapısı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 X şirketinin genel tedarik zinciri ağı

Buna göre sayısal örneğe ait indisler $i=\overline{1,5}$; $j=\overline{1,4}$; $s=1,2,3$; $p=1,2$; $w=\overline{1,5}$; $d=\overline{1,6}$; $c=\overline{1,10}$; $r=1,2$; $k=1$; $t=1,2,3$ olup indis sırasına göre tedarikçilerin Konya, Çanakkale ve Erzurum'da; fabrikaların Aksaray ve Bursa'da; depoların Adana, Ankara, Balıkesir, Diyarbakır ve Trabzon'da; dağıtım merkezlerinin İstanbul (Anadolu), Eskişehir, Antalya, Kayseri, Aydın ve Van'da; müşterilerin İstanbul (Avrupa), İzmir, Uşak, Kütahya, Isparta, Kastamonu, Erzincan, Rize, Mardin ve Ağrı'da; geri dönüşüm

merkezlerinin Kırşehir ve İstanbul (Avrupa)'da, imha merkezinin ise Düzce'de olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım doğrultusunda temsili bir haritada (Şekil 5.2'de) gösterilen firmanın TZ ağındaki olası fabrikalar, aday depo konumları, aday dağıtım merkezi konumları, müşteri bölgeleri, aday geri dönüşüm merkezi konumları ve imha merkezi konumu modelin çözümünden elde edilen sonuçların daha rahat anlaşılmasını sağlayacaktır.



Şekil 5.2 X şirketinin tedarik zinciri ağı (aday fabrika ve tesis konumları dahil)

Probleme ait bazı parametrelerin sayısal değerleri $LBi = 200$, $LBj = 110$, $\eta_j = 0.5 \ \forall j$, $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$, $\lambda_3 = 0.7$, $\lambda_4 = 0.6$, $\lambda_5 = 0.8$, $Capikt_{ikt} = 100000000 \ \forall i,k,t$ 'dir.

Modele ait diğer veriler ise Çizelge 5.3.1 – Çizelge 5.3.50 ile verilmiştir.

Çizelge 5.3.1 Tedarikçilerden satın alınabilecek maksimum bileşen miktarı ($MXis_{is}$)

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Tedarikçi 1	45000	1500	275000	380000	210000
Tedarikçi 2	43000	60000	550000	120000	950000
Tedarikçi 3	9900000	8800000	8100000	4300000	5400000

Çizelge 5.3.2 Ürünlerin bileşen oran katsayıları (cij_{ij})

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Ürün tipi 1	2	0	2	0	1
Ürün tipi 2	1	1	0	1	0
Ürün tipi 3	1	1	0	3	0
Ürün tipi 4	1	1	0	0	2

Çizelge 5.3.3 Fabrikaların üretim kapasiteleri ($Capjpt_{jpt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Fabrika 1	Ürün tipi 1	3990000	191000	344000
	Ürün tipi 2	1500000	450000	260000
	Ürün tipi 3	1860000	369000	242500
	Ürün tipi 4	7160000	567000	270000
Fabrika 2	Ürün tipi 1	1580000	266000	960000
	Ürün tipi 2	750000	124000	790000
	Ürün tipi 3	438000	840000	125000
	Ürün tipi 4	493000	890000	625000

Çizelge 5.3.4 Depoların kapasiteleri ($Capjwt_{jwt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Depo 1	Ürün tipi 1	85000	26000	93000
	Ürün tipi 2	10000	72000	60000
	Ürün tipi 3	50000	12500	85000
	Ürün tipi 4	18600	92000	67000

Çizelge 5.3.5 Depoların kapasiteleri ($Capjwt_{jwt}$) (devamı)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Depo 2	Ürün tipi 1	15000	58000	64000
	Ürün tipi 2	55000	81000	85000
	Ürün tipi 3	38000	38000	63000
	Ürün tipi 4	47000	39300	37000
Depo 3	Ürün tipi 1	91000	91000	35600
	Ürün tipi 2	46000	15000	95200
	Ürün tipi 3	69000	34000	77000
	Ürün tipi 4	53900	67000	55000
Depo 4	Ürün tipi 1	66000	43000	26400
	Ürün tipi 2	24000	54000	38000
	Ürün tipi 3	44000	29000	95000
	Ürün tipi 4	79000	41000	39000
Depo 5	Ürün tipi 1	35400	39000	79000
	Ürün tipi 2	76000	58200	45000
	Ürün tipi 3	25000	75600	38500
	Ürün tipi 4	77000	39000	81000

Çizelge 5.3.6 Dağıtım merkezlerinin kapasiteleri ($Capjdt_{jdt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Dağıtım Merkezi 1	Ürün tipi 1	25000	87000	66000
	Ürün tipi 2	60000	91000	99000
	Ürün tipi 3	70000	38500	41000
	Ürün tipi 4	88000	59500	53000
Dağıtım Merkezi 2	Ürün tipi 1	15800	78000	90400
	Ürün tipi 2	35000	95000	30000
	Ürün tipi 3	68000	63000	96000
	Ürün tipi 4	71500	86000	33000
Dağıtım Merkezi 3	Ürün tipi 1	19000	93000	78000
	Ürün tipi 2	49000	49000	55000
	Ürün tipi 3	69000	27000	85000
	Ürün tipi 4	57200	95100	71000
Dağıtım Merkezi 4	Ürün tipi 1	65000	99000	96000
	Ürün tipi 2	42000	58000	52000
	Ürün tipi 3	74000	75000	29000
	Ürün tipi 4	73000	26800	64000
Dağıtım Merkezi 5	Ürün tipi 1	35000	39000	72000
	Ürün tipi 2	68000	68000	38000
	Ürün tipi 3	75000	88000	84000
	Ürün tipi 4	81000	84700	95000

Çizelge 5.3.7 Dağıtım merkezlerinin kapasiteleri ($Capjdt_{jdt}$) (devamı)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Dağıtım Merkezi 6	Ürün tipi 1	96000	45000	19000
	Ürün tipi 2	92000	95000	68000
	Ürün tipi 3	85500	73000	99000
	Ürün tipi 4	32000	61800	37300

Çizelge 5.3.8 Geri dönüşüm merkezlerinin kapasiteleri ($Capjrt_{jrt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Geri Dönüşüm Merkezi 1	Ürün tipi 1	85900	91000	44000
	Ürün tipi 2	75000	85000	62000
	Ürün tipi 3	86000	69000	42500
	Ürün tipi 4	29000	37800	64000
Geri Dönüşüm Merkezi 2	Ürün tipi 1	87000	66000	76000
	Ürün tipi 2	45000	24000	79000
	Ürün tipi 3	38000	74000	28000
	Ürün tipi 4	73500	91000	67000

Çizelge 5.3.9 Müşteri bölgelerinin talepleri ($Djct_{jct}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Müşteri 1	Ürün tipi 1	1910	2000	4830
	Ürün tipi 2	1950	2010	3140
	Ürün tipi 3	1990	2100	2060
	Ürün tipi 4	2600	2150	2400
Müşteri 2	Ürün tipi 1	2770	2600	3000
	Ürün tipi 2	2820	2750	2500
	Ürün tipi 3	2850	2810	2790
	Ürün tipi 4	2900	2950	2760
Müşteri 3	Ürün tipi 1	4650	4500	4920
	Ürün tipi 2	4700	4550	4120
	Ürün tipi 3	4750	4650	4700
	Ürün tipi 4	4750	4750	4800
Müşteri 4	Ürün tipi 1	3110	3200	2850
	Ürün tipi 2	3150	3220	3200
	Ürün tipi 3	3170	3250	3000
	Ürün tipi 4	3250	3300	3400

Çizelge 5.3.10 Müşteri bölgelerinin talepleri ($Djct_{jct}$) (devamı).

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Müşteri 5	Ürün tipi 1	5720	5110	4800
	Ürün tipi 2	1720	1750	1800
	Ürün tipi 3	1860	1750	2100
	Ürün tipi 4	1830	1800	1500
Müşteri 6	Ürün tipi 1	2320	2400	2760
	Ürün tipi 2	2500	2450	3930
	Ürün tipi 3	2550	2500	2790
	Ürün tipi 4	2620	2520	2600
Müşteri 7	Ürün tipi 1	3800	3700	3790
	Ürün tipi 2	3850	3720	3580
	Ürün tipi 3	3870	3750	3500
	Ürün tipi 4	3900	3800	3850
Müşteri 8	Ürün tipi 1	4200	4200	4570
	Ürün tipi 2	4220	4250	4090
	Ürün tipi 3	4250	4300	4000
	Ürün tipi 4	4350	4370	4800
Müşteri 9	Ürün tipi 1	7980	6900	7470
	Ürün tipi 2	3980	3700	3790
	Ürün tipi 3	1990	2090	1800
	Ürün tipi 4	1980	1960	2500
Müşteri 10	Ürün tipi 1	2150	2290	3500
	Ürün tipi 2	2250	2220	2500
	Ürün tipi 3	2300	2350	2500
	Ürün tipi 4	2350	2330	2250

Çizelge 5.3.11 Fabrikaların kullanım maliyetleri ($SCjp_{jp}$)

	Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Fabrika 1	75000	95000	81300	110000
Fabrika 2	75350	93500	81000	110000

Çizelge 5.3.12 Depoların kullanım maliyetleri ($SCjw_{jw}$)

	Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Depo 1	55700	97300	63200	84800
Depo 2	54900	97000	62150	85000
Depo 3	55000	96900	61900	83950
Depo 4	53950	98500	69000	84800
Depo 5	52650	98000	63750	84800

Çizelge 5.3.13 Dağıtım merkezlerinin kullanım maliyetleri ($SCjd_{jd}$).

	Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 1	110750	95800	62950	77500
Dağıtım Merkezi 2	112000	93550	60750	75650
Dağıtım Merkezi 3	111800	97000	64250	78000
Dağıtım Merkezi 4	110950	93500	61900	78200
Dağıtım Merkezi 5	109850	96450	63750	73600
Dağıtım Merkezi 6	113000	93000	64000	71300

Çizelge 5.3.14 Geri dönüşüm merkezlerinin kullanım maliyetleri ($SCjr_{jr}$)

	Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Geri Dönüşüm Merkezi 1	82550	75600	55900	60000
Geri Dönüşüm Merkezi 2	83600	77750	56500	60750

Çizelge 5.3.15 Fabrikaların birim üretim maliyetleri ($PCjpt_{jpt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Fabrika 1	Ürün tipi 1	2	8.2	1.2
	Ürün tipi 2	3.8	1.5	7.2
	Ürün tipi 3	3	9	2.4
	Ürün tipi 4	2.8	2.95	5
Fabrika 2	Ürün tipi 1	2.4	7.9	1.15
	Ürün tipi 2	3	1.6	7.9
	Ürün tipi 3	3.2	9.3	2
	Ürün tipi 4	1.95	2	6.45

Çizelge 5.3.16 Geri dönüşüm merkezlerinin birim geri dönüşüm maliyetleri ($RCjr_{jr}$)

	Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Geri Dönüşüm Merkezi 1	0.35	0.7	0.29	0.5
Geri Dönüşüm Merkezi 2	0.3	0.75	0.25	0.49

Çizelge 5.3.17 İmha merkezinin birim imha maliyeti ($DCik_{ik}$)

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
İmha Merkezi 1	0.09	0.1	0.2	0.15	0.19

Çizelge 5.3.18 Depoların birim stok maliyetleri ($StCjwt_{jwt}$)

		Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3
Depo 1	Ürün tipi 1	1.5	7.35	2
	Ürün tipi 2	3.9	3	3
	Ürün tipi 3	2	2	2
	Ürün tipi 4	6.45	0.75	2
Depo 2	Ürün tipi 1	0.975	5.85	1.5
	Ürün tipi 2	5.4	1.95	3.5
	Ürün tipi 3	2.25	2.75	2.1
	Ürün tipi 4	3.75	0.95	1.95
Depo 3	Ürün tipi 1	0.95	5.95	1.9
	Ürün tipi 2	4.25	0.45	3.9
	Ürün tipi 3	1.5	1.65	1.5
	Ürün tipi 4	6.5	0.3	1
Depo 4	Ürün tipi 1	0.45	4.75	1
	Ürün tipi 2	4.3	0.925	4.25
	Ürün tipi 3	1.85	0.9	1.95
	Ürün tipi 4	7.45	1	0.95
Depo 5	Ürün tipi 1	0.39	4.8	0.85
	Ürün tipi 2	3.95	0.375	3.2
	Ürün tipi 3	1.115	1.8	1.85
	Ürün tipi 4	5.85	0.25	1.5

Çizelge 5.3.19 Tedarikçilerden fabrikalara birim satın alma maliyetleri ($PCisp_{isp}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Tedarikçi 1	Fabrika 1	1.45	1.825	2.865	1.950	2.050
	Fabrika 2	1.35	1.35	2.395	2.135	2.235
Tedarikçi 2	Fabrika 1	1.55	1.75	2.595	2	2.035
	Fabrika 2	1.935	1.935	2.975	2.115	2.315
Tedarikçi 3	Fabrika 1	1.65	1.65	2.895	1.935	2.135
	Fabrika 2	1.675	1.675	2.715	1.755	2.715

Çizelge 5.3.20 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCisp_{isp}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Tedarikçi 1	Fabrika 1	2.5375	2.5075	2.5475	2.5175	2.5075
	Fabrika 2	9.24375	9.21375	9.25375	9.22375	9.21375
Tedarikçi 2	Fabrika 1	14.56875	14.53875	14.57875	14.54875	14.53875
	Fabrika 2	5.53125	5.50125	5.54125	5.51125	5.50125
Tedarikçi 3	Fabrika 1	13.395	13.365	13.405	13.375	13.365
	Fabrika 2	23.90625	23.87625	23.91625	23.88625	23.87625

Çizelge 5.3.21 Fabrikalardan depolara taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjpw_{jpw}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Fabrika 1	Depo 1	5.55	5.45	5.335	5.55
	Depo 2	4.5375	4.4375	4.3275	4.5375
	Depo 3	14.26875	14.16875	14.05875	14.26875
	Depo 4	14.7675	14.6675	14.5575	14.7675
	Depo 5	13.8625	13.7625	13.6525	13.8625
Fabrika 2	Depo 1	15.73125	15.63125	15.52125	15.73125
	Depo 2	7.35	7.25	7.14	7.35
	Depo 3	2.595	2.495	2.385	2.595
	Depo 4	25.275	25.175	25.065	25.275
	Depo 5	19.1125	19.0125	19.0025	19.1125

