

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK MODLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN
STRATEJİK PLANLAMASINDA KRİTİK FAKTÖRLERİN
MODELLENMESİNE YÖNELİK BİR ÇÖZÜM
YAKLAŞIMI**

Endüstri Yük. Müh. Umut Rıfat TUZKAYA

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 7 Ağustos 2007
Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (Okan Ü.)
: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)
: Doç. Dr. Tijen ERTAY (İTÜ)
: Y. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PROBLEMİN TANIMI VE KAPSAMI	6
2.1 Problem Tanımı	6
2.2 Taşımacılık Ağları	7
2.2.1 Taşımacılık Ağını Oluşturan Noktalar	8
2.3 Taşıma Modları	8
2.3.1 Karayolu Taşımacılığı	9
2.3.2 Demiryolu Taşımacılığı	10
2.3.3 Denizyolu Taşımacılığı	12
2.3.4 Havayolu Taşımacılığı	13
2.4 Taşıma Modlarının Birlikte Kullanılması ve İlgili Tanımlar	14
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
3.1 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Stratejik Seviyede Yapılmış Çalışmalar	17
3.2 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Taktiksel Seviyede Yapılmış Çalışmalar	30
3.3 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Operasyonel Seviyede Yapılmış Çalışmalar	34
3.4 Genel Değerlendirme	37
4. MODEL TASARIMI	41
4.1 Modelleme Güçlükleri	43
4.2 Modelin Yapısı	44
4.2.1 Model Varsayımları	44
4.2.2 Çok Ürünlü Model	45
4.2.3 Çok Aşamalı Model	45
4.2.4 Çok Modlu Taşıma Modeli	46
4.2.5 Çok Seviyeli ve Çok Amaçlı Model	47
4.3 Analitik Ağ Süreci Metodolojisi ile Taşıma Modu Ağırlıklandırma	48
4.3.1 Ürün Özellikleri Kriter Kümesi	49
4.3.2 Esneklik Kriterleri Kümesi	50

4.3.3	Güvenilirlik Kriterleri Kümesi	51
4.3.4	Hız Kriterleri Kümesi	51
4.3.5	İzlenebilirlik Kriterleri Kümesi	51
4.3.6	Teşviklerle İlgili Kriter Kümesi	52
4.3.7	Maliyet Kalemleri ile İlgili Kriter Kümesi	52
4.3.8	Güvenlik Problemleri ile İlgili Kriterler Kümesi	53
4.3.9	Risklerle ilgili Kriterler Kümesi	53
4.3.10	Kriterler Arası İlişkilerin Kurulması ve Taşıma Modu Ağırlıklarının Bulunması	54
4.4	Analitik Ağ Süreci ile Uygun Liman Seçimi.....	55
4.4.1	Liman Konumu ile İlgili Kriterler Kümesi	55
4.4.2	İç Bölge Ekonomisi Kriterleri Kümesi	56
4.4.3	Limanın Fiziksel Özellikleri ile İlgili Kriterler Kümesi	56
4.4.4	Liman Verimliliği Kriterleri Kümesi.....	57
4.4.5	Maliyetlerle İlgili Kriterler Kümesi.....	57
4.4.6	Diğer Koşullarla İlgili Kriterler Kümesi	57
4.5	Model Formülasyonu.....	58
4.5.1	Modelde Kullanılan İndisler, Parametreler ve Karar Değişkenleri	58
4.5.2	Amaç Fonksiyonları	62
4.5.3	Modelin Kısıt Seti.....	65
5.	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	68
5.1	Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı.....	68
5.1.1	Analitik Ağ Süreci Literatür Araştırması	68
5.1.2	Analitik Ağ Sürecinin Yapısal Özellikleri.....	70
5.1.3	Analitik Ağ Sürecinin Temel Adımları	72
5.2	Çok Seviyeli Programlama	75
5.2.1	Çok seviyeli Programlama Literatürü.....	75
5.2.2	Çok Seviyeli Programlamanın Genel Tanımı.....	78
5.2.3	Çok Seviyeli Programlama Problemine Çözüm Yaklaşımları	79
5.2.4	Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Doğrusal Programlama Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı	81
5.2.5	Çok Seviyeli Programlamada Dengeleme	86
5.2.6	Bütünleştirici Bulanık Dengeleme Operatörleri	87
5.2.7	Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Doğrusal Programlamaya Etkileşimli ve Tekrarlı Yaklaşım.....	90
6.	UYGULAMA.....	92
6.1	Taşıma Ağının Genel Yapısı	93
6.2	Analitik Ağ süreci ile Taşıma Modlarının Ağırlıklandırılması	95
6.3	Analitik Ağ Süreci ile Marmara Bölgesi Limanlarının Seçimi	99
6.4	Uygulamada Kullanılan Verilerin Toplanması.....	103
6.5	Modelin Geçerliliğinin Doğrulanması.....	114
6.6	Modelin Farklı Amaç Fonksiyonları İçin Çözdürülmesi.....	115
6.7	Çok Seviyeli Modelin Bulanık Programlama ile Çözülmesi.....	121
6.8	Çok Seviyeli Bulanık Modelin Dengeleme Operatörü Kullanılarak Çözülmesi.	124
6.9	Çok Seviyeli Bulanık Modelin Çözümüne Etkileşimli Yaklaşım	127
6.10	Etkileşimli Yaklaşım ile Uzlaşımçı Sonuca Varılması ve Prosedürün Sonlandırılması	131
6.11	Senaryo Analizleri	132
6.11.1	Senaryo 1: Taşıma Modu Etkinliği Amacının Olmaması Durumu	133

6.11.2	Senaryo 2: Kapasite Kısıtlarının Olmadığı Durum	135
6.11.3	Senaryo 3: Demiryolu Modunun Kullanılmadığı Durum.....	137
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	140
KAYNAKLAR.....		143
EKLER		153
Ek 1	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisi.....	154
Ek 2	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Ağırlıklandırılmış Süper Matrisi	155
Ek 3	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Limit Süper Matrisi.....	156
Ek 4	Uygun Liman Seçimi Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisi.....	157
Ek 5	Uygun Liman Seçimi Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Ağırlıklandırılmış Süper Matrisi.....	158
Ek 6	Uygun Liman Seçimi Amaçlı Analitik Ağ Sürecinin Limit Süper Matrisi	159
Ek 7	Çok Seviyeli Bulanık Modelin Çözümü İçin Kullanılan Programın Kodları	160
ÖZGEÇMİŞ.....		167

SİMGE LİSTESİ

i	Üretim tesisleri indeksi
j	1. aktarma istasyonları indeksi
k	2. aktarma istasyonları indeksi
l	Yerel depolar indeksi
m	Talep noktaları indeksi
p	Ürün tipi indeksi
a	Taşıma modu indeksi
λ_a	a . taşıma modun ağırlığı
D	Talep miktarı
M_{tas}	Taşıma maliyeti seti
T_{tas}	Taşıma süresi seti
M_{akt}	Aktarma maliyeti seti
T_{akt}	Aktarma süresi seti
M_{depo}	Depolama maliyeti seti
T_{depo}	Depolama süresi seti
S	Kapasite seti
M_{sbt}	Yatırım maliyeti seti
M_{slt}	İşletme maliyeti seti
X	Taşınan ürün miktarı değişken seti
Y	Açılan noktalar değişken seti
A	İkili kıyaslama matrisi
w	Öz vektör
$\lambda_{\max}$	En büyük öz değer
W	Süper matris
C	Karar sistemin içindeki kümeler
el	Karar sistemi kümeleri içindeki elemanlar
x	Farklı seviyelerdeki karar vericilerin kararlarını temsil eden vektör
F	Farklı seviyelerin amaç fonksiyonları
b	Seviye sayısı
G	Fizibil seçenekler seti
g	İçbükey kısıt seti

$\bar{x}^*$	İdeal sonuç vektörü
f^A	Amaç fonksiyonunun alt sınır değeri
$f^{\bar{U}}$	Amaç fonksiyonunun üst sınır değeri
$\bar{e}$	Tolerans değeri
$\mu_{\bar{x}}$	Karar değişkenlerinin üyelik fonksiyonları
μ_f	Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonları
λ	Genel tatmin seviyesi
I	Birim vektör
μ_{but}	Bütünleştirilmiş bulanık set için üyelik derecesi
μ_D	Min-sınırlandırılmış toplam operatörü
μ_{ve}	“bulanık ve” dengeleme operatörü
μ_{veya}	“bulanık veya” dengeleme operatörü
γ	Gamma dengeleme operatörü
wk	Karar vericilerin amaç fonksiyonlarına atadıkları ağırlıklar

KISALTMA LİSTESİ

LHS	Lojistik Hizmet Sağlayıcısı
AAS	Analitik Ağ Süreci
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
ÇSP	Çok Seviyeli Programlama
DOKTP	Doğrusal Olmayan Karmaşık Tamsayılı Programlama
DKTP	Doğrusal Karma Tamsayılı Programlama
DTP	Doğrusal Tamsayılı Programlama
DP	Doğrusal Programlama
KDS	Karar Destek Sistemi
TP	Tamsayılı Programlama
DOP	Doğrusal Olmayan Programlama
MP	Matematiksel Programlama
Oper.	Operasyonel
Op.	Operatör
AMPL	A Mathematical Programming Language