Çizelge 5.3.22 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjwd_{jwd}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Depo 1	Dağıtım Merkezi 1	17.5125	17.4125	17.30125	17.5125
	Dağıtım Merkezi 2	12.875	12.775	12.665	12.875
	Dağıtım Merkezi 3	11.2125	11.1125	11.0025	11.2125
	Dağıtım Merkezi 4	5.7395	5.6395	5.5295	5.7395
	Dağıtım Merkezi 5	15.81375	15.71375	15.60375	15.81375
	Dağıtım Merkezi 6	16.04375	15.94375	15.83375	16.04375
Depo 2	Dağıtım Merkezi 1	9.24375	9.14375	9.03375	9.24375
	Dağıtım Merkezi 2	4.15625	4.05625	4.04625	4.15625
	Dağıtım Merkezi 3	9.49375	9.39375	9.28375	9.49375
	Dağıtım Merkezi 4	5.99625	5.89625	5.78625	5.99625
	Dağıtım Merkezi 5	11.08125	10.98125	10.87125	11.08125
	Dağıtım Merkezi 6	23.385	23.285	23.175	23.385
Depo 3	Dağıtım Merkezi 1	5.6375	5.5375	5.4275	5.6375
	Dağıtım Merkezi 2	5.99925	5.89925	5.78925	5.99925
	Dağıtım Merkezi 3	9.7795	9.6795	9.5695	9.7795
	Dağıtım Merkezi 4	15.97375	15.87375	15.76375	15.97375
	Dağıtım Merkezi 5	5.7595	5.6595	5.5495	5.7595
	Dağıtım Merkezi 6	32.0625	31.9625	31.8625	32.0625
Depo 4	Dağıtım Merkezi 1	27.195	27.095	26.985	27.195
	Dağıtım Merkezi 2	23.185	23.085	23.075	23.185
	Dağıtım Merkezi 3	22.06875	21.96875	21.85875	22.06875
	Dağıtım Merkezi 4	10.45375	10.35375	10.24375	10.45375
	Dağıtım Merkezi 5	25.375	25.275	25.165	25.375
	Dağıtım Merkezi 6	6.94375	6.84375	6.73375	6.94375

Çizelge 5.3.23 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjwd_{jwd}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Depo 5	Dağıtım Merkezi 1	19.4425	19.3425	19.2325	19.4425
	Dağıtım Merkezi 2	19.0125	18.9125	18.8025	19.0125
	Dağıtım Merkezi 3	23.1	23.0	22.99	23.1
	Dağıtım Merkezi 4	10.14375	10.04375	10.03375	10.14375
	Dağıtım Merkezi 5	25.575	25.475	25.365	25.575
	Dağıtım Merkezi 6	12.29875	12.19875	12.08875	12.29875

Çizelge 5.3.24 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjdc_{jdc}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 1	Müşteri 1	0.755625	0.655625	0.545625	0.755625
	Müşteri 2	8.29775	8.19775	8.08775	8.29775
	Müşteri 3	8.24575	8.14575	8.03575	8.24575
	Müşteri 4	6.0925	5.9925	5.8825	6.0925
	Müşteri 5	10.3125	10.2125	10.1025	10.3125
	Müşteri 6	9.015	8.915	8.905	9.015
	Müşteri 7	17.695	17.595	17.485	17.695
	Müşteri 8	22.06895	21.96895	21.85895	22.06895
	Müşteri 9	27.28275	27.18275	27.07275	27.28275
	Müşteri 10	26.0625	25.9625	25.8525	26.0625
Dağıtım Merkezi 2	Müşteri 1	6.0825	5.9825	5.8725	6.0825
	Müşteri 2	7.52	7.42	7.31	7.52
	Müşteri 3	3.95725	3.85725	3.74725	3.95725
	Müşteri 4	1.39125	1.29125	1.18125	1.39125
	Müşteri 5	5.9475	5.8475	5.7375	5.9475
	Müşteri 6	8.73755	8.63755	8.52755	8.73755
	Müşteri 7	17.2875	17.1875	17.0775	17.2875
	Müşteri 8	19.4025	19.3025	19.1925	19.4025
	Müşteri 9	23.3745	23.2745	23.1645	23.3745
	Müşteri 10	26.2225	26.1225	26.0125	26.2225
Dağıtım Merkezi 3	Müşteri 1	14.18875	14.08875	13.97875	14.18875
	Müşteri 2	8.58775	8.48775	8.37775	8.58775
	Müşteri 3	5.9625	5.8625	5.7525	5.9625
	Müşteri 4	6.95375	6.85375	6.74375	6.95375
	Müşteri 5	2.295	2.195	2.085	2.295
	Müşteri 6	14.31875	14.21875	14.10875	14.31875
	Müşteri 7	18.9925	18.8925	18.7825	18.9925
	Müşteri 8	23.5745	23.4745	23.3645	23.5745
	Müşteri 9	23.1425	23.0425	22.9325	23.1425
	Müşteri 10	26.2225	26.1225	26.0125	26.2225

Çizelge 5.3.25 Dağıtım merkezlerinden müşterilere taşınan her bir ürün tipi için birim taşıma maliyetleri ($TCjdc_{jdc}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 4	Müşteri 1	14.7755	14.6755	14.5655	14.7755
	Müşteri 2	15.95125	15.85125	15.74125	15.95125
	Müşteri 3	11.4325	11.3325	11.2225	11.4325
	Müşteri 4	11.3825	11.2825	11.1725	11.3825
	Müşteri 5	10.22375	10.12375	10.01375	10.22375
	Müşteri 6	8.65725	8.55725	8.44725	8.65725
	Müşteri 7	7.5375	7.4375	7.3275	7.5375
	Müşteri 8	12.625	12.525	12.415	12.625
	Müşteri 9	12.7625	12.6625	12.5525	12.7625
	Müşteri 10	15.80125	15.70125	15.59125	15.80125
Dağıtım Merkezi 5	Müşteri 1	11.2725	11.1725	11.0625	11.2725
	Müşteri 2	3.2925	3.1925	3.0825	3.2925
	Müşteri 3	3.2375	3.1375	3.0275	3.2375
	Müşteri 4	6.0925	5.9925	5.8825	6.0925
	Müşteri 5	4.9175	4.8175	4.7075	4.9175
	Müşteri 6	14.7625	14.6625	14.5525	14.7625
	Müşteri 7	23.135	23.035	22.925	23.135
	Müşteri 8	25.905	25.805	25.695	25.905
	Müşteri 9	25.865	25.765	25.655	25.865
	Müşteri 10	28.89375	28.79375	2868375	28.89375
Dağıtım Merkezi 6	Müşteri 1	31.9705	31.8705	31.7605	31.9705
	Müşteri 2	32.0975	31.9975	31.8875	32.0975
	Müşteri 3	28.89875	28.79875	28.68875	28.89875
	Müşteri 4	28.79375	28.69375	28.58375	28.79375
	Müşteri 5	27.27875	27.17875	27.06875	27.27875
	Müşteri 6	23.3625	23.2625	23.1525	23.3625
	Müşteri 7	10.63375	10.53375	10.42375	10.63375
	Müşteri 8	12.41875	12.31875	12.20875	12.41875
	Müşteri 9	8.1175	8.0175	7.9075	8.1175
	Müşteri 10	4.03775	3.93775	3.82775	4.03775

Çizelge 5.3.26 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim taşıma maliyetleri ($TCjcr_{jcr}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Müşteri 1	Geri Dönüşüm Merkezi 1	12.25875	12.15875	12.04875	12.25875
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	1.31125	1.21125	1.10125	1.31125

Çizelge 5.3.27 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim taşıma maliyetleri ($TCjcr_{jcr}$) (devamı)

Müşteri 2	Geri Dönüşüm Merkezi 1	14.6225	14.5225	14.4125	14.6225
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	7.8975	7.7975	7.6875	7.8975
Müşteri 3	Geri Dönüşüm Merkezi 1	10.15375	10.05375	9.94375	10.15375
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	10.19375	10.09375	9.98375	10.19375
Müşteri 4	Geri Dönüşüm Merkezi 1	8.9275	8.8275	8.7175	8.9275
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	7.4375	7.3375	7.2275	7.4375
Müşteri 5	Geri Dönüşüm Merkezi 1	9.095	8.995	8.885	9.095
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	12.29375	12.19375	12.08375	12.29375
Müşteri 6	Geri Dönüşüm Merkezi 1	6.1425	6.0425	5.9325	6.1425
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	11.05125	10.95125	10.84125	11.05125
Müşteri 7	Geri Dönüşüm Merkezi 1	10.19975	10.09975	9.98975	10.19975
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	19.5375	19.4375	19.3275	19.5375
Müşteri 8	Geri Dönüşüm Merkezi 1	14.8455	14.7455	14.6355	14.8455
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	23.5145	23.4145	23.3045	23.5145
Müşteri 9	Geri Dönüşüm Merkezi 1	15.69125	15.59125	15.48125	15.69125
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	28.91375	28.81375	28.70375	28.91375
Müşteri 10	Geri Dönüşüm Merkezi 1	17.6525	17.5525	17.4425	17.6525
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	27.2355	27.1355	27.0255	27.2355

Çizelge 5.3.28 Geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCirp_{irp}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Geri dönüşüm merkezi 1	Fabrika 1	2.155	2.125	2.165	2.135	2.125
	Fabrika 2	10.3195	10.2895	10.3295	10.2995	10.2895
Geri dönüşüm merkezi 2	Fabrika 1	14.6825	14.6525	14.6925	14.6625	14.6525
	Fabrika 2	4.05575	4.02575	4.06575	4.03575	4.02575

Çizelge 5.3.29 Geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine taşınan her bir bileşen için birim taşıma maliyetleri ($TCirk_{irk}$)

	İmha Merkezi 1				
	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Geri Dönüşüm Merkezi 1	8.9275	8.0895	8.9375	8.9275	8.0895
Geri Dönüşüm Merkezi 2	5.9275	5.8975	5.9375	5.9075	5.8975

Çizelge 5.3.30 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQisp_{isp}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Tedarikçi 1	Fabrika 1	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96
	Fabrika 2	14.42	14.42	14.42	14.42	14.42
Tedarikçi 2	Fabrika 1	25.37	25.37	25.37	25.37	25.37
	Fabrika 2	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83

Çizelge 5.3.31 Tedarikçilerden fabrikalara taşınan her bir bileşen tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQisp_{isp}$) (devamı)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Tedarikçi 3	Fabrika 1	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39
	Fabrika 2	36.29	36.29	36.29	36.29	37.29

Çizelge 5.3.32 Fabrikalardan depolara taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjpw_{jpw}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Fabrika 1	Depo 1	7.62	7.62	7.62	7.62
	Depo 2	7.33	7.33	7.33	7.33
	Depo 3	21.17	21.17	21.17	21.17
	Depo 4	22.52	22.52	22.52	22.52
	Depo 5	21.64	21.64	21.64	21.64
Fabrika 2	Depo 1	23.21	23.21	23.21	23.21
	Depo 2	11.81	11.81	11.81	11.81
	Depo 3	4.47	4.47	4.47	4.47
	Depo 4	37.68	37.68	37.68	37.68
	Depo 5	32.49	32.49	32.49	32.49

Çizelge 5.3.33 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjwd_{jwd}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Depo 1	Dağıtım Merkezi 1	27.22	27.22	27.22	27.22
	Dağıtım Merkezi 2	19.56	19.56	19.56	19.56
	Dağıtım Merkezi 3	17.91	17.91	17.91	17.91
	Dağıtım Merkezi 4	9.19	9.19	9.19	9.19
	Dağıtım Merkezi 5	25.52	25.52	25.52	25.52
	Dağıtım Merkezi 6	26.14	26.14	26.14	26.14
Depo 2	Dağıtım Merkezi 1	13.56	13.56	13.56	13.56
	Dağıtım Merkezi 2	7.15	7.15	7.15	7.15
	Dağıtım Merkezi 3	14.32	14.32	14.32	14.32
	Dağıtım Merkezi 4	9.38	9.38	9.38	9.38
	Dağıtım Merkezi 5	17.39	17.39	17.39	17.39
	Dağıtım Merkezi 6	34.77	34.77	34.77	34.77

Çizelge 5.3.34 Depolardan dağıtım merkezlerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjwd_{jwd}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Depo 3	Dağıtım Merkezi 1	8.77	8.77	8.77	8.77
	Dağıtım Merkezi 2	9.39	9.39	9.39	9.39
	Dağıtım Merkezi 3	15.64	15.64	15.64	15.64
	Dağıtım Merkezi 4	25.96	25.96	25.96	25.96
	Dağıtım Merkezi 5	9.34	9.34	9.34	9.34
	Dağıtım Merkezi 6	48.52	48.52	48.52	48.52
Depo 4	Dağıtım Merkezi 1	41.77	41.77	41.77	41.77
	Dağıtım Merkezi 2	33.9	33.9	33.9	33.9
	Dağıtım Merkezi 3	32.5	32.5	32.5	32.5
	Dağıtım Merkezi 4	16.71	16.71	16.71	16.71
	Dağıtım Merkezi 5	37.63	37.63	37.63	37.63
	Dağıtım Merkezi 6	10.93	10.93	10.93	10.93
Depo 5	Dağıtım Merkezi 1	30.45	30.45	30.45	30.45
	Dağıtım Merkezi 2	30.01	30.01	30.01	30.01
	Dağıtım Merkezi 3	33.69	33.69	33.69	33.69
	Dağıtım Merkezi 4	16.35	16.35	16.35	16.35
	Dağıtım Merkezi 5	38.03	38.03	38.03	38.03
	Dağıtım Merkezi 6	18.95	18.95	18.95	18.95

Çizelge 5.3.35 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 1	Müşteri 1	1.41	1.41	1.41	1.41
	Müşteri 2	13.8	13.8	13.8	13.8
	Müşteri 3	13.79	13.79	13.79	13.79
	Müşteri 4	9.32	9.32	9.32	9.32
	Müşteri 5	16.46	16.46	16.46	16.46
	Müşteri 6	14.45	14.45	14.45	14.45
	Müşteri 7	27.48	27.48	27.48	27.48
	Müşteri 8	32.52	32.52	32.52	32.52
	Müşteri 9	42.32	42.32	42.32	42.32
	Müşteri 10	39.65	39.65	39.65	39.65

Çizelge 5.3.36 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 2	Müşteri 1	9.29	9.29	9.29	9.29
	Müşteri 2	12.25	12.25	12.25	12.25
	Müşteri 3	6.33	6.33	6.33	6.33
	Müşteri 4	2.19	2.19	2.19	2.19
	Müşteri 5	8.76	8.76	8.76	8.76
	Müşteri 6	14.11	14.11	14.11	14.11
	Müşteri 7	26.75	26.75	26.75	26.75
	Müşteri 8	30.39	30.39	30.39	30.39
	Müşteri 9	34.53	34.53	34.53	34.53
	Müşteri 10	37.1	37.1	37.1	37.1
Dağıtım Merkezi 3	Müşteri 1	20.54	20.54	20.54	20.54
	Müşteri 2	13.85	13.85	13.85	13.85
	Müşteri 3	8.78	8.78	8.78	8.78
	Müşteri 4	10.94	10.94	10.94	10.94
	Müşteri 5	3.42	3.42	3.42	3.42
	Müşteri 6	21.21	21.21	21.21	21.21
	Müşteri 7	29.63	29.63	29.63	29.63
	Müşteri 8	36.26	36.26	36.26	36.26
	Müşteri 9	33.81	33.81	33.81	33.81
	Müşteri 10	40.99	40.99	40.99	40.99
Dağıtım Merkezi 4	Müşteri 1	22.53	22.53	22.53	22.53
	Müşteri 2	24.13	24.13	24.13	24.13
	Müşteri 3	18.13	18.13	18.13	18.13
	Müşteri 4	18.06	18.06	18.06	18.06
	Müşteri 5	16.31	16.31	16.31	16.31
	Müşteri 6	13.9	13.9	13.9	13.9
	Müşteri 7	12.27	12.27	12.27	12.27
	Müşteri 8	19.53	19.53	19.53	19.53
	Müşteri 9	19.85	19.85	19.85	19.85
	Müşteri 10	23.25	23.25	23.25	23.25
Dağıtım Merkezi 5	Müşteri 1	17.95	17.95	17.95	17.95
	Müşteri 2	4.5	4.5	4.5	4.5
	Müşteri 3	4.4	4.4	4.4	4.4
	Müşteri 4	9.32	9.32	9.32	9.32
	Müşteri 5	7.36	7.36	7.36	7.36
	Müşteri 6	22.5	22.5	22.5	22.5
	Müşteri 7	33.79	33.79	33.79	33.79
	Müşteri 8	38.91	38.91	38.91	38.91
	Müşteri 9	38.48	38.48	38.48	38.48
	Müşteri 10	43.43	43.43	43.43	43.43

Çizelge 5.3.37 Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan her bir ürün tipi için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjdc_{jdc}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Dağıtım Merkezi 6	Müşteri 1	47.98	47.98	47.98	47.98
	Müşteri 2	48.63	48.63	48.63	48.63
	Müşteri 3	43.45	43.45	43.45	43.45
	Müşteri 4	43.11	43.11	43.11	43.11
	Müşteri 5	42.29	42.29	42.29	42.29
	Müşteri 6	34.21	34.21	34.21	34.21
	Müşteri 7	16.73	16.73	16.73	16.73
	Müşteri 8	18.49	18.49	18.49	18.49
	Müşteri 9	12.62	12.62	12.62	12.62
	Müşteri 10	6.55	6.55	6.55	6.55

Çizelge 5.3.38 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjcr_{jcr}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Müşteri 1	Geri Dönüşüm Merkezi 1	18.69	18.69	18.69	18.69
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	2.01	2.01	2.01	2.01
Müşteri 2	Geri Dönüşüm Merkezi 1	22.11	22.11	22.11	22.11
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	12.94	12.94	12.94	12.94
Müşteri 3	Geri Dönüşüm Merkezi 1	16.18	16.18	16.18	16.18
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	16.2	16.2	16.2	16.2
Müşteri 4	Geri Dönüşüm Merkezi 1	14.42	14.42	14.42	14.42
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	12.03	12.03	12.03	12.03
Müşteri 5	Geri Dönüşüm Merkezi 1	14.63	14.63	14.63	14.63
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	18.93	18.93	18.93	18.93
Müşteri 6	Geri Dönüşüm Merkezi 1	9.41	9.41	9.41	9.41
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	17.37	17.37	17.37	17.37

Çizelge 5.3.39 Müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine taşınan her bir ürün için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQjcr_{jcr}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Müşteri 7	Geri Dönüşüm Merkezi 1	16.21	16.21	16.21	16.21
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	31.04	31.04	31.04	31.04
Müşteri 8	Geri Dönüşüm Merkezi 1	22.71	22.71	22.71	22.71
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	35.82	35.82	35.82	35.82
Müşteri 9	Geri Dönüşüm Merkezi 1	23.14	23.14	23.14	23.14
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	43.45	43.45	43.45	43.45
Müşteri 10	Geri Dönüşüm Merkezi 1	27.33	27.33	27.33	27.33
	Geri Dönüşüm Merkezi 2	41.86	41.86	41.86	41.86

Çizelge 5.3.40 Geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara taşınan her bir bileşen için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQirp_{irp}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Geri dönüşüm merkezi 1	Fabrika 1	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
	Fabrika 2	16.49	16.49	16.49	16.49	16.49
Geri dönüşüm merkezi 2	Fabrika 1	22.19	22.19	22.19	22.19	22.19
	Fabrika 2	6.52	6.52	6.52	6.52	6.52

Çizelge 5.3.41 Geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine taşınan her bir bileşen için birim CO_2 salınım miktarları ($TCQirk_{irk}$)

	İmha Merkezi 1				
	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Geri Dönüşüm Merkezi 1	12.63	12.63	12.63	12.63	12.63
Geri Dönüşüm Merkezi 2	8.71	8.71	8.71	8.71	8.71

Çizelge 5.3.42 Fabrikaların birim CO_2 salınım miktarları ($CQjp_{jp}$)

	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 3	Ürün 4
Fabrika 1	13	16	17	15
Fabrika 2	12	15	16	14

Çizelge 5.3.43 Depoların birim CO_2 salınım miktarları ($CQjw_{jw}$)

	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 3	Ürün 4
Depo 1	3	6	7	5
Depo 2	5	8	9	7
Depo 3	4	7	8	6
Depo 4	2	5	6	4
Depo 5	3	6	7	5

Çizelge 5.3.44 Dağıtım merkezlerinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQjd_{jd}$)

	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 3	Ürün 4
Dağıtım Merkezi 1	4	7	8	6
Dağıtım Merkezi 2	3	6	7	5
Dağıtım Merkezi 3	2	2	6	4
Dağıtım Merkezi 4	1	4	5	3
Dağıtım Merkezi 5	1	4	5	3
Dağıtım Merkezi 6	1	4	5	3

Çizelge 5.3.45 Geri dönüşüm merkezlerinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQir_{ir}$)

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Geri Dönüşüm Merkezi 1	8	3	13	14	11
Geri Dönüşüm Merkezi 2	10	5	15	16	13

Çizelge 5.3.46 İmha merkezinin birim CO_2 salınım miktarları ($CQik_{ik}$)

	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
İmha Merkezi	5	7	19	20	16

Çizelge 5.3.47 Fabrikaların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingP_p(\%)$)

Fabrika 1	80
Fabrika 2	40

Çizelge 5.3.48 Depoların bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingW_w(\%)$)

Depo 1	80
Depo 2	75
Depo 3	70
Depo 4	25
Depo 5	45

Çizelge 5.3.49 Dağıtım merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingD_d(\%)$)

Dağıtım merkezi 1	80
Dağıtım merkezi 2	70
Dağıtım merkezi 3	50
Dağıtım merkezi 4	85
Dağıtım merkezi 5	65
Dağıtım merkezi 6	25

Çizelge 5.3.50 Geri dönüşüm merkezlerinin bulundukları bölgelere ait önem yüzdesi ($rantingR_r(\%)$).

Geri Dönüşüm Merkezi 1	75
Geri Dönüşüm Merkezi 2	65

5.4 Uygulamanın Çözümü

Yukarıda parametrelerinin sayısal değerleri verilen çok amaçlı lineer model Bölüm 4'te incelenen bulanık yaklaşım ile çözülmüştür. Sonuçlar GAMS programı yardımı ile elde edilmiştir. Bulanık yaklaşımın uygulanabilmesi için öncelikle amaçların üyelik fonksiyonları aşağıda belirlenmiştir.

Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Ele alınan modelde TZ şebekesinde maliyet minimizasyonu, aday tesisler için çeşitli kriterlerce belirlenmiş olan önem yüzdelerinin maksimizasyonu ve karbon ayak izinin mizimizasyonu hedeflenmiştir. Sayısal veriler, uygulamaya ait kısıtlar ve amaç fonksiyonları aracılığıyla ÇAKDTZ problemi elde edilir. Çok amaçlı kapalı devre problem Bölüm 4'te incelenen bulanık yaklaşım ile çözülecektir. Uygulamada lineer üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Öncelikli olarak amaçların üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için gerekli olan amaçların sınır değerleri, (4.16) aracılığıyla her bir amaç (5.1)-(5.56) kısıtları altında tek tek çözdürülerek elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 5.4.1'da verilmiştir.

Çizelge 5.4.1 Amaçların bireysel maksimum ve minimum değerleri.

	Maksimum	Minimum
Amaç 1	4.5767×10^{8}	3.2871×10^{7}
Amaç 2	4.9699×10^{8}	4.9409×10^{7}
Amaç 3	6.8862×10^{8}	5.4077×10^{7}

Çizelge 5.4.1'deki sınır değerleri kullanılarak oluşturulan, $\left[Z_k^-, Z_k^+\right]$ ($k=1,2,3$) aralığındaki üyelik fonksiyonları

$$\mu_1(Z_1(x)) = \frac{457670000 - Z_1}{457670000 - 32871000}$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \frac{Z_2 - 49409000}{496990000 - 49409000}$$

$$\mu_3(Z_3(x)) = \frac{688620000 - Z_3}{688620000 - 54077000}$$

biçimindedir.

Buna göre elde edilen min operatör modeli

Amaç : $\max \lambda$

Kısıtlar : $$\frac{457670000 - Z_1}{457670000 - 32871000} \geq \lambda$$

$$\frac{Z_2 - 49409000}{496990000 - 49409000} \geq \lambda$$

$$\frac{688620000 - Z_3}{688620000 - 54077000} \geq \lambda$$

$$x \in X_T$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \qquad (5.60)$$

şeklinde olacaktır. (5.60) modelinin çözümü ile edilen amaç fonksiyon değerleri ve amaçların temel tatmin seviyesi aşağıdaki gibidir.

$\lambda = 0.702$
$Z_1 = 149310000$
$Z_2 = 363740000$
$Z_3 = 242990000$

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te 1. amaç fonksiyonunun sırasıyla 1. (t=1) , 2. (t=2) ve 3. (t=3) dönemde minimize edilmesiyle oluşturulmuş olan tedarik zinciri ağı; Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de 2. amaç fonksiyonunun sırasıyla 1. , 2. ve 3. dönemde maksimize edilmesiyle oluşturulmuş olan tedarik zinciri ağı ve Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de 3. amaç fonksiyonunun sırasıyla 1. , 2. ve 3. dönemde minimize edilmesiyle oluşturulmuş olan tedarik zinciri ağı gösterilmiştir. Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te ise her üç amaç fonksiyonunun da dikkate alınmasıyla ortak tatminlerinin maksimize edildiği optimal tedarik zinciri ağı gösterilmiştir. Tesisler arası taşıma miktarları ve stok düzeyleri dönemsel olarak gösterilen her şekil için üst kısımlarında çizelgeler ile verilmiştir. Şekil 5.3 - Şekil 5.14'te tesisler arasındaki bağlantılar kolay anlaşılır olması açısından farklı renklerdeki oklarla gösterilmiştir. Şebekelerde tedarikçiden fabrikaya olan bağlantılar sarı, fabrikadan depoya olan bağlantılar mor, depodan dağıtım merkezine olan bağlantılar mavi, dağıtım merkezinden müşteri bölgesine olan bağlantılar kırmızı, müşteri bölgesinden geri dönüşüm merkezine olan bağlantılar yeşil, geri dönüşüm merkezinden fabrikaya olan bağlantılar turuncu ve geri

dönüşüm merkezinden imha merkezine olan bağlantılar ise siyah oklar ile ifade edilmiştir.

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki şebekede amaç; tesis kullanım, söz konusu tesislerdeki işlem, stok ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimize edilmesidir. Nitekim, tesis kullanım maliyetlerinin düşürülmesi için olabildiğince az tesis kullanım kararı alınmış, kullanılan tesisler de talebin yoğun olduğu bölgelere yakın şehirlerde planlanılarak taşıma maliyeti olabildiğince azaltılmıştır. Üretim maliyetlerinin yüksek olduğu dönemlerde depolarda ürün stoğu tutularak toplam maliyet düşürülmüştür. Aksaray ve Bursa'da olmak üzere iki adet fabrika; Adana (yalnızca birinci dönemde), Ankara ve Balıkesir'de olmak üzere üç adet depo, Eskişehir ve Kayseri'de olmak üzere iki adet dağıtım merkezi; Kırşehir ve İstanbul'da olmak üzere iki adet geri dönüşüm merkezi kullanılmıştır. j=1 ürün tipinin 2. dönemdeki üretim maliyeti özellikle Bursa'da olmak üzere yüksek olduğundan üretim yapmak yerine söz konusu dönemde kullanılmak üzere 1. dönemde üretilip Ankara'da, j=2 ürün tipinin 3. dönemdeki üretim maliyeti özellikle Kırşehir'de olmak üzere yüksek olduğundan üretim yapmak yerine söz konusu dönemde kullanılmak üzere 2. dönemde üretilip Ankara'da, j=3 ürün tipinin 2. ve 3. dönemdeki üretim maliyetleri daha yüksek olduğundan üretim yapmak yerine söz konusu dönemlerde kullanılmak üzere 1. dönemde üretilip Ankara ve Balıkesir'de, j=4 ürün tipinin 2. ve 3. dönemdeki üretim maliyetleri daha yüksek olduğundan üretim yapmak yerine söz konusu dönemlerde kullanılmak üzere 1. dönemde üretilip Ankara ve 2. dönemde üretilip Balıkesir'de stok tutularak maliyet düşülmüştür. Yalnızca 1. dönemde kullanılan Adana'daki ve tüm dönemlerde kullanılan Ankara ve Balıkesir'deki depolar ile tüm dönemlerde kullanılan Eskişehir ve Kayseri'deki dağıtım merkezleri talebin yoğun olduğu batı bölgelere yakındır. Toplam maliyet 32871000 pb.'dir. Ancak bu amaç sağlanırken, karbon ayak izi dikkate alınmadığından CO_2 salınım miktarının 98192000 birim gibi oldukça yüksek bir miktar olduğu görülmektedir. Yine bu amaç sağlanırken, tesislerin önem yüzdeleri dikkate alınmadığından önemin 98192000 ile bireysel maksimum değerinden düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.4.2 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	43040	15000	79973	114000	96354
	Bursa (p=2)	1960	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	44960	-	-	-
Erzurum (s=1)	Aksaray (p=1)	131110	65649	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.3 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	38500	-	-	-
	Ankara (w=2)	15000	-	38000	29149
Bursa (p=2)	Ankara (w=2)	-	-	-	12212
	Balıkesir (w=3)	-	31140	1608	-

Çizelge 5.4.4 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezinlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	38500	-	-	-
Ankara (w=2)	Eskişehir (d=2)	-	-	17060	30530
	Kayseri (d=4)	110	-	12410	-
Balıkesir (w=3)	Eskişehir (d=2)	-	31140	110	-

Çizelge 5.4.5 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	-	1950	1990	2600
	İzmir (c=2)	-	2820	2850	2900
	Uşak (c=3)	-	4700	4750	4750
	Kütahya (c=4)	-	3150	3170	3250
	Isparta (c=5)	-	1720	1860	1830
	Kastamonu (c=6)	-	2500	2550	2620
	Erzincan (c=7)	-	3850	-	3900
	Rize (c=8)	-	4220	-	4350
	Mardin (c=9)	-	3980	-	1980
	Ağrı (c=10)	-	2250	-	2350
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	1910	-	-	-
	İzmir (c=2)	2770	-	-	-
	Uşak (c=3)	4650	-	-	-
	Kütahya (c=4)	3110	-	-	-
	Isparta (c=5)	5720	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	2320	-	-	-
	Erzincan (c=7)	3800	-	3870	-
	Rize (c=8)	4200	-	4250	-
	Mardin (c=9)	7980	-	1990	-
	Ağrı (c=10)	2150	-	2300	-

Çizelge 5.4.6 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	955	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	975	995	1300
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1385	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1410	1425	1450
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2325	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2350	2375	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1555	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1575	1585	1625

Çizelge 5.4.7 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2860	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	860	930	915
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1160	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1250	1275	1310
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1900	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1925	1935	1950
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2110	2125	2175
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3990	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1990	995	990
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1075	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1125	1150	1175

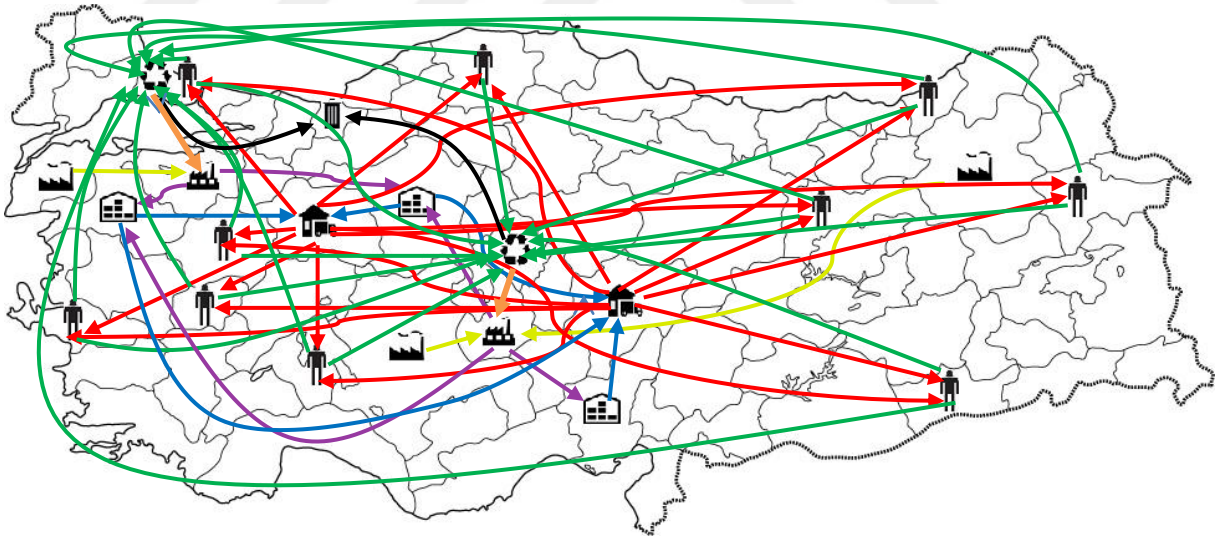
Çizelge 5.4.8 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	27027	-	15444
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	35964	24424

Çizelge 5.4.9 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	38610	-	11583	-	3861
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	45625	45625	-	23976	6106

Ayrıca 1. dönemde; 1. ürün tipi için Ankara'da ($LSjwt_{121}=14890$), 3. ürün tipi için Ankara'da ($LSjwt_{321}=8530$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{331}=1498$), 4. ürün tipi için yine Ankara'da ($LSjwt_{421}=10831$) stok tutulmaktadır.