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Çok modlu taşımacılık gösterimi 15
Şekil 2.2	Modlar arası taşımacılık gösterimi 15
Şekil 2.3	Kombine taşımacılık gösterimi 16
Şekil 3.1	Çalışmalarda ele alınan problemlerin zaman ufkuna göre dağılımı 38
Şekil 3.2	Çalışmaların uygulama yönünden dağılımı 38
Şekil 3.3	Uygulanacak çözüm yöntemleri için karar vericilerinin dağılımı 39
Şekil 3.4	Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemlerinin dağılımı 40
Şekil 4.1	Problemin tanımlanması ve çözüm adımları 42
Şekil 4.2	Taşıma ağı genel gösterimi 44
Şekil 4.3	Taşıma ağı aşamaları 45
Şekil 4.4	Model amaçlarının hiyerarşisi 47
Şekil 4.5	Taşıma modlarının ağırlıklandırılmasında kullanılan kriter kümeleri 48
Şekil 4.6	Uygun liman seçiminde kullanılan kriter kümeleri 55
Şekil 5.1	Hiyerarşi ve ağ arasındaki yapısal fark (Chung vd., 2005) 70
Şekil 5.2	Taşıma modu alternatifi ağırlıklandırma için önerilen AAS modeli 71
Şekil 5.3	Çok seviyeli problemlere bulanık programlama yaklaşımı adımları 82
Şekil 5.4	Çok seviyeli modelin μ_{ve} operatörü kullanılarak çözülmesi 89
Şekil 6.1	Mevcut çok modlu taşımacılık sisteminin akışı 92
Şekil 6.2	Mevcut durumdaki demiryolu uzun taşıma rotası 93
Şekil 6.3	Örnek taşıma ağının genel yapısı 94
Şekil 6.4	Taşıma modları ağırlıklandırma modelinin detaylı yapısı 96
Şekil 6.5	Kriter kümeleri arası ilişkiler 97
Şekil 6.6	Taşıma modu seçimi ile ilgili kriter kümelerinin ağırlıkları 97
Şekil 6.7	Super Decision programına kriter kümeleri ile ilgili veri girişi 98
Şekil 6.8	Taşıma modu alternatiflerinin ağırlıkları 99
Şekil 6.9	Marmara Bölgesi'nde uygun liman seçimi modelinin detaylı yapısı 101
Şekil 6.10	Liman seçimi ile ilgili kriter kümelerinin ağırlıkları 102
Şekil 6.11	Alternatif konteyner limanlarının ağırlıkları 102
Şekil 6.12	Taşıma modu etkinliği maksimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 115
Şekil 6.13	Toplam maliyetlerin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 116
Şekil 6.14	Taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 117
Şekil 6.15	Aktarma ve depolama maliyetlerinin minimize edilmesiyle gerçekleşen taşımalar 118
Şekil 6.16	Yatırım ve işletme maliyetlerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 118
Şekil 6.17	Toplam sürenin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 119
Şekil 6.18	Taşıma sürelerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 120
Şekil 6.19	Aktarma ve depolama sürelerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 120
Şekil 6.20	Taşımacılık ağı probleminin bulanık programlama ile çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 124
Şekil 6.21	γ 'daki değişim sonucu λ ve μ_{ve} 'nin aldığı değerlerdeki değişim 126
Şekil 6.22	Organizasyondaki karar vericilerin amaçlar için belirledikleri ağırlıklar 127
Şekil 6.23	γ 'daki değişim sonucu ağırlıklandırılmış modelin λ ve μ_{ve} değerlerdeki değişim 130
Şekil 6.24	Taşımacılık ağı probleminin ağırlıklandırılmış bulanık programlama ile çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar 130
Şekil 6.25	Taşımacılık ağı probleminin 1. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen

	taşımlar	134
Şekil 6.26	Taşımacılık ağı probleminin 2. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımlar	136
Şekil 6.27	Taşımacılık ağı probleminin 3. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımlar	138

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Taşıma Modlarının Kıyaslanması	14
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması	18
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	19
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	20
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	21
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	22
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	23
Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı).....	24
Çizelge 5.1 Amaç fonksiyonlarının farklı çözümlerde alacağı değerler	85
Çizelge 6.1 Almanya'daki üretim tesislerinden Türkiye'deki yerel depolara ürün bazında taşıma maliyeti (YTL/ürün)	104
Çizelge 6.2 Almanya'daki üretim tesislerinden Türkiye'deki yerel depolara karayolu ile taşıma süresi (saat/konteyner).....	104
Çizelge 6.3 Almanya'daki üretim noktalarından ilk aktarma istasyonlarına ürün bazında taşıma maliyeti (YTL/ürün)	105
Çizelge 6.4 Almanya'daki üretim noktalarından ilk aktarma istasyonlarına taşıma süresi (saat/konteyner).....	105
Çizelge 6.5 1. aktarma istasyonlarından 2. Aktarma istasyonlarına ürün bazında taşıma maliyetleri (YTL/ürün)	106
Çizelge 6.6 1. aktarma istasyonlarından 2. Aktarma istasyonlarına taşıma süreleri (saat)	106
Çizelge 6.7 Türkiye içi karayolu ve demiryolu ile ürün bazındaki taşıma maliyetleri (YTL/ürün).....	107
Çizelge 6.8 Türkiye içi karayolu ve demiryolu ile taşıma süreleri (saat/konteyner)	108
Çizelge 6.9 1. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün)	108
Çizelge 6.9 1. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün) (devamı).....	109
Çizelge 6.10 1. aktarma istasyonlarındaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat/konteyner).....	109
Çizelge 6.11 2. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün)	109
Çizelge 6.11 2. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün) (devamı).....	110
Çizelge 6.12 2. aktarma istasyonlarındaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat/konteyner).....	110
Çizelge 6.13 Yerel depolardaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün).....	111
Çizelge 6.14 Yerel depolardaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat)	111
Çizelge 6.15 Talep edilen ürünlerin fiziksel özellikleri	112
Çizelge 6.16 Talep noktalarının ürün bazında talep miktarları (adet)	112
Çizelge 6.17 Aşamalardaki noktaların konteyner kapasiteleri.....	114
Çizelge 6.18 Farklı karar değişkenleri değerleri için amaç fonksiyonlarının aldıkları değerler	121
Çizelge 6.19 Üretim tesisleri ile 1. aktarma noktaları arasındaki taşımalar.....	122
Çizelge 6.20 Üretim tesisleri ile yerel depolar arasındaki taşımalar.....	122
Çizelge 6.21 1. aktarma noktaları ile 2. aktarma noktaları arasındaki taşımalar	122
Çizelge 6.22 2. aktarma noktaları ile yerel depolar arasındaki taşımalar	123
Çizelge 6.23 2. aktarma noktaları ile talep noktaları arasındaki taşımalar	123

Çizelge 6.24	Yerel depolar ile talep noktaları arasındaki taşımalar.....	123
Çizelge 6.25	Maks-min operatörü ile çok seviyeli modelin çözümü.....	124
Çizelge 6.26	Werner'in μ_{ve} operatöründe farklı γ değerleri ile elde edilen sonuçlar.....	125
Çizelge 6.26	Werner'in μ_{ve} operatöründe farklı γ değerleri ile elde edilen sonuçlar (devamı)	126
Çizelge 6.27	Farklı γ dengeleme değerleri için ağırlıklandırılmış çok amaçlı model sonuçları.....	128
Çizelge 6.27	Farklı γ dengeleme değerleri için ağırlıklandırılmış çok amaçlı model sonuçları (devamı)	129
Çizelge 6.28	LHS'nin mevcut uygulamasına göre amaç fonksiyonları değerleri ve tamin düzeyleri.....	132
Çizelge 6.29	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 1'in sonuçları	133
Çizelge 6.29	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 1'in sonuçları (devamı).....	134
Çizelge 6.30	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 2'nin sonuçları	135
Çizelge 6.30	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 2'nin sonuçları (devamı).....	136
Çizelge 6.31	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 3'ün sonuçları	137
Çizelge 6.31	Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 3'ün sonuçları (devamı).....	138

ÖNSÖZ

Karayolu, demiryolu ve denizyolu modlarının birlikte kullanılması, alt yapı sorunları bulunmasına rağmen varış ya da çıkış noktası Türkiye olan veya Türkiye üzerinden transit geçen yükler açısından hayati önem taşımaktadır. Türkiye'nin batısı ve doğusuyla ticaret hacminin artması, ayrıca batı ve doğu ülkelerinin aralarındaki büyük boyutlu yük akışı, Türkiye'deki lojistik hizmet sağlayıcı işletmelerin önemini artırmakta ve doğru stratejiler üretmeye zorlamaktadır. Tez kapsamında yürütülen çalışmada, lojistik hizmet sağlayıcıların stratejik kararlarını alırken, üst seviyede bulunan ve birçok kriter açısından değerlendirme yapan üst yönetimin taşıma modu ile ilgili tercihi, operasyonlarla ilgili birimin maliyetlerin düşürülmesi amacı ve müşteriye kaliteli ve hızlı cevap vermeyi hedefleyen pazarlama biriminin süre minimizasyonu amacı, kendi içlerinde de detaylandırılarak tatmin edilmeye çalışılmıştır. Özellikle mod seçimi ile ilgili çok fazla kriterin dikkate alınması, taşıma ağı ile ilgili tasarlanan matematiksel modelin her bir aşama için uygun mod seçtirmesi, farklı karar vericilerin amaçlarının hiyerarşi gözetilerek bir araya getirilmesi ve uzlaşımçı sonuca varılana kadar etkileşimli çözümün sürdürülmesi ve gerçek uygulamalara uygun geniş çaplı ağların çözümünde hesaplama zorluğu çekmeden çözüm üretilmesi gibi noktalar tez çalışmasını özgün kılmaktadır.

Tez çalışması sırasında, konuyu belirlemeden sonlandırma noktasında kadar tüm aşamalarda yönlendirmesini ve yardımını gördüğüm, başta tez danışmanı hocam Y. Doç. Dr. Semih Önüt olmak üzere tez izleme komitemde bulunan diğer hocalarım Prof. Dr. Mehmet Tanyaş ve Doç Dr. Tijen Ertay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca uygulama aşamasında gerekli olan verilerin sağlanmasında yoğun iş tempolarına rağmen yardımcı olmaktan kaçınmayan Omsan Lojistik, Omfesa Lojistik, Marport Liman İşletmeleri, Turkon Holding, Borusan Lojistik, Lojitek Danışmanlık İşletmeleri yetkililerine de teşekkür ederim. Son olarak da, her zaman olduğu gibi tez çalışmamda da arkamda olup bana destek veren, güvenen ve yardımcı olan sevgili eşim Gülfem Tuzkaya'ya ve bugün bu tezi yapabilir duruma gelmemde en büyük katkıya sahip olan ve üzerimdeki emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

Ağustos, 2007

Endüstri Yüksek Müh. Umut Rıfat TUZKAYA

ÖZET

Ürün maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan lojistik ve özellikle taşımacılık maliyetleri, işletmelerin ve dolayısıyla ülkelerin rekabet gücü üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu etkinin pozitif yöne doğru çekilebilmesi için, taşımacılık sektörünün ekonomik etkinlik ve hizmet kalitesi açılarından belirli performans kriterlerini sağlaması gerekmektedir. İlgili performansın artması ise, bu alanda uzmanlaşmış lojistik hizmet sağlayıcılarının lojistik kaynakları en uygun şekilde kullanarak optimum sonuçlar elde etmesine bağlıdır. Tez çalışması kapsamında, taşımacılık faaliyetlerinde bulunan lojistik hizmet sağlayıcılarının taşıma ağı kurma gibi stratejik düzeyli bir konuda kararlar alırken oluşturacakları modelde, taşıma modlarının etkisini dikkate almaları gerekliliği üzerinde durulmuştur. Uygun taşıma modunun seçim sürecinde, gerekli tüm kriterler literatür bazlı ve uzman görüşlerine dayalı olarak belirlenmiş ve analitik ağ süreci metodolojisi ile çözüm getirilmiştir. Yine taşıma ağının farklı aşamalarında kullanılacak taşıma modları ile aktarma noktaları arasındaki yakın ilişki üzerinde durulmuş ve belirli aşamalardaki alternatif lokasyonların seçimine de analitik ağ süreci uygulanmıştır. Bu iki önemli nokta üzerinde kararlar alındıktan sonra, çok modlu taşımacılık ağı içindeki tüm aşamalarda uygun noktaları seçerek, tedarik ve talep noktaları arasındaki yük akışının optimize edilmesi hedeflenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için, çok seviyeli programlama tekniğinden faydalanılarak lojistik hizmet sağlayıcı işletmenin organizasyonunda, hem hiyerarşik açıdan farklı seviyelerde bulunan, hem de fonksiyonel alan açısından farklı ilgi alanları olan karar vericilerin amaçları etkileşimli ve uzlaşımçı şekilde optimize edilmiştir. Son olarak, çok modlu ve çok aşamalı bir taşıma ağı üzerinde taşımacılık yapan bir lojistik hizmet sağlayıcısının spesifik bir taşıma projesi üzerinde, önerilen model uygulanarak elde edilen sonuçlar, farklı senaryolar üzerinden mevcut durum ile kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Çok modlu taşımacılık, çok aşamalı taşımacılık ağı, analitik ağ süreci, çok seviyeli programlama, bulanık yaklaşım.

ABSTRACT

Especially, the transportation costs in logistics, which constitutes a big part of the product costs, have a big affect on competition of the companies and even countries. To realize a positive affect, transportation industry should provide some specific performance criteria related with the economical efficiency and service quality. Also an increase in this performance degree depends on the obtaining optimum results of using the logistical resources in a convenient manner by the specialized logistics service providers. In this thesis study, considering the affects of transportation modes on constituting a model which is interested in a strategic subject like constructing a transportation network is emphasized. In the process of selecting the mostly convenient transportation modes, all the required criteria are determined by considering the related literature and the opinions of the experts. Then the analytical network process methodology is used to solve this selecting problem. The close relation between the transportation modes that will be used among the points in the network and the points that will be used for short storages and transshipment activities is considered. And the analytical network process is again used to select the convenient ones among the alternative locations. After decision making on these two important points, it is aimed that to optimize the freight flow between suppliers and the demand points by choosing the right transportation modes at each stage of the network. To realize that optimization, the aims of the decision makers from different levels or from different functional areas are satisfied in an interactive and compromised manner by using the multi-level programming technique. Finally, the proposed model is applied on a transportation project of a logistic service provider, which gives service in a multi-modal and multi-echelon transportation network, to compare with the results of the model and the current situation by using different scenarios.

Keywords: Multi-modal transportation, multi-echelon transportation, analytic network process, multi-level programming, fuzzy approach.

1. GİRİŞ

Yük taşımacılığı ülke ekonomilerinin önemli bileşenlerindendir. Üretim, ticaret ve tüketim faaliyetlerinin verimli şekilde gerçekleştirilebilmesi için hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürün taşımaları, etkin sistemler ve doğru zamanlamalar ile desteklenmelidir. Taşımacılık maliyetleri, ürün maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturması sebebiyle işletmelerin ve dolayısıyla ülkelerin rekabet edebilirliği üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bununla birlikte, taşımacılık endüstrisinin hem ekonomik etkinlik hem de hizmet kalitesi açısından belirli performans kriterlerini sağlaması gerekmektedir.

Geçmişte maliyet tabanlı pazarlarda kar ve rekabet üstünlüğü sağlamaya çalışan işletmeler, günümüzde değişen üretim ve yönetim anlayışları, müşteri tabanlı değişen hizmet kalitesi ve stoksuz üretime dayalı tam zamanında tedarik ve dağıtım gibi yüksek standartlara sahip çevrelere ayak uydurmaya çalışmaktadırlar. Bu çalışma ortamının sonucu olarak, özellikle toplam maliyet ve teslimat sürelerinde güvenilirliği sağlamak adına farklı amaçları optimize etmeye çalışan ve bütünleşik hizmetler sunan lojistik hizmet sağlayıcıları (LHS) önem kazanmaya başlamıştır.

Ülke politikalarındaki değişimin ve küreselleşmenin de taşımacılık sektörü ve LHS'ler üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. Ülke sınırlarının ortadan kalması, gümrük birlikleri, serbest ticaret bölgeleri, ürün ve ülke bazında belirlenen kotalar ve bunların doğal sonucu olan küreselleşme ile bir kısmı şu an da görünen bir kısmı ise henüz tam anlaşılamamış olgular, taşımacılık sistemi üzerinde köklü değişiklikler yapmaktadır. Bunun sonucu olarak daha büyük, fakat az sayıda toplama ya da dağıtım merkezleri, aktarma noktaları, bunları besleyen bölgesel depolar ve daha uzun mesafelerde gerçekleştirilen taşımalar ortaya çıkmıştır.

Taşımacılık sistemleri üzerinde önemli etkiler yaratan diğer bir nokta ise çevresel düzenlemelerdeki değişimdir. Birçok ülke yaptıkları uluslararası anlaşmalar ile belirli taşıma modlarının kullanımına özendirme veya zorlama yoluna gitmektedir. Gürültü kirliliği, görüntü kirliliği ve emisyon değerleri açısından çevre ile dost taşımaların gerçekleştirilmesi anlamında devletler ve özel kuruluşlar nezdinde uluslararası projeler yürütülmektedir.

Bu genel saptamaların ardından durum Türkiye açısından incelenecek olursa, jeopolitik konumunun getirdiği avantajlar nedeniyle bölgede ayrıcalıklara sahip bir ülke olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Avrupa-Asya-Ortadoğu üçgenindeki ticari hareketlerde komşu ülkeler çoğu zaman Türkiye'yi devre dışı bırakmakta ve yalnızca besleyici / destekleyici tesis hizmeti veren bir ülke konumuna getirmektedir. Bu durumu değiştirebilmek

için öncelikle altyapı, işletmecilik ve mevzuat açılarından gerekli reformlar yapılarak Türkiye’yi Akdeniz’deki ana hat konteyner gemilerinin sıkça uğradığı transit geçiş koridoruna dâhil etmek önemli bir hedeftir. Ayrıca, dış ticaretinin yaklaşık % 90’ının denizyolu ile gerçekleştiren Türkiye’nin mevcut kamu limanları ve özel sektör limanlarından oluşan mevcut altyapısının sunduğu imkanlar içindeki konteyner taşımalarının payı oldukça düşük kalmaktadır. Özellikle taşıma modları arasında geçiş yapılması durumunda büyük kolaylık sağlayan konteyner taşımacılığının, Türkiye’deki tüm taşıma modlarının etkin kullanılabilmesi adına artırılması gerekmektedir. Son yıllarda özellikle Marmara Bölgesi özel sektör limanlarına bakıldığında konteyner taşımacılığına yapılan yatırımların artması olumlu algılanabilecek bir durumdur.

Bölgesel bazda incelendiğinde de, belirli problemler ve hedefler görülmektedir. Batı Karadeniz’de oluşan yüksek hacimli taşımaların Türkiye üzerinden geçirilebilmesi için uygun limanların inşası gerekmektedir. Marmara Bölgesi’nin kuzey ve güneyinde çok sayıda küçük sayılabilecek liman bulunmaktadır. Bununla birlikte giderek artan talebi karşılayabilecek yeni yatırımların yapılması gerektiği görülmekte ve bu alanı bir merkez haline getirebilmek için Akdeniz’deki örnekleri gibi daha geniş kapasiteli bir limanın yapılması faydalı olacaktır. Ege Bölgesi’ndeki en önemli liman olan İzmir Limanı da yeterli kapasitede olmayıp, limanı körfeze bağlayan kanalın derin olmaması nedeniyle gerekli hizmeti verememektedir. Dolayısıyla bu limanın gerektiği şekilde yeniden düzenlenmesi ve ek yatırımların yapılması gerekmektedir. Özellikle konteyner kapasitesi açısından önemli bir yeri olan Mersin Limanı’nın da liman içi süreçlerinin yeniden yapılandırılarak daha etkin çalışması sağlanmalıdır.

Türkiye’deki taşımacılık sisteminin koordineli ve kombine yapıda faaliyet gösterebilmesi için demiryolu sektörünün gelişimi üzerinde de durulmalıdır. Diğer taşıma modlarının hızlı gelişimi karşısında gerekli önlemlerin alınmaması, demiryolu taşımacılığının geleceğini tehdit eder duruma gelmiştir. Avrupa ülkelerinin çoğu son 30 yıldır kendi demiryollarının mali ve pazar performansını gözden geçirmekte ve yeniden yapılandırmaktadır. Daha da genel olarak dünyaya bakıldığında demiryolu sektörünün sadece diğer taşıma modları karşısında rekabet gücünü artırmaya değil, aynı demiryolu alt yapısı üzerinde birden fazla işletmeciye faaliyet imkanı vererek sektör içi rekabet yaratılmaya çalışılmaktadır. Teknik değişim süreci içerisinde faaliyetlerle de demiryollarının uluslararası entegrasyonu sinyalizasyon, telekomünikasyon, çeken ve çekilen araçlar ve ekipmanların birbirine uyumlu hale getirilmesi ile sağlanmaya çalışılmaktadır.