Şekil 5.3 X şirketinin 1. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.10 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	45000	1500	18190	85945	7250
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	43000	-	-	48674
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	75011	74491	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.11 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Ankara (w=2)	22010	63160	12721	-
	Balıkesir (w=3)	-	-	110	-
Bursa (p=2)	Ankara (w=2)	-	-	-	1519
	Balıkesir (w=3)	-	-	6691	34790

Çizelge 5.4.12 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Ankara (w=2)	Eskişehir (d=2)	19810	16730	8761	-
	Kayseri (d=4)	17090	13890	12490	12350
Balıkesir (w=3)	Eskişehir (d=2)	-	-	8299	17470
	Kayseri (d=4)	-	-	-	110

Çizelge 5.4.13 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	2000	2010	2100	2150
	İzmir (c=2)	2600	2750	2810	2950
	Uşak (c=3)	4500	4550	4650	4750
	Kütahya (c=4)	3200	3220	3250	3300
	Isparta (c=5)	5110	1750	1750	1800
	Kastamonu (c=6)	2400	2450	2500	2520
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	3700	3720	3750	3800
	Rize (c=8)	4200	4250	4300	4370
	Mardin (c=9)	6900	3700	2090	1960
	Ağrı (c=10)	2290	2220	2350	2330

Çizelge 5.4.14 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarı ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	1000	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1005	1050	1075
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1300	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1375	1405	1475
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2250	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2275	2325	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1600	110	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1500	1625	1650

Çizelge 5.4.15 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2555	-	875	-
	İstanbul (r=2)	-	875	-	900
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1200	110	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1115	1250	1260
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1850	1750	1875	-
	İstanbul (r=2)	-	110	-	1900
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	-	2150	-
	İstanbul (r=2)	-	2125	-	2185
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3450	1740	1045	-
	İstanbul (r=2)	-	110	-	980
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1145	1110	1175	-
	İstanbul (r=2)	-	-	-	1165

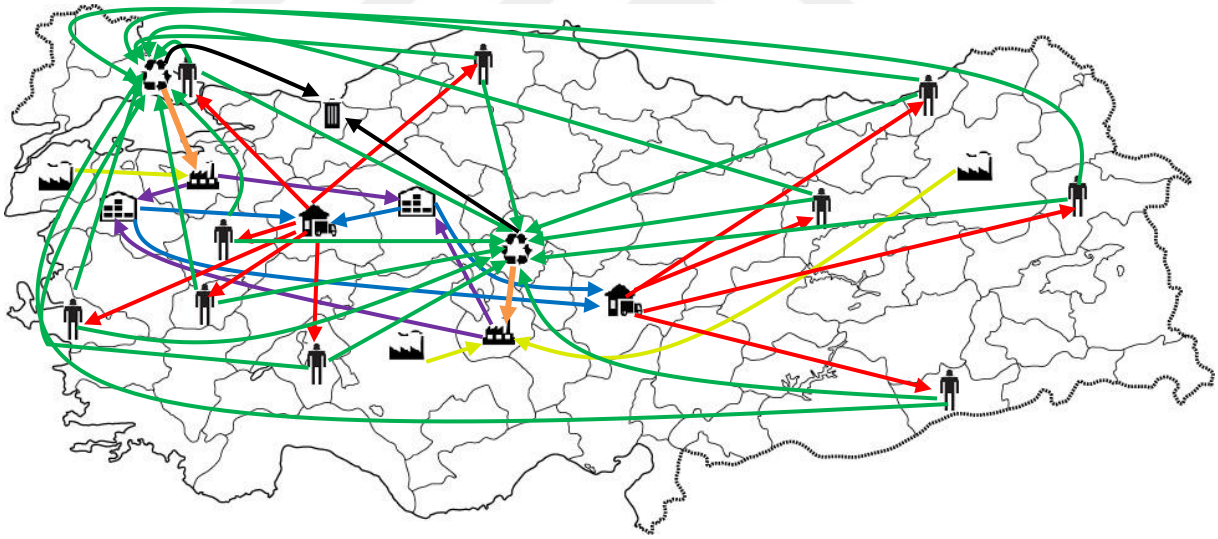
Çizelge 5.4.16 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	25830	15708	14760
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	20073	23944

Çizelge 5.4.17 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	48840	11940	11070	10472	3690
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	33110	33110	-	13382	5986

Ayrıca 2. dönemde; 2. ürün tipi için Ankara'da ($LSjwt_{222} = 32540$), 4. ürün tipi için Balıkesir'de ($LSjwt_{432} = 17210$) stok tutulmaktadır.



Şekil 5.4 X şirketinin 2. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.18 Birinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	45000	-	55237	-	25494
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	43000	-	51719	2612
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	39980	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.19 Birinci amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Ankara (w=2)	42490	-	-	-
	Balıkesir (w=3)	-	-	-	-
Bursa (p=2)	Ankara (w=2)	-	110	-	-
	Balıkesir (w=3)	-	-	29240	13650

Çizelge 5.4.20 Birinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Ankara (w=2)	Eskişehir (d=2)	23160	18690	-	-
	Kayseri (d=4)	19330	139600	-	-
Balıkesir (w=3)	Eskişehir (d=2)	-	-	29240	30860

Çizelge 5.4.21 Birinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	4830	3140	2060	2400
	İzmir (c=2)	3000	2500	2790	2760
	Uşak (c=3)	4920	4120	4700	4800
	Kütahya (c=4)	2850	3200	3000	3400
	Isparta (c=5)	4800	1800	2100	1500
	Kastamonu (c=6)	2760	3930	2790	2600
	Erzincan (c=7)	-	-	3500	3850
	Rize (c=8)	-	-	4000	4800
	Mardin (c=9)	-	-	1800	2500
	Ağrı (c=10)	-	-	2500	2250
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	3790	3580	-	-
	Rize (c=8)	4570	4090	-	-
	Mardin (c=9)	7470	3790	-	-
	Ağrı (c=10)	3500	2500	-	-

Çizelge 5.4.22 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	2415	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1570	1030	1200
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1500	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1250	1395	1380
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2460	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2060	2350	2400
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1425	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1600	1500	1700

Çizelge 5.4.23 Birinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

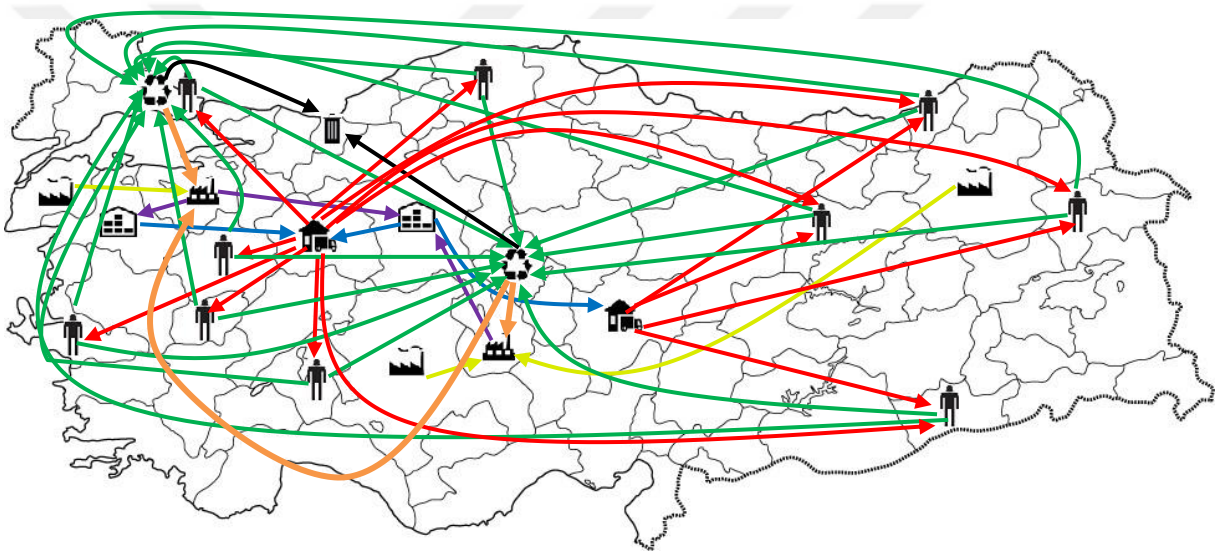
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2400	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	900	1050	750
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1380	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1965	1395	1300
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1895	-	1750	-
	İstanbul (r=2)	-	1790	-	1925
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2285	-	606	-
	İstanbul (r=2)	-	2045	1394	2400
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3735	-	900	-
	İstanbul (r=2)	-	1895	-	1250
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1750	-	1250	-
	İstanbul (r=2)	-	1250	-	1125

Çizelge 5.4.24 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	29743	-	16996
	Bursa (p=2)	-	8111	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	28000	24688

Çizelge 5.4.25 Birinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	46996	4506	12747	5407	4249
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	41868	33110	-	18667	6172



Şekil 5.5 X şirketinin 3. dönemde 1. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'deki şebekede amaç; önceden belirli olan önem yüzdelerini maksimize edecek şekilde dönemsel olarak tesis kullanım, stok ve taşıma kararlarını vermektir. Ağ incelendiğinde, önem değerleri yüksek olan fabrikalardan, depolardan, dağıtım merkezlerinden ve geri dönüşüm merkezlerinden daha çok taşıma yapıldığı ve söz konusu tesislerin kullanım kararlarının alındığı görülmektedir. İlk dönemde yalnızca Aksaray'daki fabrika kullanılırken ikinci ve üçüncü dönemlerde Aksaray ve Bursa'da olmak üzere her iki fabrikanın da kullanım kararı alınmıştır. Tüm dönemlerde Adana, Ankara, Balıkesir, Diyarbakır ve Trabzon'da olmak üzere tüm

depolar aktif olarak kullanılırken; önem değerleri en yüksek olan Kayseri ve İstanbul (yalnızca ikinci ve üçüncü dönemlerde) 'daki dağıtım merkezleri aktiftir. Kırşehir ve İstanbul (yalnızca birinci ve üçüncü dönemlerde) 'daki geri dönüşüm merkezlerinin kullanım kararı alınmıştır. Ayrıca maliyetler dikkate alınmadığından tesis kapasitelerini aşmayacak şekilde mümkün olabildiğince tüm ürünlerden tüm depolarda stoklama yapılmıştır. Toplam maliyet 307110000 pb. , tercih maksimizasyonu ile ikinci amaç fonksiyonu değeri 496990000 ve toplam CO_2 salınım miktarı 505470000 birimdir.

Çizelge 5.4.26 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	-	-	-	380000	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	803530
Erzurum (s=1)	Aksaray (p=1)	1297300	712500	557770	473040	-

Çizelge 5.4.27 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	85000	10000	50000	18600
	Ankara (w=2)	15000	55000	38000	47000
	Balıkesir (w=3)	91000	46000	69000	53900
	Diyarbakır (w=4)	66000	24000	44000	79000
	Rize (w=5)	35400	76000	25000	77000

Çizelge 5.4.28 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	38170	10000	29140	18600
Ankara (w=2)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110
Balıkesir (w=3)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110
Diyarbakır (w=4)	Kayseri (d=4)	110	20810	110	11600
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110

Çizelge 5.4.29 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	1910	1950	1990	2600
	İzmir (c=2)	2770	2820	2850	2900
	Uşak (c=3)	4650	4700	4750	4750
	Kütahya (c=4)	3110	3150	3170	3250
	Isparta (c=5)	5720	1720	1860	1830
	Kastamonu (c=6)	2320	2500	2550	2620
	Erzincan (c=7)	3800	3850	3870	3900
	Rize (c=8)	4200	4220	4250	4350
	Mardin (c=9)	7980	3980	1990	1980
	Ağrı (c=10)	2150	2250	2300	2350

Çizelge 5.4.30 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

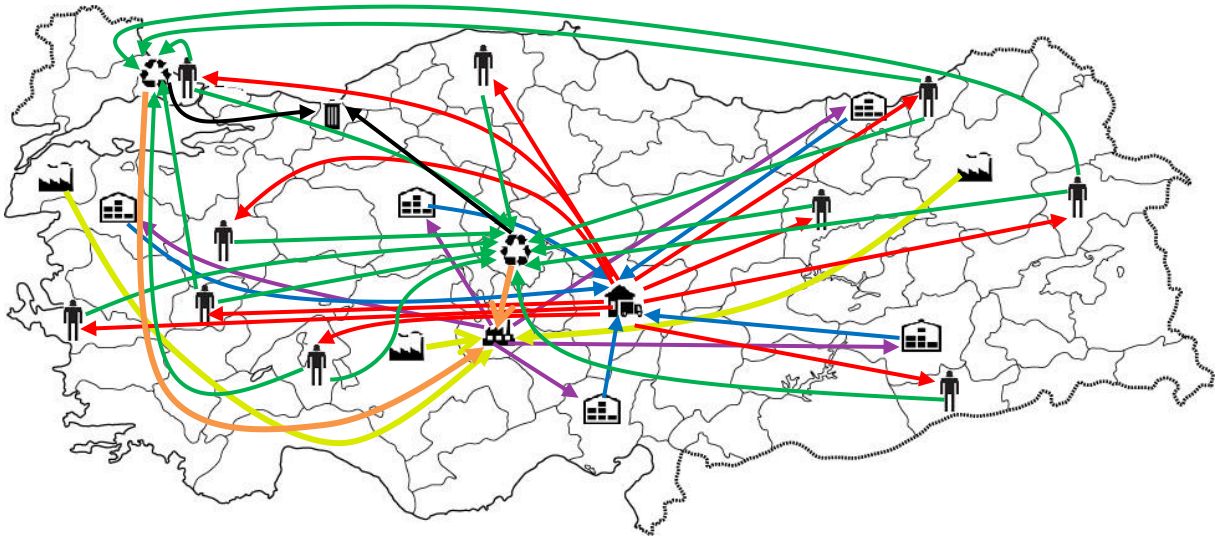
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	955	975	995	110
	İstanbul (r=2)	-	-	-	1190
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1385	1410	1425	1450
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2325	2350	110	110
	İstanbul (r=2)	-	-	2265	2265
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1555	1575	1585	1625
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2860	860	110	110
	İstanbul (r=2)	-	-	820	805
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1160	1250	1275	1310
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1900	1925	1935	1950
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2110	1341	708
	İstanbul (r=2)	-	-	784	1467
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3990	1990	995	990
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1075	1125	1150	110
	İstanbul (r=2)	-	-	-	1065