Türkiye demiryolu ağına bakıldığında, 1950’li yıllardan bu yana ülkedeki gelişmelere paralel olarak yeterli demiryolu inşa edilmemiş ve mevcut demiryollarının düşük olan fiziki ve geometrik standartları yeterli seviyede düzeltilmemiştir. Bunun altında taşımacılık politikaları, işletmecilik, mali yapı, alt yapı, çeken ve çekilen araç parkı, yönetim ve organizasyon yapısı ve insan kaynakları ilgili sorunlar yatmaktadır. Bu sorunlara kısa dönemde, nitelikli personel ve vagon alımı gibi hızlı önlemlerle yaklaşılabilir. Uzun dönemde ise ülke içindeki taşımaların çağdaş seviyeye getirilmesi ve batıda Avrupa Birliği, doğuda ise Türkî Cumhuriyetler, Orta Doğu Ülkeleri ve Karadeniz çevresindeki Bağımsız Devletler Topluluğu ile uyumu ve bütünleşmeyi sağlamak üzere gerekli plan ve eylemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Karayolunun alternatifi olan demiryolu ve denizyolu taşımacılığı ile ilgili anlatılan eksikliklere rağmen taşıma modlarının birlikte kullanılması, varış ya da çıkış noktası Türkiye olan ya da transit geçen yüklerin taşınması açısından hayati öneme sahiptir. Mevcut durumda da lojistik alanında hizmet veren işletmelerin taşıma modlarının faydalarını her taşıma projesinde bir araya getirmeleri gerekmektedir. Çok modlu ağların en iyi şekilde koordine edilmesi ve maliyet, süre ve diğer faktörler açısından etkin taşıma projelerinin gerçekleştirilebilmesi, lojistik firmasının hizmet kalitesini, güvenilirliğini ve karlılığını artıracaktır. Ülke ekonomisi açısından bakıldığında, uygun liman yatırımları ve modlar arası geçişin sağlandığı aktarma noktalarının sayı ve kalitesinin artması durumunda hem mevcut yük hacmi daha etkin taşınacak, hem de ülkemiz üzerinden geçen yük hacminde artış olacaktır. Dolayısıyla çok modlu taşımacılık ağlarında taşıma optimizasyonu üzerine çalışmak özellikle LHS işletmeler açısından ve dolaylı olarak ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır.

Tüm bu sayılan sebeplerden dolayı, taşımacılık faaliyetinde bulunan LHS işletmeler stratejik düzeyde kararlarını alırken, kuracakları modelde taşıma modlarının etkisini büyük oranda dikkate almalıdırlar. Mevcut literatüre bakıldığında, taşıma modları ve çok modlu taşımacılık üzerinde durulmuş birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmında LHS’ler açısından inceleme yapılsa da tedarikçiler, taşıma operatörleri, ağ operatörleri, terminal operatörleri gibi daha spesifik farklı karar vericilerin ön planda olduğu çalışmalar bulunmaktadır. Problemler ise çok modlu taşımacılık içerisinde gereken tesisler ile ilgili yer seçimleri, aktarma terminallerinin operasyonları, dağıtım veya tedarik aşamaları, uzun taşıma aşamaları gibi farklı alanları içermektedir. Diğer bir bakış açısı ise taşımacılık ağının oluşturulması veya oluşturulmuş ağ üzerinde taşıma operatörlerinin uygun rotayı ve taşıma

modunu seçmesidir. Çözüm yöntemi olarak da, deterministik, stokastik, sezgisel, simülasyon gibi yaklaşımlara karşılık sözel olarak yorumların yapıldığı ve değişik bakış açılarının yansıtıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, LHS'lerin taşıma projelerini planlarken maliyet ve süre bazlı sayısal faktörlerin yanında taşıma modları ile ilgili gereken tüm faktörleri dikkate alması üzerinde durulmaktadır. Taşıma modu uygunluk seviyelerinin bir metodoloji ile güvenilir şekilde belirlenmesi, taşımacılık ağı içerisindeki aktarma noktaları ve diğer dağıtım noktalarının seçimi üzerinde direkt etki yapacaktır. Bu sebeple çok modlu taşımacılık ağının modellenmesi aşamasında modların seçimi ve ağ içinde bulunan alternatif noktaların seçimi aşamalarında doğru kriterlerin belirlenmesi hayati önem taşıyacaktır. Bu aşamalarla ilgili olarak literatürdeki çalışmalar ve uzman görüşlerinden yola çıkılarak uygun kriterler belirlenmiştir. Kriterlere göre taşıma modlarının ve ağ içerisindeki belirli aşamalardaki alternatif noktaların seçimi için analitik ağ süreci (AAS) metodolojisi önerilmiş ve bir LHS'ler işletmenin belirli bir projesi için uygulanmıştır. Bu iki önemli nokta üzerinde kararlar alındıktan sonra, çok modlu taşımacılık ağı içindeki tüm aşamalarda uygun noktaları seçerek tedarik ve talep noktaları arasındaki yük akışının optimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada Çok Seviyeli Programlama (ÇSP) tekniğinden faydalanılarak LHS'nin organizasyonunda hem hiyerarşik açıdan farklı seviyelerde bulunan, hem de fonksiyonel alan açısından farklı ilgi alanları olan karar vericilerin amaçları etkileşimli ve uzlaşımçı şekilde optimize edilmiştir. Üst seviyede bulunan ve birçok kriter açısından değerlendirme yapan üst yönetimin taşıma modu ile ilgili tercihi, operasyonlarla ilgili birimin maliyetlerin düşürülmesi amacı ve müşteriye kaliteli ve hızlı cevap vermeyi hedefleyen pazarlama biriminin süre minimizasyonu amacı kendi içlerinde de detaylandırılarak tatmin edilmeye çalışılmıştır. Özellikle mod seçimi ile ilgili çok fazla kriterin dikkate alınması, taşıma ağı matematiksel modelinin her bir aşama için uygun mod seçtirmesi, farklı karar vericilerin amaçlarının hiyerarşi gözetilerek bir araya getirilmesi ve uzlaşımçı sonuca varılana kadar etkileşimli çözümün sürdürülmesi, gerçek uygulamalara uygun geniş çaplı ağların çözümünde hesaplama zorluğu çekmeden çözüm üretilmesi gibi noktalar tez çalışmasını kendine has ve değerli kılmaktadır.

Yukarıda kısaca anlatılan içerik kapsamında tezin organizasyonu aşağıda belirtildiği gibidir.

2. Bölüm'de, problemin genel tanımı, çok modlu ağ tasarımı, ağ içerisindeki elemanlar, taşıma modları ve çok modlu taşımacılık kavramalarının önemi ve tanımları üzerinde durulmaktadır. 3. Bölüm, konu kapsamındaki literatür incelemesini, yapılmış çalışmaları ve

tezin konusunun literatür açısından yerini ve önemini içermektedir. 4. Bölüm’de, modelleme güçlükleri, modelin yapısı ve tüm aşamaları matematiksel formülasyonları ile birlikte detaylandırılmıştır. 5. Bölüm’de ise 4. Bölüm’de detayları verilen modelin çözümünde kullanılan tekniklerin yapısı ve özellikleri, kendi literatürleri ile birlikte anlatılmıştır. 6. Bölüm’de modelin geçerliliğini göstermek adına, bir LHS işletmenin uygulamakta olduğu çok modlu taşımacılık projesine önerilen model uygulanmıştır. Modelin sonuçları analiz edilmiş ve gerçek uygulama sonuçları ile kıyaslamalar yapılarak doğruluğu ispat edilmeye çalışılmıştır. Sonuç bölümünde de elde edilen bulgular, çalışmanın literatüre katkısı ve geliştirme yönünde gelecekte yapılabilecek çalışmalar üzerinde durulmuştur.

2. PROBLEMİN TANIMI VE KAPSAMI

Bu tez çalışmasının amacı, Türkiye gibi uluslararası taşımacılık ağları içerisinde önemli ve stratejik bir yere sahip ülkede ana faaliyetlerinden biri taşımacılık olan lojistik hizmet sağlayıcı (LHS) işletmelerin yük taşımalarında uygun taşıma modunu seçme kararlarını, stratejik faktörleri dikkate alarak vermelerini sağlayacak bir metodoloji oluşturmaktır.

2.1 Problem Tanımı

Özellikle uluslararası taşımacılıkta taşıma mesafelerinin uzun olması ve taşınacak ürünlerle birlikte diğer etkenlerin de taşıma şeklini etkileyecek özelliklere sahip olması nedeniyle, bu alanda faaliyet gösteren işletmelerin uzun vadeli ve stratejik anlamda doğru kararlar alması giderek zorlaşmaktadır. Bu stratejik kararların büyük kısmı, kaliteli hizmet sunabilmeyi sürekli hale getirebilmek için büyük ya da en azından orta ölçekli yatırımlar yapılmasını gerektirmektedir. Bu yatırım kararlarının hemen hemen hiçbir taşıma modundan bağımsız olarak alınamamaktadır. Yük taşınması yapacak araçların tip, sayı, öz mal, dış kaynak kullanma vb. açılardan seçilmesi, depo ve dağıtım merkezi kurulumu için uygun büyüklük, şekil ve yerin seçilmesi, taşıma modu değişikliklerinin ve yine bazı elleçleme işlemlerinin yapılacağı liman, demiryolu terminali gibi aktarma istasyonlarının yer ve kapasitelerinin belirlenmesi gibi kararların tamamı taşıma modlarına direkt bağlı ve birçoğu önemli yatırımlar yapmayı gerektiren kararlardır.

Coğrafi açıdan geniş ve karmaşık bir taşımacılık ağı içerisinde, ürünün tedarik edildiği noktalardan, varış noktalarına kadar geçen süreci bir bütün olarak ele alıp tek bir karara varabilmek mümkün olmamakta ya da yetersiz kararlarla sonuçlanmaktadır. Bu sebeple ana süreci alt süreçlere bölerek taşıma sürecinin farklı aşamalarında farklı taşıma modlarını kullanıp her bir taşıma modunun avantajlarını bir araya getirmek, günümüzdeki genel eğilimi yansıtan akılcı bir yaklaşım olacaktır. Ana sürecin alt süreçlere ayrılması ise, taşınacak yüklerin birleştirilmesi/ayrılması, maliyet, süre ve kapasite açısından uygun aktarma noktalarına taşınması ve bu aktarma sürecinin etkin şekilde yönetilmesi gibi konuları gündeme getirmektedir. Bu noktada, tanımı ileride daha detaylı yapılacak olan çok modlu taşımacılık kavramı ortaya çıkmaktadır.

Tez çalışması kapsamında üzerinde durulan noktalardan ilki, çok modlu taşımacılığın gerçekleştirileceği uzun dönemli bir taşımacılık projesinin planlanması aşamasında farklı kriterler açısından tüm modları kıyaslamaktır. Bu kıyaslama sonucunda amaç, LHS'nin taşıma projesinde hangi taşıma modunu kullanmasının daha uygun olacağını bulmak için,

kantitatif kriterler ile birlikte ölçümü zor olan kalitatif kriterleri kullanarak, modlara belirli ağırlıklar atamaktır. Fakat çoğu zaman taşıma sürecinin tamamında aynı taşıma modunu kullanmak mümkün olmadığından, hangi noktalarda aktarma yapılacağının, alternatifler arasında yine bir seçim süreci uygulayarak belirlemek diğer bir önemli noktadır. Bununla birlikte mevcut aktarma noktalarından birini seçmek yerine uygun olabilecek bir lokasyona LHS'nin kendi aktarma noktasını kurması ve işletmesi diğer bir alternatif olarak düşünülebilecektir. Bu durumda alınacak kararların mali boyutu büyüyecek ve stratejik önemi daha da artacaktır.

İki önemli nokta olan taşıma modu öncelikleri ve her aşamadaki alternatif tesis veya lokasyonlar belirlendikten sonra, belirli bir dönem için ağ içerisinde yapılacak taşımaların optimum şekilde gerçekleştirilebilmesi üzerinde durulacaktır. Bu tip bir problem ile ilgili olarak farklı karar vericilerin farklı düşünceleri ve amaçları olabilecektir. Karar vericiler, yetkileri ve fonksiyonel çalışma alanları açısından farklılıklar gösterecektir. Bu sebeple aynı seviyedeki farklı fonksiyonel alanların ya da alt seviye karar vericilerden üst seviye karar vericilere doğru gidildikçe sürece daha bütüncül ve stratejik açıdan bakan yetkililerin farklı amaçlarını bir araya getirmek diğer bir önemli konudur. LHS işletme içerisinde maliyetleri düşürmeyi amaçlayan operasyon departmanı ile müşteri isteklerini maksimum düzeyde sağlamayı ve hızlı cevap verebilmeyi hedefleyen pazarlama departmanının farklı hedefleri olabilecektir. Bunlara karşılık, kararlara daha genel bakan üst yönetimin tüm faktörler açısından doğru taşıma modları, doğru maliyetler ve doğru zamanlarda taşıma yapmak gibi toplu hedefleri olacaktır. Tüm karar vericilerin eş zamanlı olarak tatmin edildiği bir çözüme ulaşabilmek, probleme bütüncül yaklaşırken bireysel hedeflerinde göz ardı edilmediği uzlaşımçı bir yaklaşımı gerektirmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, bu problemlerin her biri için çözüm teknikleri önerilmiş ve elde edilen çıktılar bir araya getirilerek matematiksel bir modelin girdisi şeklinde kullanılmıştır.

2.2 Taşımacılık Ağları

Taşımacılık faaliyetleri birçok farklı ögenin birleşmesinden oluşan bir sistemi ifade etmektedir. Bu taşıma sistemi ulaştırma ağları, ağlar üzerinde belirlenmiş rotalar, ulusal ve uluslararası düzenlemeler, LHS'ler, bu hizmetten yararlananlar ve mal ve bilgi akışını kolaylaştırmaya yönelik bilgi ve iletişim ağlarından oluşmuş kompleks bir yapıdır. Bu bölümde, taşımacılık ağları içinde kullanılan terimler için çeşitli komisyon ve kuruluşların yaptığı tanımlar sıralanmıştır. Taşıma modları, avantaj ve dezavantajları açısından

incelenmiştir.

2.2.1 Taşımacılık Ağını Oluşturan Noktalar

Taşıma sistemleri, yapı ve akışlarına bağlı benzerliklerinden dolayı ağ yapıları kullanılarak ifade edilir. Ağ terimi, düğüm olarak tanımlanmış lokasyonların oluşturduğu sistem içindeki rotaların şekil ve yapısını gösteren bir terimdir. Rota ise bir ağ içerisindeki iki düğümü birbirine bağlayan bağlantılardan biridir. Dağıtım lojistiği açısından bakıldığında, üreticiler ve son talep noktaları, başlangıç ve bitiş düğümlerini oluşturmaktadır. Ara aşamalarındaki aktarma noktaları ise üzerinde büyük miktarda trafik taşıyan ve çeşitli akışların zorunlu geçiş yaptığı düğümlerdir. Daha kapsamlı taşıma ağları içerisinde, aktarma noktalarına bağlanmış bir koridor boyunca akışın yönünü organize eden, konsolidasyon ve dağıtım noktası amaçlı kullanılan besleyici düğümler de bulunmaktadır. Koridor ise, yükün taşıma modları aracılığı ile akışını destekleyen düğüm ve bağlantıların sırasıdır.

Bir ağın düzenlenmesi ve bağlanabilirliği olarak bilinen topoloji açısından bakıldığında, her taşıma ağı kendi yapısını gösteren spesifik bir tipe sahiptir. Bu tipler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- **Şebeke ağlar:** İki veya daha fazla bağlantı bulunduran ve en az iki düğüme sahip ağlardır.
- **Aktarma merkezli ağlar:** İkincil düğümlerin merkezi düğümlere bağlandığı ağlardır.
- **Doğrusal ağlar:** İki düğüm arasında bir bağlantının olduğu ve her düğümün en fazla iki bağlantıya sahip olduğu ağlardır.
- **Ağaç ağlar:** Düğümlerin oluşturduğu bir hiyerarşinin, üst hiyerarşideki bir düğüme bağlanması şeklinde olan ağlardır.

Şekil 2.1’de genel olarak gösterilen taşıma ağına bakıldığında, yukarıdaki tanımlara göre şebeke ağı sınıfına girdiği görülmektedir.

2.3 Taşıma Modları

Yük taşımacılığında kullanılan ve kendi avantaj ve dezavantajlarına sahip 5 ana mod; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ve boru hatlarıdır. Bununla birlikte tez kapsamında daha çok konyetner taşımacılığı üzerinde durulduğundan boru hattı taşımacılığına hiç değinilmemiştir. Bu modların her birinin kendine has karakteristikleri vardır ve lokasyon, mesafe, taşınacak yük, yükün tipi vb. şartlar dikkate alındığında modlardan birinin en iyi olarak genellenmesi mümkün değildir. Bir taşımada birden fazla modun kullanılması, tek modlu taşımacılığa alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonra ise amaç her bir taşıma

modunun avantajlarını bir araya getirerek taşımacılık sisteminin verimliliğini artırmak olmuştur.

Modlar arası ve çok modlu taşımacılık sistemleri çok aşamalı ve karmaşık yapılar olması sebebi ile sistemin her aşamasında farklı problemlere çözüm getirilmesi gerekmektedir. Mevcut literatüre bakıldığında, çok sayıda çalışmanın modlar arası ve çok modlu taşımacılık sistemini değişik yönleri ile ele aldığı ve uygulayıcılar ve araştırmacılar tarafından büyük ilgi gördüğü anlaşılmaktadır. Lokasyon seçimi, terminal planlaması ve yerleştirmesi, ağ tasarımı, araç rotalama, envanter yönetimi, çizelgeleme, yük dengeleme vb. çalışma alanlarından çok modlu taşımacılık problemlerinin çözümünde faydalanılmaktadır. Bu alanlarda yapılmış çalışmalar ile ilgili detaylar literatür araştırması bölümünde bulunabilir.

2.3.1 Karayolu Taşımacılığı

Karayolu her türlü araziye uygulanabilmesi sebebiyle engebeli bölgelerin, ülkenin üretim merkezlerine entegre olmalarını sağlamakta ve özellikle kapıdan kapıya taşımada en uygun taşıma modu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ulaşım ağlarının geniş olması ve son zamanlarda bütün dünyada transit yolların sayısının artmasına bağlı olarak karayolu taşımacılığı en yaygın kullanılan taşıma modu olmuştur. Oldukça esnek olan bu taşımacılık türünde yükleme ve boşaltmaların kolaylıkla yapılabilmesi, tarifeli yüklemelerin sıkça uygulanabilmesi, kapıdan kapıya hizmet verilebilmesi karayolu taşıma modu kullanım oranını ve talebi arttırmıştır. Buna karşılık kullanılan araçların akaryakıt, bakım ve yol giderleri ile uluslararası taşımacılıkta varolan gümrük tarifeleri karayolu taşımacılığının yüksek maliyetle yapılmasına neden olabilmektedir. Karayolu taşıma modunun verimli kullanılabilmesi için yeterli ve kaliteli bir yol ağının varlığı ve akaryakıt fiyatlarının kararlılığı gerekmektedir.

Karayolu taşımacılığının avantajlarına bakıldığında;

- Diğer modlara oranla altyapı yatırımları daha azdır.
- Terminal gereksinimi genellikle azdır.
- Tüm üretim ve tüketim merkezlerini birbirine bağlama yani kapıdan kapıya taşımacılıkta en elverişli yoldur.
- Uygun coğrafik koşullar altında ulaşım ağı neredeyse sınırsızdır.
- Hızlı servis olanağı sağlar.
- Yükleme boşaltma işlemlerinde kolaylık sağlar.

- Kısa mesafede daha verimli ve ekonomiktir.

Dezavantajları ise şunlardır;

- Transit ülkelerde gümrük işlemleri ve araç geçişleri
- İlave bekleme süreleri
- Yüksek taşıma maliyetleri
- Ağırlık ve süre sınırlamaları
- Yüksek hacimli çıkışlarda ekipman yetersizliği
- Pazar dalgalanmalarında fiyat belirsizliği

Karayolu taşıma modu, kapıdan kapıya ulaştırma kapsamında avantajları göz önünde bulundurularak birden fazla modun kullanıldığı taşıma modelleri entegrasyonlarına dâhil edilmesi, denizyolu ve demiryollarını destekleyici bir işlev olarak görülmesi uygun olacaktır.

2.3.2 Demiryolu Taşımacılığı

Raylı taşıma genellikle ağır, hacimli ve büyük yüklerin karadan uzun mesafeler arasında taşınması için kullanılır. Trenler, tutarlı ve orta dereceli hıza sahip olmasının yanı sıra konteyner veya hacimli yüklerin taşınması için modlar arasında geçişe olanak sağlarlar.

Raylı taşıma hizmeti farklı şekillerde organize edilebilir. Trenler, özel taşımacılardan çok, kamuya ait taşıma araçlarıdır. Karayolu taşımacılığı ile kıyaslandığında, taşıyıcıların sayısı doğal olarak çok azdır. Bunun asıl sebebi ray, vagon ve terminallerin büyük yatırım maliyetleri oluşturuyor olmasıdır.