Çizelge 5.4.31 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	27027	29000	29000
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	6964	10868
	Bursa (p=2)	-	-	-

Çizelge 5.4.32 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	73574	34964	11583	19333	7250
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	10661	10661	-	4643	2717



Şekil 5.6 X şirketinin 1. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.33 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	-	-	-	200	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	746700
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	58200
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	1129600	747600	382000	811520	-
	Bursa (p=2)	192000	-	166170	-	-

Çizelge 5.4.34 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	-	72000	12500	92000
	Ankara (w=2)	58000	81000	38000	39300
	Balıkesir (w=3)	60000	15000	34000	67000
	Diyarbakır (w=4)	73000	54000	29000	41000
	Rize (w=5)	-	58200	75600	39000
Bursa (p=2)	Adana (w=1)	26000	-	-	-
	Ankara (w=2)	-	-	-	-
	Balıkesir (w=3)	31000	-	-	-
	Diyarbakır (w=4)	-	-	-	-
	Rize (w=5)	39000	-	-	-

Çizelge 5.4.35 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	26000	30180	12500	26580
Ankara (w=2)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	-	-	-	3020
	Kayseri (d=4)	110	110	110	-

Çizelge 5.4.36 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Diyarbakır (w=4)	İstanbul (d=1)	-	-	-	110
	Kayseri (d=4)	10570	110	16720	-
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110

Çizelge 5.4.37 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	3130
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	2000	2010	2100	2150
	İzmir (c=2)	2600	2750	2810	2950
	Uşak (c=3)	4500	4550	4650	4750
	Kütahya (c=4)	3200	3220	3250	3300
	Isparta (c=5)	5110	1750	1750	1800
	Kastamonu (c=6)	2400	2450	2500	2520
	Erzincan (c=7)	3700	3720	3750	3800
	Rize (c=8)	4200	4250	4300	1240
	Mardin (c=9)	6900	3700	2090	1960
	Ağrı (c=10)	2290	2220	2350	2330

Çizelge 5.4.38 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

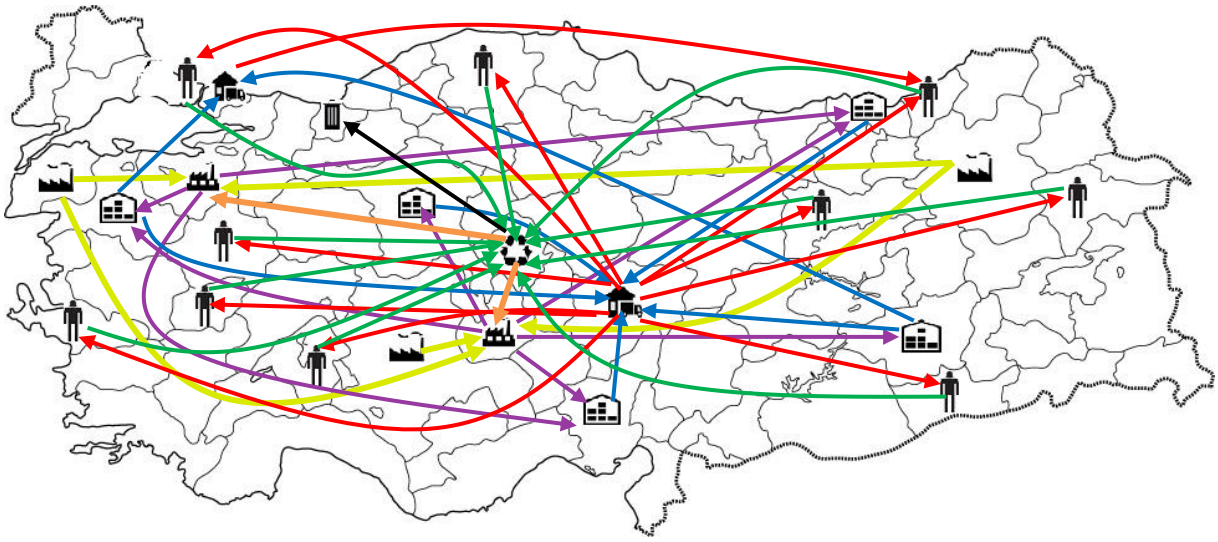
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	1000	1005	1050	1075
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1300	1375	1405	1475
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2250	2275	2325	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1600	1610	1625	1650
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2555	875	875	900
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1200	1225	1250	1260
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1850	1860	1875	1900
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2125	2150	2185
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3450	1850	1045	980
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1145	1110	1175	1165

Çizelge 5.4.39 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	-	35781	904
	Bursa (p=2)	25830	-	37800

Çizelge 5.4.40 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	81950	45050	11070	23854	9676



Şekil 5.7 X şirketinin 2. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.41 İkinci amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	200	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	814120
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	200
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	1368500	772500	566260	951390	-
	Bursa (p=2)	188200	188200	-	411000	-

Çizelge 5.4.42 İkinci amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	93000	-	-	67000
	Ankara (w=2)	64000	85000	32000	37000
	Balıkesir (w=3)	35600	95200	77000	46000
	Diyarbakır (w=4)	26400	38000	95000	39000
	Rize (w=5)	79000	41800	38500	81000
Bursa (p=2)	Adana (w=1)	-	60000	85000	-
	Ankara (w=2)	-	-	31000	-
	Balıkesir (w=3)	-	-	-	90000
	Diyarbakır (w=4)	-	-	-	-
	Rize (w=5)	-	32000	-	-

Çizelge 5.4.43 İkinci amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	İstanbul (d=1)	-	-	130	-
	Kayseri (d=4)	42050	32210	-	30420
Ankara (w=2)	İstanbul (d=1)	-	-	110	-
	Kayseri (d=4)	110	110	-	110
Balıkesir (w=3)	Kayseri (d=4)	110	110	28780	110
Diyarbakır (w=4)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110

Çizelge 5.4.44 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	240	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.45 İkinci amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı)

Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	4830	3140	2060	2400
	İzmir (c=2)	3000	2500	2790	2760
	Uşak (c=3)	4920	4120	4700	4800
	Kütahya (c=4)	2850	3200	3000	3400
	Isparta (c=5)	4800	1800	2100	1500
	Kastamonu (c=6)	2760	3930	2790	2600
	Erzincan (c=7)	3790	3580	3500	3850
	Rize (c=8)	4570	4090	3760	4800
	Mardin (c=9)	7470	3790	1800	2500
	Ağrı (c=10)	3500	2500	2500	2250

Çizelge 5.4.46 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

			Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul	(c=1)	Kırşehir (r=1)	2415	1570	1030	1200
İzmir	(c=2)	Kırşehir (r=1)	1500	1250	1395	1380
Uşak	(c=3)	Kırşehir (r=1)	2460	2060	2350	2400
Kütahya	(c=4)	Kırşehir (r=1)	1425	1600	1500	1700
Isparta	(c=5)	Kırşehir (r=1)	2400	900	1050	750
Kastamonu	(c=6)	Kırşehir (r=1)	1380	1965	1395	1300

Çizelge 5.4.47 İkinci amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

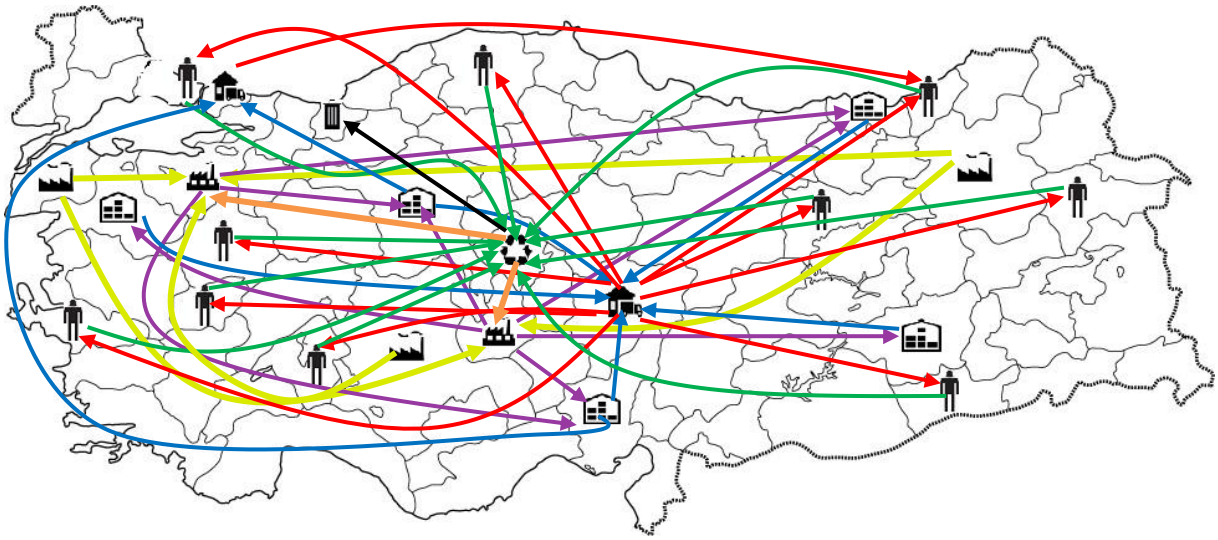
			Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Erzincan	(c=7)	Kırşehir (r=1)	1895	1790	1750	1925
Rize	(c=8)	Kırşehir (r=1)	2285	2045	2000	2400
Mardin	(c=9)	Kırşehir (r=1)	3795	1895	900	1250
Ağrı	(c=10)	Kırşehir (r=1)	1750	1250	1250	1125

Çizelge 5.4.48 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	29743	36111	23884
	Bursa (p=2)	-	-	17800

Çizelge 5.4.49 İkinci amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	88865	46375	12747	24074	10421



Şekil 5.8 X şirketinin 3. dönemde 2. amaç fonksiyonunun bireysel maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'deki şebekedeki amaç; CO_2 salınımına göre karbon ayak izini minimize edecek dönemsel olarak tesis kullanım, stok ve taşıma kararlarını vermektir. Ağlar incelendiğinde üretim, stoklama, elleçleme, geri dönüşüm ve imha işlemleri sırasında en az CO_2 salınımı yapan tesislerin kullanım kararı alınırken en az CO_2 salınımı olacak şekilde taşımalar yapılmıştır. Buna göre Aksaray ve Bursa'da olmak üzere her iki fabrika; Adana, Ankara, Balıkesir ve Diyarbakır'da olmak üzere dört depo; İstanbul, Eskişehir, Antalya (yalnızca birinci dönemde), Kayseri, Aydın ve Van'da olmak üzere tüm olası dağıtım merkezleri; Kırşehir ve İstanbul'da olmak üzere her iki geri dönüşüm merkezi de kullanılmıştır. Ayrıca maliyet önemsenmediğinden hiçbir dönemde stok yapılmamıştır. Toplam CO_2 salınım miktarı 54077000 birim iken buna karşılık yalnızca CO_2 salınımı dikkate alındığından toplam maliyet 39352000 pb. ve toplam önem değeri 96898000 dir.

Çizelge 5.4.50 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	45000	15000	50193	58811	45712
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	39724	-	25105	14090
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	80470	50026	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.51 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	19822	10000	12660	12850
	Ankara (w=2)	15000	2050	5030	2036
	Diyarbakır (w=4)	2150	2250	2300	2350
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	1638	16840	9590	13294

Çizelge 5.4.52 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Antalya (d=3)	1522	-	-	-
	Kayseri (d=4)	18300	10000	12660	12850
Ankara (w=2)	İstanbul (d=1)	1910	-	-	-
	Eskişehir (d=2)	13090	-	5030	2036
	Kayseri (d=4)	-	2050	-	-
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	-	1950	1990	2600
	Eskişehir (d=2)	-	5650	-	1214
	Aydın (d=5)	1638	9240	7600	9480
Diyarbakır (w=4)	Van (d=6)	2150	2250	2300	2350

Çizelge 5.4.53 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	1910	1950	1990	2600
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	1132	-	-	-
	Uşak (c=3)	4650	-	-	-
	Kütahya (c=4)	3110	3150	3170	3250
	Isparta (c=5)	4198	-	1860	-
	Kastamonu (c=6)	-	2500	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.54 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Antalya (d=3)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	1522	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	2320	-	2550	2620
	Erzincan (c=7)	3800	3850	3870	3900
	Rize (c=8)	4200	4220	4250	4350
	Mardin (c=9)	7980	3980	1990	1980
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Aydın (d=5)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	1638	2820	2850	2900
	Uşak (c=3)	-	4700	4750	4750
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	1720	-	1830
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Van (d=6)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	2150	2250	2300	2350

Çizelge 5.4.55 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

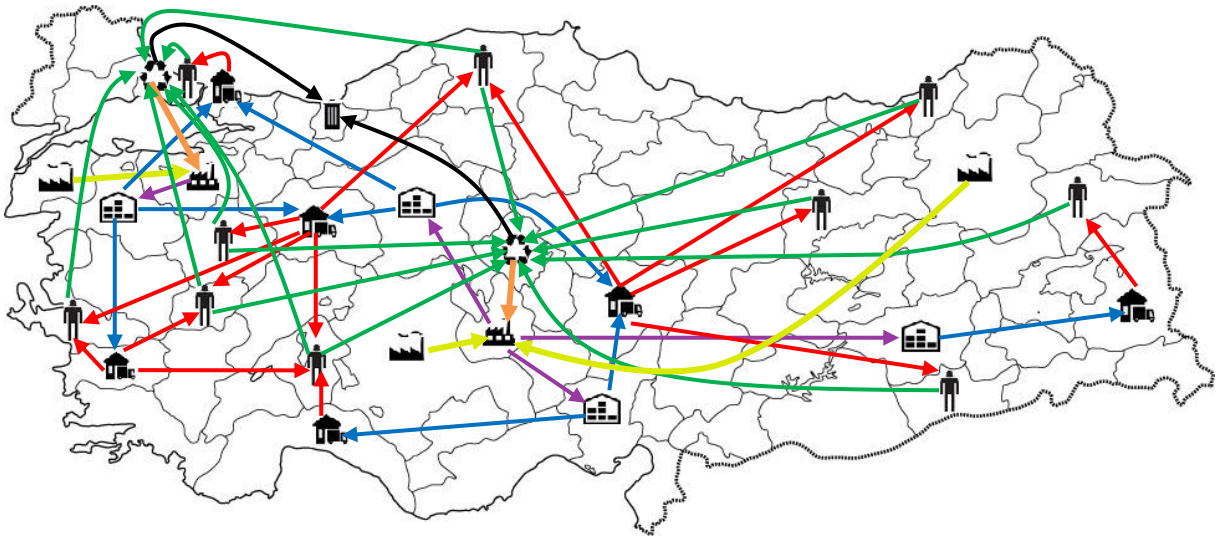
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	955	975	995	1300
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	1385	1410	1425	1450
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2325	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2350	2375	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1555	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1575	1585	1625
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2860	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	860	930	915
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1160	-	-	1310
	İstanbul (r=2)	-	1250	1275	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1900	1925	1935	1950
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2110	2125	2175
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3990	1990	995	990
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1075	1125	1150	1175
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.56 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	23751	15459	25732
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	3276	20505	14136

Çizelge 5.4.57 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	54885	20955	10179	10306	6433
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	29350	24670	1404	13670	3534



Şekil 5.9 X şirketinin 1. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.58 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	45000	15000	47970	59372	40346
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	39780	-	24117	17710
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	75900	48820	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.59 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	17200	13400	12500	12650
	Ankara (w=2)	15800	-	4870	-
	Diyarbakır (w=4)	2290	2220	2350	2330
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	1610	15000	9830	14950

Çizelge 5.4.60 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Antalya (d=3)	-	-	-	-
	Kayseri (d=4)	17200	13400	12500	12650
Ankara (w=2)	İstanbul (d=1)	2000	-	-	-
	Eskişehir (d=2)	13800	-	4870	-
	Kayseri (d=4)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.61 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	-	2010	2100	2150
	Eskişehir (d=2)	-	3940	-	3300
	Aydın (d=5)	1610	9050	7730	9500
Diyarbakır (w=4)	Van (d=6)	2290	2220	2350	2330

Çizelge 5.4.62 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	2000	2010	2100	2150
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	990	-	-	-
	Uşak (c=3)	4500	-	-	-
	Kütahya (c=4)	3200	3220	3250	3300
	Isparta (c=5)	5110	-	1480	-
	Kastamonu (c=6)	-	720	140	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.63 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	2400	1730	2360	2520
	Erzincan (c=7)	3700	3720	3750	3800
	Rize (c=8)	4200	4250	4300	4370
	Mardin (c=9)	6900	3700	2090	1960
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Aydın (d=5)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	1610	2750	2810	2950
	Uşak (c=3)	-	4550	4650	4750
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	1750	270	1800
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Van (d=6)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	2290	2220	2350	2330

Çizelge 5.4.64 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

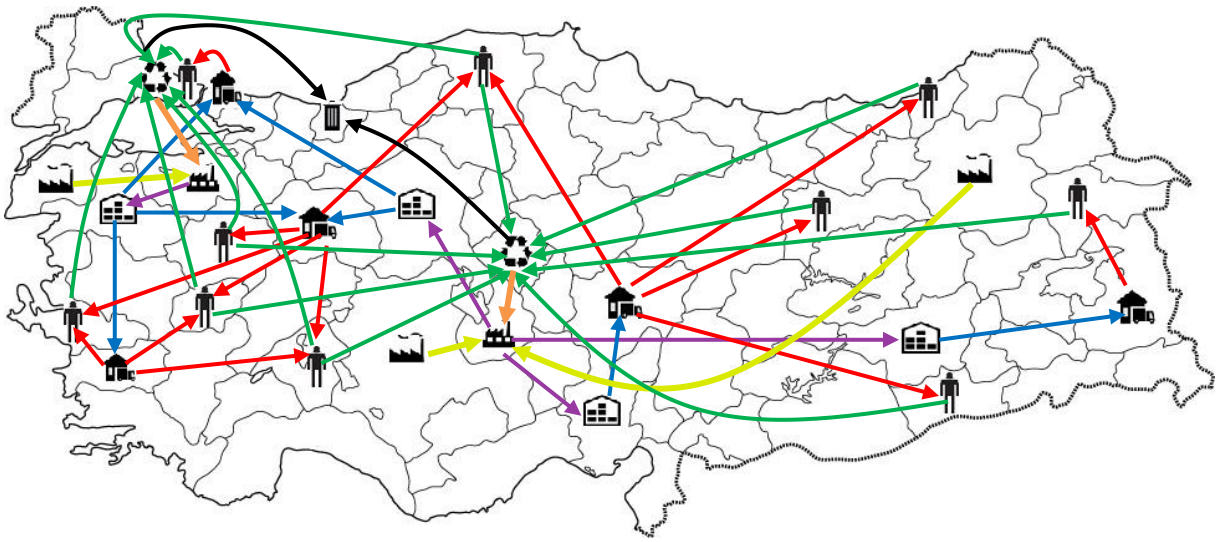
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	1000	1005	1050	1075
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	1300	1375	1405	1475
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2250	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2275	2325	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1600	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1610	1625	1650
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2555	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	875	875	900
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1200	-	-	1260
	İstanbul (r=2)	-	1225	1250	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1850	1860	1875	1900
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2125	2150	2185
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3450	1850	1045	980
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1145	1110	1175	1165
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.65 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	22610	15408	24904
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	3220	20373	13800

Çizelge 5.4.66 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	52980	20680	9690	10272	6226
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	28970	24370	1380	13582	3450



Şekil 5.10 X şirketinin 2. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.67 Üçüncü amaç için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	42819	15000	55237	58222	51885
	Bursa (p=2)	2181	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	39700	-	26037	10640
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	89730	51550	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.68 Üçüncü amaç için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	18590	11460	12090	13750
	Ankara (w=2)	17659	-	5100	3400
	Diyarbakır (w=4)	3500	2500	2500	2250
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	2740	18690	9550	11460

Çizelge 5.4.69 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Antalya (d=3)	-	-	-	-
	Kayseri (d=4)	18590	11460	12090	13750
Ankara (w=2)	İstanbul (d=1)	4830	-	-	-
	Eskişehir (d=2)	12829	-	5100	3400
	Kayseri (d=4)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.70 Üçüncü amaç için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	-	3140	2060	2400
	Eskişehir (d=2)	-	7130	-	-
	Aydın (d=5)	2740	8420	7490	9060
Diyarbakır (w=4)	Van (d=6)	3500	2500	2500	2250

Çizelge 5.4.71 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	4830	3140	2060	2400
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Eskişehir (d=2)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	259	-	-	-
	Uşak (c=3)	4920	-	-	-
	Kütahya (c=4)	2850	3200	3000	3400
	Isparta (c=5)	4800	-	2100	-
	Kastamonu (c=6)	-	3930	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.72 Üçüncü amaç için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	2760	-	2790	2600
	Erzincan (c=7)	3790	3580	3500	3850
	Rize (c=8)	4570	4090	4000	4800
	Mardin (c=9)	7470	3790	1800	2500
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Aydın (d=5)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	2740	2500	2790	2760
	Uşak (c=3)	-	4120	4700	4800
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	1800	-	1500
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Van (d=6)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	3500	2500	2500	2250

Çizelge 5.4.73 Üçüncü amaç için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

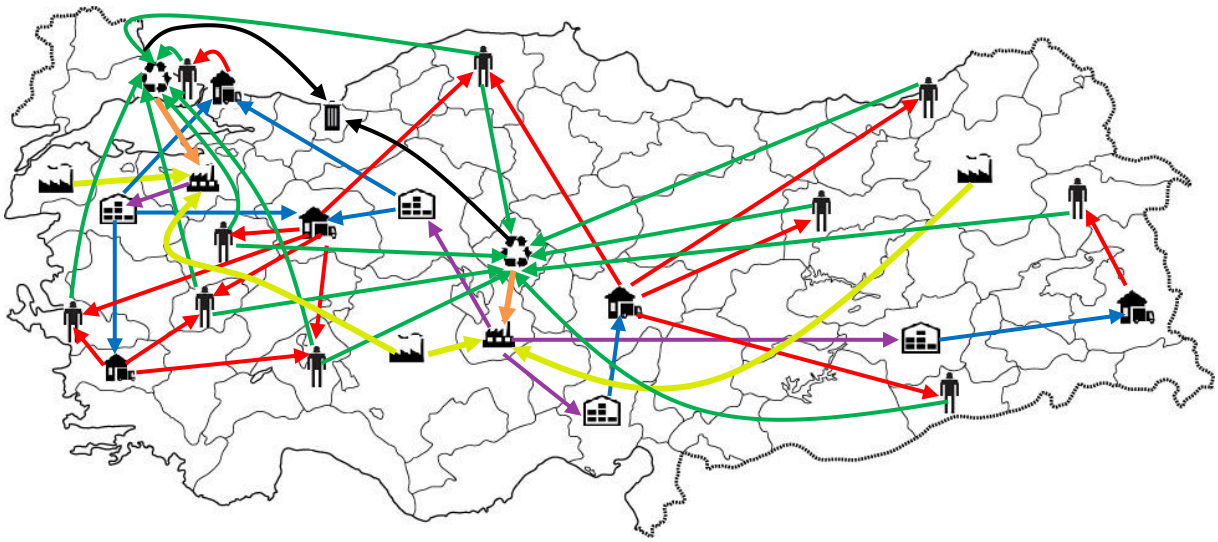
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	2415	1570	1030	1200
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	-	-	-	-
	İstanbul (r=2)	1500	1250	1395	1380
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2460	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	2060	2350	2400
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1425	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1600	1500	1700
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2400	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	900	1050	750
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1380	-	-	1300
	İstanbul (r=2)	-	1965	1395	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1895	1790	1750	1925
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2285	2025	2000	2400
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3735	1895	900	1250
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1750	1250	1250	1125
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.74 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	24262	14808	26664
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	5481	21303	15020

Çizelge 5.4.75 Üçüncü amaç için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	55540	20880	10398	9872	6666
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	33325	25495	2349	134202	3755



Şekil 5.11 X şirketinin 3. dönemde 3. amaç fonksiyonunun bireysel minimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'teki şebekede amaç; amaçların ortak tatminini maksimize etmektir. Böylece üç amacın da eş anlı olarak olabildiğince yüksek seviyede tatminini sağlayan bir ağ ortaya çıkmıştır. Optimal durumda; Aksaray ve Bursa'da olmak üzere her iki fabrika; Adana, Ankara, Balıkesir, Diyarbakır (yalnızca ikinci dönemde) ve Trabzon'da olmak üzere beş depo; İstanbul ve Kayseri'de olmak üzere iki dağıtım merkezi; Kırşehir ve İstanbul'da olmak üzere her iki geri dönüşüm merkezi de kullanılmıştır. Dağıtım merkezlerinin kullanım kararı alınan yerler incelendiğinde hizmet verilen müşterilere yakın konumda olmaları şebekedeki tutarlılığı göstermektedir. Örneğin; İstanbul'daki dağıtım merkezi İzmir, İstanbul ve Kütahya'ya hizmet etmektedir. Toplam maliyet 149310000 pb. dir ve tatmin seviyesi 0.726 dır. Toplam önem değeri 363740000 dir ve 0.702 seviyesinde tatmin edilmiştir. Toplam CO_2 salınımı miktarı 242990000 birimdir ve tatmin seviyesi 0.702 dir. Böylece amaçların ortak tatmini 0.702 seviyesindedir.

Çizelge 5.4.76 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	28000	15000	275000	380000	210000
	Bursa (p=2)	17000	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	60000	-	120000	24381
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	601260	325730	-	1890	43321
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.77 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	85000	10000	50000	18600
	Ankara (w=2)	15000	55000	24630	47000
	Balıkesir (w=3)	51013	46000	-	-
	Trabzon (w=5)	-	76000	-	-
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	-	-	42321	17679

Çizelge 5.4.78 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	15820	10000	110	18600
Ankara (w=2)	Kayseri (d=4)	15000	16260	26630	6430
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	7790	4770	4840	5500
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	-	110	-	-

Çizelge 5.4.79 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	1910	1950	1990	2600
	İzmir (c=2)	2770	2820	2850	2900
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	3110	-	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	4650	4700	4750	4750
	Kütahya (c=4)	-	3150	3170	3250
	Isparta (c=5)	5720	1720	1860	1830
	Kastamonu (c=6)	2320	2500	2550	2620
	Erzincan (c=7)	3800	3850	3870	3900
	Rize (c=8)	4200	4220	4250	4350
	Mardin (c=9)	7980	3980	1990	1980
	Ağrı (c=10)	2150	2250	2300	2350

Çizelge 5.4.80 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	955	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	975	995	1300
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1385	-	-	-
	İstanbul (r=2)	-	1410	1425	1450
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2325	2350	2375	-
	İstanbul (r=2)	-	-	-	2375
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1555	1575	931	-
	İstanbul (r=2)	-	-	654	1625

Çizelge 5.4.81 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 1. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2860	860	930	805
	İstanbul (r=2)	-	-	-	110
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1160	1250	1275	1310
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1900	1925	1935	1950
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2110	2125	2175
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3990	1990	995	990
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1075	1125	1150	1175
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

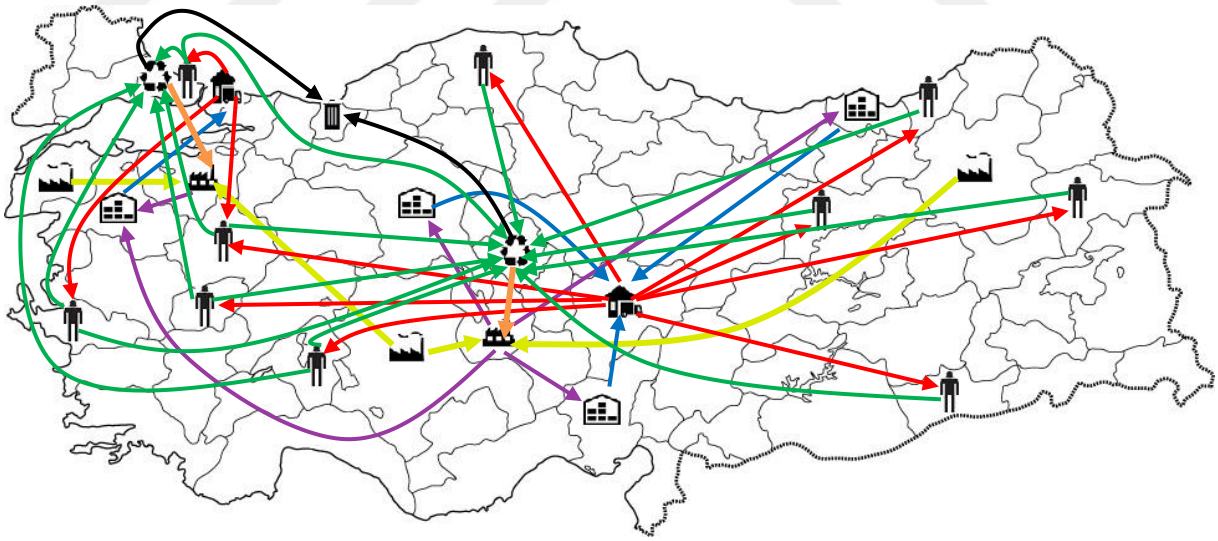
Çizelge 5.4.82 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	27027	29000	28892
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	6964	10976

Çizelge 5.4.83 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 1. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	71916	33306	11583	19333	7223
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	12319	12319	-	4643	2744

Ayrıca 1. dönemde; 1. ürün tipi için Adana'da ($LSjwt_{111}=69180$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{131}=43223$); 2. ürün tipi için Ankara'da ($LSjwt_{221}=38740$), Balıkesir'de ($LSjwt_{231}=41230$) ve Trabzon'da ($LSjwt_{251}=75890$); 3. ürün tipi için Adana'da ($LSjwt_{311}=49890$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{331}=37481$); 4. ürün tipi için Ankara'da ($LSjwt_{421}=40570$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{431}=12179$) stok tutulmaktadır.