Bu maliyetler, tesislerin paylaşılması yoluyla azaltılabilir. Bazı ülkelerde ortak sahip olunan rayları ya da başka bir şirketin sahibi olduğu rayları kullanan tren operatörleri bulunmaktadır. Fakat bu tip anlaşmalar yaygın değildir ve operasyonel açıdan problemler yaratmaktadırlar.

Raylı taşımacılığın bir avantajı, altyapının ilgili yerde kurulmuş olması durumunda, çok yüksek taşıma kapasitelerine ve düşük birim maliyetlere sahip olmasıdır. Bu da rekabet ortamını yok eden diğer bir faktördür. Bir organizasyon tarafından iki nokta arasında bir ray altyapısı oluşturulmuşsa, bu ray, noktalar arasındaki bütün taşımayı gerçekleştirebilecek seviyede olacaktır. Başka bir organizasyon aynı noktalar arasında ray alt yapısı kurarak rekabet etme şansını yitirecektir.

Raylı taşımanın diğer bir avantajı ise düşük birim taşıma maliyetlerine sahip olmasıdır. Bu sebeple, göreceli olarak düşük maliyetli olan malzemelerin büyük hacimlerini (kömür ve diğer madensel maddeler) taşımada kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı, raylı taşımacılık

tedarik zincirinin başında bulunan tedarik lojistiği içerisinde hammaddelerin taşınması için sıkça kullanılır. Buna karşın bitmiş ürünlerin taşınmasında göreceli olarak daha çok kullanılan bir moddur.

Raylı taşımacılıktaki en önemli dezavantaj ise esnekliğin eksikliğidir. Bütün tren seferleri, aynı rayları kullandığından dolayı önceden çizelgelenmelidir. Bu, son dakika taşımaları ya da acil taşımalar için çok düşük bir esneklik tanır. Bununla beraber, tren operatörleri farklı hizmetler sunabilmektedirler:

- Atlıkarınca servisi (fabrika ve liman gibi iki nokta arasında sürekli bir hareket)
- Tam tren servisi (bir müşterinin tüm treni kiralaması)
- Çizelgelenmiş bir seferde tam bir vagon kiralınması
- Konteyner taşıma
- Çizelgelenmiş bir seferde bir vagonun diğer yüklerle paylaşılması

Diğer bir konu, trenlerin sadece sabit terminaller arasında belirli bir rotada ilerleyebilmesi ve ara noktalarda duramamasıdır. Müşterilerin çoğu terminallere uzak noktalarda bulunmakta ve tren yolculuğunun başında ve sonunda yüklerini karayolu ile taşımak zorundadırlar. Bu transfer, ek zaman demektir ve trenle taşıma oldukça yavaş bir alternatif olarak düşünülebilir. Bu alternatif, uzun mesafeler için daha cazip, aynı ülke içindeki kısa mesafelerde uygun değildir. İngiltere’de yapılan çalışmalara göre demiryolu taşımacılığında ortalama taşıma uzaklığı 180 km olmalıdır (Waters, 2002).

Demiryolu ile taşımada erişim kısıtlı olsa da bu etkinin azaltılması yönünde önlemler alınabilir. En açık olanı tesisi terminale (limana, havaalanına, vb.) yakın bir yere inşa etmektir. Talebin büyük olduğu durumlarda tesisi özellikli olarak inşa etmek uygun olabilir. Örneğin bir enerji tesisi, kömür taşımak için özel bir ray hattı kurmayı, karayolu ile taşımaya tercih etmelidir.

Avantajları:

- Sabit Fiyat Garantisi
- Çevreye duyarlı bir sistem. Özellikle Avrupa tarafından finansal ve hukuksal olarak destek gören bir sistem
- Diğer taşıma şekillerine göre daha güvenli bir sistem
- Hava koşullarından ve trafik kısıtlamalarından minimum düzeyde etkilenme
- Ülke geçişlerinde karayoluna oranla geçiş kolaylıkları

- Ağır tonajlı yük taşıma imkanı
- Yüksek hacimli/planlı sevkiyatlarda, maliyet ve ekipman tedariki avantajı

Dezavantajları:

- Yaygın ve kaliteli demiryolu altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır
- Yüksek sayıda elleçleme
- Maliyet ve planlama avantajlarına sahip olabilmek için yüksek hacimli taşımalara ihtiyaç duyulmaktadır (Blok Tren Sistemi)
- Ağın ulaşamadığı noktalarda yüksek iç taşıma maliyetleri
- Özellikle Türkiye’de komplike prosedürler.

2.3.3 Denizyolu Taşımacılığı

Deniz taşımacılığı uluslararası taşımada en yüksek oranda kullanılan taşıma şeklidir. Çok büyük miktarda kuru yük, likit ve gaz, konteynerlenebilen malzemeler denizyolu ile taşınmaktadır. Hız faktörünün çok önemli olmadığı düşük değerli (özellikle hammadde) ürünlerin taşınmasında kullanılmaktadır. Yavaş olmasına rağmen güvenilirliği yüksektir. İlk yatırımı pahalı olmasına karşın uzun yıllar kullanılabilir.

En önemli avantajı, çok büyük hacimli ürün taşımaya imkan vermesidir. Dünya ekonomisindeki mal taşımacılığının %90’ına yakın kısmı denizyolu taşımacılığıyla gerçekleştirilmektedir (Waters, 2002). Sabit maliyetleri, demir ve karayolu arasında yer alan denizyolu taşımacılığında değişken maliyetler oldukça azdır.

Avantajları:

- En düşük maliyetli taşıma modeli
- Çıkış-varış limanları arasında herhangi bir transit geçiş ve gümrük işlemi yok
- Altyapı yatırımı gerektirmez (Demiryolu, Karayolu gibi)

Dezavantajları:

- Elleçleme sayısı fazla ve dış kaynak kontrolünde
- Mal hasar riski yüksek
- Yüksek transit zamanı
- Hava şartlarından, transit zamanı ve mal güvenliği açısından yüksek düzeyde etkilenme
- Kalkış/varış günleri açısından esneklik çok düşük
- Hizmet verilen varış noktaları liman ve çevreleriyle sınırlı
- Kapı teslimlerde özellikle Avrupa’da iç taşımalar çok maliyetli.

2.3.4 Havayolu Taşımacılığı

Havayolu taşımacılığında kullanılan araçların oldukça hızlı olması ulaştırmanın da en kısa sürede yapılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte havayolu taşımacılığı, birim ağırlık başına taşımacılığın en yüksek maliyetlerle yapıldığı türdür. Karayolu taşımacılığında olduğu gibi kapıdan kapıya hizmet verme olanağı son derece sınırlıdır. Fakat günümüzde yaşanan uluslararası rekabet, bu türün gelişmesini hızlandırmakta; modern havaalanları, son teknoloji ürünü uçaklar, geliştirilmiş kapasiteler, ileri depolama sistemlerinin varlığı havayolu taşımacılığının yaygın bir biçimde yapılmasına olanak tanımaktadır. Havayolu taşımacılığı, yükleme ve boşaltmaların sık aralıklarda yapılabildiği güvenilir ve esnek taşımacılıktır.

Kısıtlı kitle taşımacılığı, yüksek hızı ve belli koşullarda geniş ulaşım ağı kurma özelliği, güvenilirliği, konforu, rahatlığı olan bir sistemdir. Ekonomik olma özelliği ulaşılan mesafe uzadıkça artmaktadır. Maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle daha çok yolcu taşımacılığında tercih edilen bir sistemdir.

Avantajları:

- Taşıma süresinin kısalığı
- Taşıma ve elleçlemede yüksek güvenlik düzeyi
- Alternatif taşıma araçlarının (havayolları şirketlerinin) olması, esnek planlama yapabilme
- Sistemin hızlı olması nedeniyle kolaylaştırılmış gümrük/taşıma prosedürleri
- Küçük hacimli taşımaların yapılabilmesi
- Hassas kargoların hasarsız taşınması (elektronik v.b.)

Dezavantajları:

- Taşıma maliyetinin yüksek olması
- Yüksek hacim ve tonajlarda, erken rezervasyon yaptırılması gerekliliği
- Hava koşullarından etkilenme oranının yüksek olması

Yukarıda karakteristik özellikleri verilen ve kendi içlerinde değerlendirilen taşıma modlarının kıyaslanması Çizelge 2.1’de verilmiştir. Kıyaslama kriterleri olarak; maliyet, hız, hizmet alanı, tarifeli seferlerin sıklığı, tarifelerin uygulama güvenilirliği seçilmiştir. Taşıma modlarının kıyaslanmasına ilişkin kriter kümeleri ve alt kriterleri, ilerleyen bölümlerde daha detaylı olarak verilmiştir (William vd., 2003).

Çizelge 2.1 Taşıma Modlarının Kıyaslanması

Taşıma Türü	Maliyet	Hız	Hizmet Alanı	Tarifeli Seferlerin Sıklığı	Tarifelerin Uygulanma Güvenilirliği
Karayolu	Yüksek	Hızlı	Çok Geniş	Yüksek	Yüksek
Denizyolu	Çok Düşük	Yavaş	Sınırlı	Çok Düşük	Orta
Havayolu	Çok Yüksek	Çok Hızlı	Geniş	Yüksek	Yüksek
Demiryolu	Orta	Orta	Orta	Düşük	Çok Yüksek
İç su yolu	Düşük	Yavaş	Sınırlı	Düşük	Orta
Boru Hattı	Düşük	Yavaş	Çok Sınırlı	Orta	Yüksek

Taşımacılık ağları tedarik zinciri yönetimi açısından incelendiğinde uygun mod seçiminin zincir performansı üzerinde büyük etkisi olduğu açıktır. Parti hacmi büyüklüğü, emniyet stocku, transit stock, taşıma süresi ve taşıma maliyeti gibi tedarik zinciri performans ölçütleri taşıma modları arasından uygun olanı seçme aşamasında kullanılabilecek kriterlerdendir. Dikkat edilmesi gereken husus; denizyolu, demiryolu, karayolu ve havayolu şeklindeki sıralamada tüm kriterlerin aldığı değer genellikle azalacak buna karşılık sadece maliyet kriterinde artma olacaktır. Amaç, bu kriterlerin tümünü dikkate alarak bir optimizasyon yapmak ise çoğu zaman bu modların birden fazlasını birlikte kullanmak uygun olacaktır.