Şekil 5.12 X şirketinin 1. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.84 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	-	15000	275000	380000	210000
	Bursa (p=2)	45000	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	60000	28000	101400	65096
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	808480	484980	21170	380000	257800
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.85 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	26000	72000	12500	92000
	Ankara (w=2)	58000	81000	38000	39300
	Balıkesir (w=3)	77000	15000	-	41000
	Diyarbakır (w=4)	-	37478	-	-
	Trabzon (w=5)	-	58200	-	-
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	14000	-	34000	26000

Çizelge 5.4.86 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110

Çizelge 5.4.87 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Ankara (w=2)	Kayseri (d=4)	32190	25420	24530	24720
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	4600	4870	4910	5100
Diyarbakır (w=4)	Kayseri (d=4)	-	110	-	-
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	-	110	-	-

Çizelge 5.4.88 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	2000	2010	2100	2150
	İzmir (c=2)	2600	2750	2810	2950
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	-	110	-	-
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	4500	4550	4650	4750
	Kütahya (c=4)	3200	3110	3250	3300
	Isparta (c=5)	5110	1750	1750	1800
	Kastamonu (c=6)	2400	2450	2500	2520
	Erzincan (c=7)	3700	3720	3750	3800
	Rize (c=8)	4200	4250	4300	4370
	Mardin (c=9)	6900	3700	2090	1960
	Ağrı (c=10)	2290	2220	2350	2330

Çizelge 5.4.89 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 2. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	1000	-	1050	510
	İstanbul (r=2)	-	1005	-	565
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1300	1375	1405	1475
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2250	2275	2325	2375
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1600	1610	1625	1650
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2555	875	875	900
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1200	1225	1250	1260
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1850	1860	1875	1900
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2100	2125	2150	2185
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3450	1850	1045	980
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1145	1110	1175	1165
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

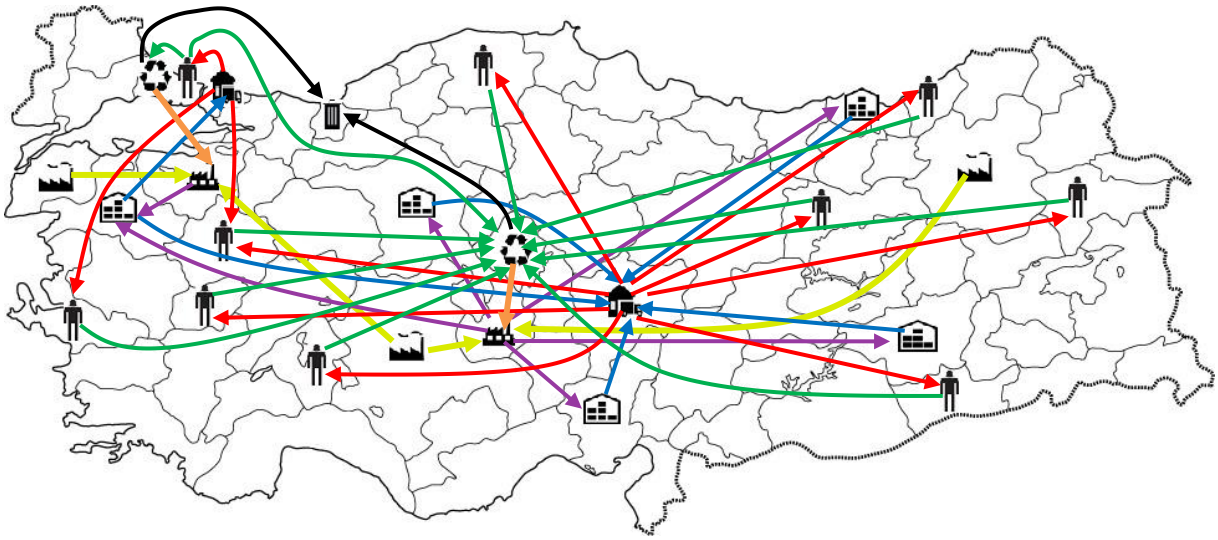
Çizelge 5.4.90 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	25830	35178	37800
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	603	904

Çizelge 5.4.91 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 2. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	80380	43480	11070	23452	9450
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	1570	1570	-	402	226

Ayrıca 2. dönemde; 1. ürün tipi için Adana'da ($LSjwt_{112} = 95070$) ve Ankara'da ($LSjwt_{122} = 25810$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{132} = 129620$); 2. ürün tipi için Adana'da ($LSjwt_{212} = 71890$), Ankara'da ($LSjwt_{222} = 94320$), Balıkesir'de ($LSjwt_{232} = 51360$), Diyarbakır'da ($LSjwt_{242} = 37368$) ve Trabzon'da ($LSjwt_{252} = 133980$); 3. ürün tipi için Adana'da ($LSjwt_{312} = 62280$), Ankara'da ($LSjwt_{322} = 13470$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{332} = 66571$); 4. ürün tipi için Adanra'da ($LSjwt_{412} = 91890$), Ankara'da ($LSjwt_{422} = 55150$) ve Balıkesir'de ($LSjwt_{432} = 74079$) stok tutulmaktadır.



Şekil 5.13 X şirketinin 2. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

Çizelge 5.4.92 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için tedarikçilerden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qispt_{ispt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Konya (s=1)	Aksaray (p=1)	-	15000	275000	380000	210000
	Bursa (p=2)	45000	-	-	-	-
Çanakkale (s=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-	-	-
	Bursa (p=2)	43000	60000	28000	120000	19772
Erzurum (s=3)	Aksaray (p=1)	997550	638850	52475	-	391620
	Bursa (p=2)	-	-	-	-	-

Çizelge 5.4.93 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için fabrikalardan depolara 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjpwt_{jpwt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Aksaray (p=1)	Adana (w=1)	93000	60000	85000	67000
	Ankara (w=2)	64000	85000	63000	37000
	Balıkesir (w=3)	21600	70000	-	52114
	Diyarbakır (w=4)	-	-	-	-
	Trabzon (w=5)	-	45000	-	76236
Bursa (p=2)	Balıkesir (w=3)	14000	25200	31914	2886

Çizelge 5.4.94 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için depolardan dağıtım merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjwdt_{jwdt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Adana (w=1)	Kayseri (d=4)	31700	23590	21280	22080
Ankara (w=2)	Kayseri (d=4)	110	110	110	110
Balıkesir (w=3)	İstanbul (d=1)	10680	8840	7850	8560
Diyarbakır (w=4)	Kayseri (d=4)	-	-	-	-
Trabzon (w=5)	Kayseri (d=4)	-	110	-	110

Çizelge 5.4.95 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjdct_{jdct}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (d=1)	İstanbul (c=1)	4830	3140	2060	2400
	İzmir (c=2)	3000	2500	2790	2760
	Uşak (c=3)	-	-	-	-
	Kütahya (c=4)	2850	3200	3000	3400
	Isparta (c=5)	-	-	-	-
	Kastamonu (c=6)	-	-	-	-
	Erzincan (c=7)	-	-	-	-
	Rize (c=8)	-	-	-	-
	Mardin (c=9)	-	-	-	-
	Ağrı (c=10)	-	-	-	-
Kayseri (d=4)	İstanbul (c=1)	-	-	-	-
	İzmir (c=2)	-	-	-	-
	Uşak (c=3)	4920	4120	4700	4800
	Kütahya (c=4)	-	-	-	-
	Isparta (c=5)	4800	1800	2100	1500
	Kastamonu (c=6)	2760	3930	2790	2600
	Erzincan (c=7)	3790	3580	3500	3850
	Rize (c=8)	4570	4090	4000	4800
	Mardin (c=9)	7470	3790	1800	2500
	Ağrı (c=10)	3500	2500	2500	2250

Çizelge 5.4.96 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$)

		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
İstanbul (c=1)	Kırşehir (r=1)	2415	-	995	1300
	İstanbul (r=2)	-	1570	-	-
İzmir (c=2)	Kırşehir (r=1)	1500	1250	1425	1380
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Uşak (c=3)	Kırşehir (r=1)	2460	2060	2350	2400
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Kütahya (c=4)	Kırşehir (r=1)	1425	1600	1500	1700
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.97 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için müşteri bölgelerinden geri dönüşüm merkezlerine 3. dönemde taşınan ürün miktarları ($Qjcrt_{jcrt}$) (devamı)

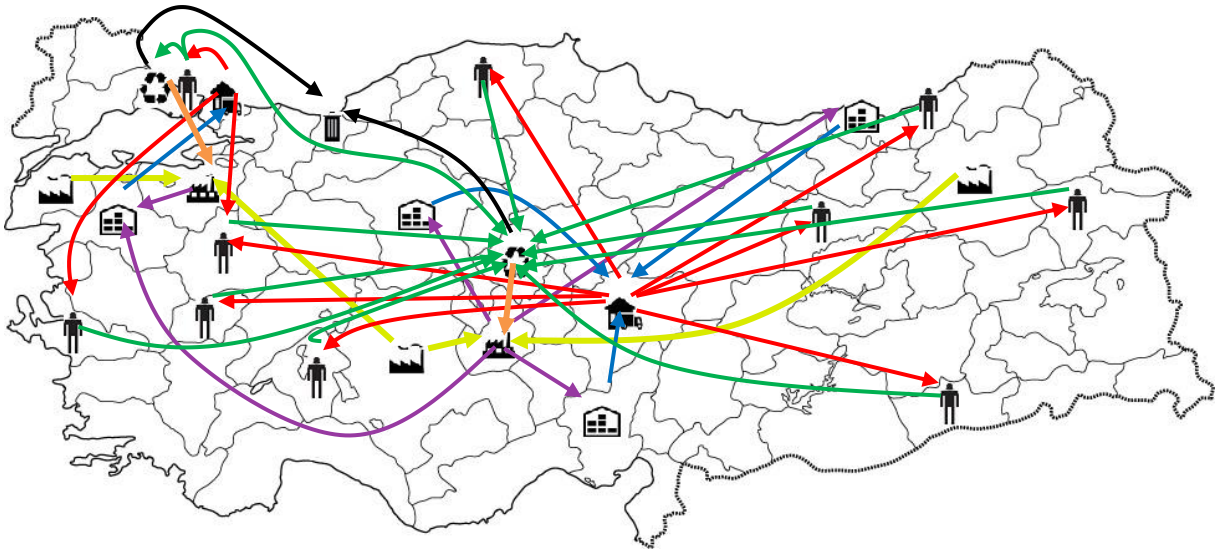
		Ürün tipi 1	Ürün tipi 2	Ürün tipi 3	Ürün tipi 4
Isparta (c=5)	Kırşehir (r=1)	2400	900	1050	750
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Kastamonu (c=6)	Kırşehir (r=1)	1380	1965	1395	1300
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Erzincan (c=7)	Kırşehir (r=1)	1895	1790	1750	1925
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Rize (c=8)	Kırşehir (r=1)	2285	2045	2000	2400
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Mardin (c=9)	Kırşehir (r=1)	3735	1895	900	1250
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-
Ağrı (c=10)	Kırşehir (r=1)	1750	1250	1250	1125
	İstanbul (r=2)	-	-	-	-

Çizelge 5.4.98 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden fabrikalara 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirpt_{irpt}$)

		Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Aksaray (p=1)	29743	35169	41684
	Bursa (p=2)	-	-	-
İstanbul (r=2)	Aksaray (p=1)	-	-	-
	Bursa (p=2)	-	942	-

Çizelge 5.4.99 Bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmini için geri dönüşüm merkezlerinden imha merkezine 3. dönemde taşınan bileşen miktarları ($Qirkt_{irkt}$)

		Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3	Bileşen 4	Bileşen 5
Kırşehir (r=1)	Düzce (k=1)	87295	44805	12747	23446	10421
İstanbul (r=2)	Düzce (k=1)	1570	1570	-	628	-



Şekil 5.14 X şirketinin 3. dönemde bütün amaç fonksiyonlarının ortak tatmininin maksimizasyonu sonucu elde edilen ÇAKDTZ ağı.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hızla gelişen çevre bilinci, uluslararası ve ulusal çevresel mevzuatlar işletmeleri tedarik zincirlerinin yönetiminde çevresel duyarlılığı ihmal edemeyecekleri bir noktaya getirmiştir. İşletmelerin bakış açılarını değiştirmesiyle birlikte yeşil imajı, yalnızca ekolojik dengeyi sağlamaya yardımcı olmamış aynı zamanda rekabet avantajı sağlayarak karlılığı da artırmıştır. Tedarik zincirini yeşillendirme faaliyetlerinden geri dönüşüm, gün geçtikçe tükenimi hızlanan kaynaklarımız için israfı önleme adına oldukça önemli bir işlemdir.

Bu çalışmada, birbirleri ile çelişebilen amaçların ortak tatmin seviyesinde buluşarak karşılıklı uzlaşabildiği bir kapalı devre tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Geri kazanılabilen hammadde veya yarı mamullerin yeniden üretim prosesine katılmasının, dönüşümü yapılamayan malzemelerin ise yeşil yöntemlerle imhasının sağlanmasının, tesisler arası taşıma işlemlerinin çevreye duyarlı olarak yapılmasının, kullanılacak tesislerin yapılacak işlemler esnasında verebileceği zararlar açısından çevreyle dost olmasının önem ve gerekliliğine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Ayrıca müşteri hizmet düzeyleri, dönemsel olarak birden artış gösterebilen müşteri talepleri ile üretim maliyetleri ve yine dönemsel olarak azalabilen hammaddeye bağlı olarak tedarik süresi faktörleri dikkate alındığında üretimin aksamadan ilerleyebilmesi ve taleplerin etkin bir şekilde karşılanabilmesi adına tüm zincir boyunca stok yönetimi sağlanmıştır. Çalışmada kurulan model, GAMS programlama dili kullanılarak bilgisayar ortamında çözülmüştür. Çok periyotlu ve çok ürünlü olarak kurduğumuz çok amaçlı modelin uygulaması süt ürünleri üretim ve pazarlamasını gerçekleştiren bir firma için test edilmiştir. Tüm amaçlar teker teker bireysel olarak çözdürüldüğünde diğer amaçlar için tatmin edici sonuçlar elde edilememiştir. Diğer bir ifadeyle, sadece maliyet minimizasyonu yapılırken tesislere önceden çeşitli kriterlerce atfedilen toplam önem değerinin alt sınıra yakın olduğu görülürken toplam CO_2 salınım miktarının ise üst sınıra yaklaştığı kaydedilmiştir. Aynı şekilde sadece toplam önem maksimizasyonu

yapıldığında toplam maliyet ve toplam CO_2 salınımı oldukça yüksek iken sadece toplam CO_2 salınımı minimize edildiğinde toplam önem değerinin düştüğü ve maliyetin yükseldiği tespit edilmiştir. Bu şekilde birbirleriyle çelişebilen amaçlar söz konusu olduğunda önerdiğimiz bulanık yaklaşım ile amaçlar arasındaki minimum tatmin seviyeleri maksimize edilerek ortak tatmin düzeylerinde buluşabilmeleri sağlanmıştır. Öyleki uygulamamız için bulanık yaklaşım sonucunda maliyet minimizasyonlu amacımızın tatmin seviyesi %726 iken toplam önem değerinin maksimize edilmesi olan amacımız ve karbon salınımı minimizasyonlu amacımız %702 seviyesinde tatmin olmuştur. Buradan açıkça görülmektedir ki bulanık yaklaşımımız ile ortak tatminin maksimizasyon değeri %702'dir.