2.4 Taşıma Modlarının Birlikte Kullanılması ve İlgili Tanımlar

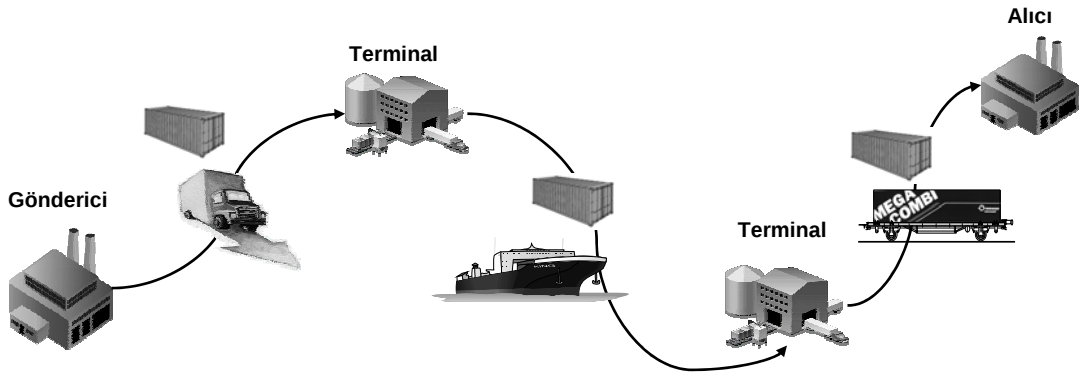
Taşıma modlarının bir taşımacılık projesi içerisinde birlikte kullanılması farklı şekillerde gerçekleşebilir. Birden fazla taşıma modunun birlikte kullanılmasına rağmen bu farklılıklardan dolayı farklı terimler ortaya çıkmıştır.

Taşıyan yükün bir ya da birden fazla taşıyıcı tarafından, tek bir taşıma modu kullanılarak taşınması tek modlu taşımacılık olarak bilinmektedir. Avrupa Ulaştırma Bakanları Konferansı'nda (ECMT- European Conference of Ministers of Transport) yapılan çok modlu taşımacılık tanımı; Eşyaların en az iki farklı taşıma modu kullanılarak taşınması şeklindedir. (ECMT, 2003). Bu tanıma göre değerlendirme yapılırsa, aşağıda tanımlanan modlar arası taşımacılık, çok modlu taşımacılığın özel bir halidir. Yüklerin uluslararası çok modlu taşınması konulu Birleşmiş Milletler Kongresi, uluslararası çok modlu taşımacılığı şöyle tanımlamıştır; çok modlu taşımacılık operatörü tarafından ve bir çok modlu taşımacılık kontratını baz alarak, bir yükün bir ülkedeki belirli bir yerden, başka bir ülkedeki belirli bir yere teslimi sırasında en az iki farklı taşıma modunun kullanılmasıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Çok modlu taşımacılık gösterimi

Modlar arası taşımacılık ise, aynı taşıma kabı veya karayolu taşıtı içindeki yükün iki veya daha fazla taşıma modu kullanılarak taşınması ve mod değişimlerinde yükün herhangi bir elleçlemeye maruz kalmadığı taşıma şeklidir (Şekil 2.2). Burada taşıma aracı karayolu ya da demiryolu aracı veya gemi olabilir. Boş konteyner veya hareketli kasaların dönüş taşımaları, içlerinde taşınan bir yük olmadığından dolayı, modlar arası taşımacılık kapsamına girmemektedir. Bu tip taşımalar modlar arası taşımacılıkla ilgilidirler ve boş hareketlerle ilgili verilerin modlar arası taşımacılık verileri ile birlikte toplanması istenen bir durumdur (ECMT, 2003).



Şekil 2.2 Modlar arası taşımacılık gösterimi

UNECE'nin (United Nations Economic Commission for Europe) kombine taşımacılık için yaptığı tanım modlar arası taşımacılık tanımı ile aynı olması ile birlikte ECMT'nin yaptığı yeni tanım şöyledir: İçinde yük olan pasif bir taşıma kabının enerji tüketen diğer bir aktif ünite ile taşınması/çekilmesi (ECMT, 2003). ECMT'nin taşımacılık politikası gereği bu tanım sınırlandırılarak şu şekilde daha netleştirilmiştir: Kombine taşımacılık, Avrupa'daki taşıma aşamasının büyük kısmının demiryolu, denizyolu veya iç su yolu ile başlangıç ve/veya bitiş aşamalarının ise, mümkün olduğunca kısa tutulup karayolu ile gerçekleştirildiği modlar arası taşımacılıktır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Kombine taşımacılık gösterimi

Tez çalışmasında üzerinde durulacak problemin tanımlanması ve sıkça kullanılacak olan terimlerin açıklanmasının ardından konu ile ilgili literatürdeki çalışmaların araştırılmasına geçilmiştir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, taşımacılık ağı tasarımı, taşımacılık operasyonları ve çok modlu ve modlar arası taşımacılık konuları ile ilgili bir literatür araştırması sunulmuştur. Bölüm kapsamında, belirtilen alanlarda yapılmış olan 78 adet makale ve 14 adet tez çalışmasına yer verilmiştir. Öncelikle, incelenen çalışmalarda ele alınan problem tanımlanmış, daha sonra bu problemin çözülmesinde kullanılan tekniklerden kısaca bahsedilmiştir. Fakat bunlardan önce, makale ve tezlerin zaman ufkuna ve karar vericilere göre sınıflandırılması yapılmıştır (Çizelge 3.1). Bu sınıflandırmada çalışmaların uygulama içerip içermediği ve içeriyorsa gerçek bir uygulama olup olmadığı belirtilmiştir. Zaman ufkuna göre problemler, “stratejik”, “taktiksel”, “operasyonel” olarak ayrılmışlardır. Stratejik seviyede, uzun vadeli (8-10 yıl) problemler söz konusudur. Terminal yeri seçimi, ağ konfigürasyonu ve terminal tasarımı ve yerleşimi gibi konular bu kapsamda incelenmiştir. Taktiksel seviyede genellikle 1 ile 6 aylık veya birkaç haftalık kararlar söz konusudur. Operasyonel seviyede ise gününbirlik ve gerçek zamanlı kararlar verilmektedir. Ayrıca karar vericiler açısından kısa mesafeli taşıma operatörü, terminal operatörü, ağ operatörü ve modlar arası taşıma operatörü şeklindeki bir sınıflandırmaya gidilmiştir. Çalışmalarda yer alan uygulamalar gerçek olay ve varsayım olarak iki başlık altında belirtilmiştir. Kullanılan çözüm yaklaşımları öncelikle matematiksel ve kavramsal olarak ayrılmıştır. Matematiksel çözüm yöntemleri sezgisel, deterministik, simülasyon ve diğer başlıkları altında sınıflandırılmıştır.

3.1 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Stratejik Seviyede Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde, çok uzun vadeli (8-10 yıl) problemler için yapılmış olan çalışmalardan söz edilecektir. Bu çalışmalardan biri Çalışkan tarafından 2006 yılında hazırlanmıştır. Bu makale potansiyel taşımacılık yatırımlarını değerlendirmek için, uzmanların fikir ve deneyimlerinin kullanılmasını taban alan yeni bir karar destek sistemi (KDS) tasarımı ile ilgilidir (Çalışkan, 2006). Bu çalışmada gerçek bir olay incelenmiş, İstanbul’da üçüncü boğaz geçişi için en uygun çözüm araştırılmış ve tüp geçit seçeneğinde karar kılınmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve bilişsel haritalardan faydalanılmış ve bir KDS geliştirilmiştir. Bir diğer makale çalışmasında, Hayuth (1994) ABD’deki aşırı yüklü konteyner problemini tanımlamakta, gereklerini değerlendirmekte, hem problem yaklaşımlarını hem de potansiyel çözümleri gözden geçirmektedir. Karar vericilerin, modlar arası taşımacılık operatörleri olduğu çalışmada vaka olarak pasifik ötesi modlar arası taşımacılık trafiğinin en büyük geçitlerinden biri olan Washington şehri incelenmiştir.

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Tsamboulas vd., 2007	X								X					MACRO- SCAN		
Bubbico vd., 2006		X					X		X			Taşıma Risk Analizi				
Blauwens vd., 2006		X					X	X								Teorik değerlendirme
El-Waheda vd., 2006		X				X		X						Etkileşimli bulanık hedef programlama		
Corry ve Kozan, 2006			X				X	X				Yük planlama ve atama modeli - CPLEX				
Nash vd., 2005	X					X			X			Holistik yaklaşım				
Marin ve Garcia, 2005		X					X		X			Ayrıştırma algoritması				
Eskigun vd., 2005	X					X			X		Lagranj genişletme					
Mika vd., 2005	X									X	Tabu araması ve Tavlama Benzetimi					
Racunica ve Wynter, 2005	X				X	X	X		X		Yazarlar geliştirmiş	DOKTP - CPLEX				
Li ve Tayur, 2005		X				X	X		X			DOKTP				
Poh vd., 2005			X			X		X			Yazarlar geliştirmiş	DKTP GAMS				
Parola ve Sciomachen, 2005	X					X	X		X				Witness paket programı			

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Erera vd., 2005			X			X		X				DTP- ILOG CPLEX 8.1				
Taylor ve Schweitzerb, 2005	X								X							İnceleme
Teo ve Shu, 2004	X					X				X		TP				
Oum ve Park, 2004	X					X			X							Araştırma
Rotter, 2004		X			X		X			X						Uygulama tanıtımı
Walter ve Poist, 2004	X					X				X						Fizibilite anketi
Jansen vd., 2004			X				X		X		Gabov algoritması, Yerel arama algoritması	Yol araması				
Dall'Orto vd., 2004	X					X			X		Tabu Araması Meta Sezgiseller					
Ballis ve Golias, 2004		X					X			X		Uzman Sistem	Benzetim Modülü			
Barthel ve Woxenius, 2004		X					X		X							İnceleme
Martinez vd., 2004			X		X				X				Witness paket programı			
Xu ve Hancock, 2004		X						X				DP				
Arnold vd., 2004		X			X				X		X		ITLSS- Intermodal Term. Location Sim. Sys.			