Karar verme sürecinin doğasında var olan belirsizliği daha gerçekçi bir biçimde ifade edebilmek ve belirsizlik ya da bilgi eksikliklerile aktif olarak başa çıkabilmek adına karar değişkenlerinin, parametrelerin/verilerin veya kararların bulanıklaştırılmasıyla farklı yaklaşımlar üzerine çalışmalar yapılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Bowersox, D.J., La Londe, B.J., Smykay, E.W., (1969). Readings in Physical Distribution Management: The Logistics of Marketing, MacMillan, New York.

[2] Ellram, L. M., (1991). "Supply Chain Management: The Industrial Organization Perspective", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 21 (1): 13-22.

[3] Croom, S., Romano, P. ve Giannakis, M., (2000). "Supply Chain Management: An Analytical Framework for Critical Literature Review", European Journal of Purchasing & Supply Management, 6 (1): 67-83.

[4] Beamon, B.M., (1998). "Models and Methods", International Journal of Production Economics, 55 (3): 281-294.

[5] Min, H.,Zhou, G., (2002). "Supply Chain Modeling: Past, Present and Future", Computer and Industrial Engineering, 43: 231-249.

[6] Srivastava, S.K., (2007). "Green Supply-Chain Management: A State-Of-The-Art Literature Review", International Journal of Management Reviews, 9: 53-80.

[7] Hu, T., Sheu, J. and Huan, K., (2002). "A Reverse Logistics Cost Minimization Model for The Treatment of Hazardous Wastes", Transportation Research Part E, 38 (6): 457–473.

[8] Şengül, Ü., (2009). "Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Kavramı, İşleyişi ve İşletme Modelleri", Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4: 125-139.

[9] Fleischmann, M., Beullens, P. ve Bloemhof-Ruwaard, J.M. and Wassenhove, L. N. V., (2001). "The impact of product recovery on logistics network design", Production and Operation Managment, 10 (2): 156-173.

[10] Krikke, H., Ruwaard, J.B. ve Van, L.N., (2003). "Concurrent Product and Closed-loop Supply Chain Design with an Application to Refrigerators", International Journal of Production Research, 41 (16): 3689-3719.

[11] Bouzembrak, Y., Allaoui, H., Goncalves, G., Bouchriha, H., (2011). "A Multi-objective Green Supply Chain Network Design", Logistics (LOGISTIQUA), 2011 4th International Conference, 31 May – 3 June 2011, Hammamet, Tunus, 357-361.

[12] Ghodsypour S.H. ve O'Brien C., (1998). "A Decison Support System for Supplier Selection Using an İntegrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming'', International Journal of Production Economics, 56-57: 199-212.

[13] Tsiakis, P., Shah, N., ve Pantelides C. C., (2001). "Design of Multiechelon Supply Chain Networks Under Demand Uncertainty", Ind. Eng. Chem. Res., 40: 3585-3604.

[14] Narasimhan, R., Talluri, S., Mahapatra, S. K., (2006). "Multiproduct, Multicriteria Model for Supplier Selection with Product Life-cycle Considerations", Decision Sciences Institue, 37 (4): 577-603.

[15] Zimmermann, H. J., (1976). "Description and Optimization of Fuzzy Sets", International Journal of General Systems, 209-215.

[16] Narasimhan, R., (1980). "Goal Programming in a Fuzzy Environment", Decision Sciences, 11 (2): 325-336.

[17] Leberling, H., (1981). "On Finding Compromise Solutions in Multi Criteria Problems Using The Fuzzy Min-operator", Fuzzy Sets and Systems, 6: 105-118.

[18] Peidro, D., Mula, J., Poler, R. ve Verdegay, J., (1999). "Fuzzy Optimization for Supply Chain Planning Under Supply, Demand and Process Uncertainties'', Fuzzy Set Systems, 160 (18): 2640-2657.

[19] Kumar, M., Vrat, P., Shankar, R., (2005). "A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in A Supply Chain", International Journal of Production Economics, 101 (2): 273-285.

[20] Ahlatcıoğlu Özkök, B., Tiryaki, F. (2011). "A Compensatory Fuzzy Approach to Multi-objective Linear Supplier Selection Problem with Multiple-item", Expert Systems with Applications, 38: 11363-11368.

[21] Amid, A., Ghodsypour, S.H. ve O'Brien, C., (2009). "A Weighted Additive Fuzzy Multiobjective Model for the Supplier Selection Problem Under Price Breaks in a Supply Chain" , International Journal of Production Economics, 121 (2): 323-332.

[22] Gonce Köçken, H., Ahlatcıoğlu Özkök, B., Ahlatcıoğlu, M. (2012). "Çok Aşamalı Çok Ürünlü Tedarik Zincirine Dengeleyici Bulanık Bir Yaklaşım", Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10-12 Mayıs 2012, Konya, 665-674.

[23] Ahlatcıoğlu Özkök, B., Gonce Köçken, H., Budak, E. (2012). "Çok Aşamalı Çok Amaçlı Kapalı Devre Tedarik Zincirine Bulanık Bir Yaklaşım", Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10-12 Mayıs 2012, Konya.

[24] Amin, S. H., Zhang, G., (2012). "An Integrated Model for Closed-loop Supply Chain Configuration and Supplier Selection: Multi-objective Approach", Expert Systems wiht Applications, Elsevier, 39 (8): 6782-6791.

[25] Pishvaee, M. S., Razmi, J., (2012). "Environmental Supply Chain Netwok Design Using Multi-objective Fuzzy Mathematical Programming", Applied Mathematical Modelling, 36 (8): 3433-3446.

[26] Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B., Hejazi, T. H., (2014). "Closed-loop Supply Chain Network Design Under a Fuzzy Environment", Knowledge-Based Systems, 59: 108-120.

[27] Jindal, A., Sangwan, K. S., (2016). "Multi-objective Fuzzy Mathematical Modelling of Closed-loop Supply Chain Considering Economical and Environmental Factors", Annals of Operations Research, 20 Mayıs 2016, 1-26.

[28] Wang, J. ve Shu, Y-F., (2005). "Fuzzy Decision Modeling for Supply Chain Management", Fuzzy Sets and Systems, 150: 107-127.

[29] Chen, C. L. ve Lee, W.C., (2004). "Multiobjective Optimization of Multiechelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices", Computers and Chemical Engineering, 28: 1131-1144.

[30] Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., (1999). "Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets", International Journal of Production Economics, 59 (1-3): 443–453.

[31] Lee, H.L., ve Billington, C., (1992). "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities", Slaon Management Review.

[32] Naim, M. M. ,Towill, D. R., Wikner, J., (1992). Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 22 (5): 3-14.

[33] Ganeshan, R., Harrison, T. P., (1995). "Supply Chain Management", Department of Management Science and Information Systems, Penn State University.

[34] Fox, M., (1997). "Supply Chain Management System", Department of Industrial Engineering, University of Toronto.

[35] Ross, D. F., (1998). Competing Through Supply Chain Management, Creating Market- Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.

[36] Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J. D., (1997). "Supply Chain Management: More Than a New Name For Logistics", The International Journal of Logistics Management, 8 (1): 1-14.

[37] Chopra, S., Meindl, P., (2010). Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation. 4th., Pearson.

[38] Lummus R.R., Krumwide D.W., Vokurka R.J., (2001). "The Relationship of Logistics to Supply Chain Management: Developing a Common Industry Definition", Industrial Managament&Data Systems, 99 (1): 426-431.

[39] Christopher, M., (2005). Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-Adding Networks, Financial Times Prentice Hall, Third Edition, Edinburgh.

[40] Büyüközkan G., Çevik A. , Öztürk, Ö. C. (2004). Tedarik Zinciri Entegrasyonu, YA/EM'2004: Yöneylem Arastırması ve Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 15-18 Haziran, Gaziantep, Adana, 382-384.

[41] Carmichael D., (1998). Supply Chain Planning Systems in Manufacturing, Unpublished Master Thesis in Manufacturing: Management and Technology.

[42] Özdemir, A. İ., (2004). "Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi, Süreçleri ve Yararları", Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23: 87-96.

[43] Levi, S., ve Kaminsky, P., (2000). Designing and Managing the Supply Chain : Concept, Strategies and Case Study, McGraw-Hill, Higher Education.

[44] Frosch, R., Gallopoulos, N., (1989). "Strategies for Manufacturing", Scientific American, 261: 144–152.

[45] Aracıoğlu, B., Tatlıdil, R., (2009). "Tüketicilerin Satın Alma Davranışında Çevre Bilincinin Etkileri", Ege Akademik Bakış, 9 (2): 435-461.

[46] Walker, H., Lucio D. S., Darian, M., (2008). "Drivers and Barriers to Environmental Supply Chain Management Practices: Lessons from the Public and Private Sectors", Journal of Purchasing&Supply Management, 14 (1): 69-85.

[47] Bansal, P., Kendall, R., (2000). "Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness", The Academy of Management Journal, 43 (4): 717-736.

[48] Linton, J., Klassen, R. ve Jayaraman, V. (2007). "Sustainable Supply Chains: An Introduction", Journal of Operations Management, 25: 1075-1082.

[49] Simpson, D., Power, D., (2005). "Use The Supply Relationship To Develop Lean And Green Suppliers", Supply Chain Management: An International Journal, 10 (1): 60-68.

[50] Guojun J., (2009). "Ecological Supply Chains Performance Evaluation and Disruption Risk Management Strategies", Human and Ecological Risk Assessment, 15 (2): 353.

[51] Sarkis, J., (2003). "A Strategic Decision Framework for Green Supply Chain Management", Journal of Cleaner Production, 11 (4): 397-409.

[52] Zsidisin, G. A., Siferd, S. P., (2001). "Environmental Purchasing: A Framework for Theory Development", European Journal of Purchasing&Supply Management, 7 (1): 61-73.

[53] Ho, J. C., Maurice K. S., Tseng, T., David, S. A., (2009). "Opportunities in Green Supply Chain Managemen", The Coastal Business Journal Spring, 8 (1): 18-31.

[54] Büyüközkan, G., Vardaloğlu, Z., (2008). "Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi", Lojistik Dergisi, 8: 66-73.

[55] Zhu, Q. ve Sarkis, J. (2004). "Relationships Between Operational Practices And Performance Among Early Adopters Of Green Supply Chain Management Practices In Chinese Manufacturing Enterprises", Journal of Operations Management, 22: 265-289.

[56] Walton, S. V., Handfield, R. B., Melnyk, S. A., (1998). “The Green Supply Chain: Integrating Suppliers into Environmental Management Processes”, International Journal of Purchasing and Materials Management, 34 (2): 2-11.

[57] DeMendonça, M., Baxter, T. E., (2001). “Design for the Environment (DFE): An approach to Achieve the ISO 14000 International Atandardization”, Environmental Management and Health, 12 (1): 51-56.

[58] Sarkis, J., Rasheed A., (1995). “Greening The Manufacturing Function”, Business Horizons. 38 (5): 17-27.

[59] Karaçay, G., (2005). “Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş”, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14 (1): 317-331.

[60] Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R., (1998). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices, Reverse Logistics Executive Council, University of Nevada.

[61] Keskin, M.H., (2006). Lojistik-Tedarik Zinciri Yönetimi, Nobel, Ankara.

[62] Şengül, Ü., (2010). “Atıkların Geri Dönüşümü ve Tersine Lojistik’, Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, 6 (1): 73-86.

[63] Kumar, S., Malegeant, P., (2006). “Strategic Alliance in a Closed-loop Supply Chain, a Case of Manufacturer and Eco-non-profit Organization”, Technovation, 26 (10): 1127-1135.

[64] Li, H. X. ve Vincent C. Y., (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-Making, First Edition, CRC Press, Florida.

[65] Zadeh L. A., (1965). “Fuzzy Sets” , Information and Control, 8(3): 338-353.

[66] Serhat YILMAZ, KOÜ, Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları Ders Notları, 2006.

[67] Altaş, İ. H. , (1999). “Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı” , Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 62: 80-85.

[68] Yager, R. R., Zadeh, L. A., (1991). "An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems", Kluwer Academic Publishers, New Jersey, 297-335.

[69] Kıyak, E., Kahvecioglu, A., (2003). “Bulanık Mantık ve Uçus Kontrol Problemine Uygulanması”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1 (2), 63-72.

[70] Karahan, Ç., (2007). Bulanık Küme Teorisiyle Yüksek Seviyede Buzlanma Potansiyelini Tahmin Eden Program Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[71] Cherkassky, V., Mulier, F. (1998). “Learning from Data Concepts, Theory and Methods”, 389-420: 441.

[72] Zimmermann, H. J., (1993).Fuzzy Set Theory and Its Applications,Sixth Edition, Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.

[73] Çobanoğlu, B., (2000). Bulanık Matematik Ders Notları, Niksar MYO /Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

[74] Sakawa, M., (1993). Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization, Plenum Pres, New York.

[75] Aksoy, Y., Özkan, E. M., Karanfil, S., (2004). Bulanık Mantığa Giriş, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

[76] Chen, S., Hwang, C., Hwang, F., (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Springer – Verlag, Germany.

[77] Klir, G.J., Yuan, B., (1995). Fuzzy setts and fuzzy logic, Theory and applications, Prentice Hall, 357-362, 574s.,USA.

[78] Kaufman, A. ve Gupta, M. M., (1988). Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science, Elseiver Science Publishers B.V., The Netherlands.

[79] Ballı, S., Karasulu, B., (2013). "Bulanık Karar Verme Sistemlerinde Paralel Hesaplama" , Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (2): 61-67.

[80] Lai, Y. J., Hwang, C.L., (1992). Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin.

[81] Hansen, B. K., (1996). Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems, Term Paper for Fuzzy Coursa at Technical University of Nova Scotia.

[82] Özkan, M. M., (2003). Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, Bursa.

[83] Selim, H., Özkarahan, İ., (2008). "A Supply Chain Distribution Network Design Model: An Interactive Fuzzy Goal Programming-Based Solution Approach", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36: 401-418.

[84] Zeleny, M., (1982). Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York.

[85] Bogetoft, P., Pruzan, P., (1997). Planning with Multiple Criteria: Investigation, Communication and Choice, Handelshojskolens Forlag, Copenhagen Business School Press.

[86] Chankong, V., Haimes, Y. Y., (1983). Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology, North-Holland, New York.

[87] Ahlatcıoğlu B., (2005). Bulanık Karar Verme ve Tesis Yeri Seçimine Bir Uygulama, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[88] Evren, R., Ülengin, F., (1992). Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

[89] Ross, T., (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications, John Wiley & Sons, 3. Baskı, West Sussex.

[90] Köçken, G. H., (2011). Şebeke Analizlerine Bulanık Yaklaşımlar, Doktora, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[91] Zimmermann, H. J., (1978). "Fuzzy programming and Linear Programming with Several Objective Functions", Fuzzy Sets and Systems, 1: 45-55.

[92] Araştırma, http://www.igd.com/index.asp?id=1&fid=1&sid=5&tid=47&cid=564, 11 Şubat 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sema AKIN

Doğum Tarihi ve Yeri : 14.06.1991 / Eyüp (İSTANBUL)

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sema_akin_1991@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Yüksek Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Eyüp Anadolu Lisesi	2009