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Lo vd., 2004		X				X			X					Nested Logit Yaklaşımı		
Bontekoning vd., 2004	X						X			X						Literatür araştırması
Abacoumkin ve Ballis, 2004	X	X			X					X					KDS tasarımı	
Gayialis ve Tatsiopoulos, 2004			X			X			X			Rotalama problemi için karar destek sist.				
Kengpol, 2004	X				X				X			DP LINDO & AHS			KDS Visual Basic	
Arampatzis vd., 2004	X								X			Multi-modal trafik atama modeli			KDS ve C++	Coğrafi bilgi sistemi
Kelleher vd., 2003		X					X		X		Genetik algoritma					
Zhang vd., 2003			X						X			MP ve hiyerarşik yaklaşım				
Ohnell ve Woxenius, 2003	X						X		X							Değerlendirme
Veras ve Thorson, 2003			X	X					X					Olasılıklı analiz		
Lu, 2003	X					X			X					Anket		
Fernandez vd., 2003		X				X		X						Makalede geliştirilmiş		
Barnhart vd., 2002	X					X			X			Lokasyon eleme modeli & Rota belileme				

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Minoux, 2002		X				X				X		DP ve Çizge teorisi				
Taylor ve Whicker, 2002		X				X			X		X	TP				
Plant, 2002	X						X			X						Kamusal politikalar
Alicke, 2002		X			X		X		X		X	Kısıt optimizasyonu modeli - ILOG Solver	SiMPLE++			
Chowdhury ve Chien, 2002	X					X	X	X				Maliyet etkin optimizasyon, Powell algoritması				
Panayides, 2002	X						X			X						Değerlendirme
Choong vd., 2002		X				X	X		X			DTP - CPLEX, AMPL				
Taylor vd., 2002		X		X	X		X		X		X		SIMNET II			
Gambardella vd., 2002			X		X		X		X			Ajan bazlı sistem	MODSIM III			
Banomyong ve Beresford, 2001		X					X		X			Maliyet-modeli				
Dixon vd., 2001	X						X		X							Veri analizi
Tuna, 2001	X									X						Değerlendirme
Gorman, 2001		X					X		X		Tepe tırmanma sezgiseli		Monte-Carlo Simülasyonu			

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Warsing vd., 2001			X		X	X			X			DP ve DOP- CPLEX 6.0				
Wiegman vd., 2001	X				X		X			X						Değerlendirme
Mccalla vd., 2001	X				X		X		X							Anket
Gambardella vd., 2001			X		X		X		X		Tabu araması	Dal-sınır algoritması	MODSIM III			
Erlebacher ve Meller, 2000	X					X			X			DOP				
Crainic vd., 2000		X				X				X	Tabu araması ve Kolon üretimi					
Crainic, 2000		X				X				X		TP				
Rondinelli ve Berry, 2000	X									X						Çevresel yönetim sistemi
Newman ve Araiyo, 2000			X			X	X			X		TP ve Ayrıştırma algoritması				
Schatz ve Shashikumar, 2000	X									X						Değerlendirme
Alberto, 2000	X					X			X			AHS				
Regan ve Golob, 2000,			X							X						Değerlendirme
Newman ve Yano, 2000,			X			X	X	X				Parçalı doğrusal ve dışbükey ağ akışı - CPLEX 6.0				
Jauernig ve Roe, 2000	X									X						Değerlendirme
Southworth ve Peterson, 2000			X			X	X		X							Coğrafi bilgi sistemi ve anket çalışması
Combesa ve Linnemerb, 2000	X					X	X	X						Lokasyon ve fiyat dengeleme		

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Ziliaskopoulos ve Wardell, 2000		X				X	X	X				En kısa yol algoritması				
Kim vd., 1999		X				X		X			Hizmet ağı tasarımı-Cut algoritması					
Tsamboulas ve Dimitropoulos, 1999	X				X				X					Parametrik olmayan istatistiksel testler		Anket
Gorman, 1998						X		X			Tabu ve genetik arama					
Bookbinder ve Fox, 1998		X				X	X		X			En kısa yol algoritması				
D'Este, 1996			X			X	X			X					Olay tabanlı ağ modeli yaklaşımı	
Hameri ve Paatela, 1995	X						X		X				Çok boyutlu simülasyon			
Levinson, 1995		X				X			X		Melez evrimsel algoritma					
Hayuth, 1994	X						X									X
Çalışkan, 2006	X								X					AHS, Bilişsel haritalar	KDS Tasarımı	
Duan, 2006		X		X	X			X			Sevkiyat atama modeli		Monte-Carlo Simülasyonu			
Peric, 2006		X			X		X		X		Duyarlılık bazlı sezgisel algoritma					
Song, 2005		X		X					X		k. en iyi çözüm algoritması					
Chang, 2004			X				X		X		İçsel yaklaşık sonuç algoritması					

Çizelge 3.1 Konu ile ilgili literatürün sınıflandırılması (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Zaman Ufku			Karar Verici				Uygulama			Çözüm Yaklaşımı (Algoritması)					
											Matematiksel				Kavramsal	
	Stratejik	Taktik.	Oper.	Çekici Op.	Terminal Op.	Ağ Op.	Mod Op.	Varsayım	Gerçek Olay	Yok	Sezgisel	Deterministik	Simülasyon	Diğer	Sezgisel	Diğer
Mokkhamakul, 2003		X					X		X				SIMNET II			
Hendren, 2003	X								X					İstatistiksel teknikler		
Alattar, 2003			X		X			X			Çok amaçlı optimizasyon					
Wang, 2002		X				X		X				İki seviyeli programlama				
Wang, 2001	X				X		X		X					Stokastik atama teknikleri		
Abdelghany, 2001		X				X	X	X				İki seviyeli programlama, En kısa yol algoritması	DYNASMART			
Chowdhury, 2000		X				X	X	X				Optimizasyon, Duyarlılık Analizi	CORSIM			
Brander, 2000	X						X		X							Anket araştırması
Graham, 2000	X					X	X		X							Terminoloji oluşturma, Grafiksel modelleme
Newman, 1998			X		X				X			Ayrıştırma Yaklaşımı				

Hamari ve Paatela (1995) çalışmalarında, çok boyutlu benzetim tekniğinin geleneksel lojistik planlama tekniğine oranla stratejik lojistik planlamada daha iyi performans gösterdiğini savunmuşlardır. Bu amaçla modüler bir benzetim tekniği geliştirilmiştir. Karar verici olarak, modlar arası taşımacılık operatöründen faydalanılmıştır ve gerçek bir vaka incelenmiştir. Tsamboulas ve Dimitropoulos (1999) Avrupa üzerinden geçen modlar arası taşımacılığın temel unsurlarından biri olan yük köylerine yapılması muhtemel yatırımların değerlendirilmesinde kullanılan tahmin yöntemlerini ortaya koymuş ve analiz etmiştir. Makale kapsamında 398 yük köyüne anket gönderilmiş ve gerekli veriler toplanmıştır. Bu veriler üzerinden istatistiksel değerlendirmeler, parametrik olmayan istatistiksel testlerle yapılmıştır. Bu çalışmada karar verici, terminal operatörüdür. Combes ve Linnemer (2000) tarafından hazırlanan bir diğer çalışmada ise taşımacılık modellerinin gerçek bir rekabet içinde olduğu Hotelling modeli ortaya konmuştur. Bu modelde firmalar, modlardan birini ya da diğerini tercih ederek müşterilerine hizmet vermek durumundadırlar. Bölge, firma ve müşterilerin tatmin düzeyi analiz edilmiş, daha sonra ise yeni taşımacılık alt yapısının tatmin düzeylerinde ne gibi değişikliklere sebep olacağı incelenmiştir. Son olarak yeni altyapının optimal yapısı merkez planlamacısının ve bağımsız transport sağlayıcısının bakış açılarından değerlendirilmiştir. Burada karar verici, ağ operatörü ve modlar arası taşımacılık operatörüdür. Ayrıca, varsayımsal bir sayısal örnek verilmiştir. Jauernig ve Roe (2000), 1991’de Sovyetler Birliği’nden ayrılmasından sonra Litvanya’da uluslararası yük taşımacılığının rolü ve gelişimini analiz etmişlerdir. Mevcut durumdaki konteyner trafiği akışları ayrıntılı olarak incelenmiş ve Almanya-Litvanya arasındaki uluslararası ticaret akışı örnek olarak verilmiştir. Alberto (2000) üretim ve dağıtım kombinasyonundan oluşan tesislerin, yer seçimi problemine çözüm aramıştır. Amacı, çeşitli alternatiflerden optimum maliyetli ve uzun vadede en karlı olanı seçmektir. Çözüm metodu olarak AHS kullanılmıştır. Metodoloji, paketleme makineleri üreten ACMA GD adlı bir İtalyan şirketler grubuna uygulanmıştır. Burada karar verici ağ operatörüdür. Schatz ve Shashikumar (2000) Okyanus Taşımacılığı Düzenleme Yasaları adlı bir denetleme programının, uluslararası modlar arası taşımacılık üzerindeki etkilerini hedef alan geniş ölçekli bir araştırma yapmışlardır. Rondinelli ve Berry (2000) gelişen çok modlu taşımacılıkla birlikte ortaya çıkan çevre sorunlarını ele almıştır. Çok modlu taşımacılığın dört bileşeni olan kara, hava, deniz ve demiryolu taşımacılığındaki ekipman bakımı, araç ve tesis faaliyetlerinin doğal kaynaklar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Doğal kaynaklar ve çevre üzerindeki bu olumsuz etkilerle baş edebilmek için, “Çevresel Yönetim Sistemi” diye adlandırılan bir sistem önerilmiştir. Erlebacher ve Meller (2000) firmaların karar vermek zorunda olduğu dağıtım merkezi sayısı

ve bu merkezlerin yerleşim yeri problemini ele almışlardır. Burada temel amaç, tesisler, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan üçgenin taşıma maliyetleri, dağıtım merkezlerindeki envanter tutma maliyetleri ve sabit işletme maliyetlerinin minimize edilmesidir. Gerçek bir olayla ilgili örnek verilmiştir. Mccalla vd. (2001) Kanada'daki sekiz adet modlar arası taşımacılık terminalinin etrafındaki alanlara odaklanmaktadır. İki temel soruya cevap aranmaktadır: "Terminallere komşu olan bölgelerin yapısı nasıldır? Bu bölgelerde yer alan endüstrilerle terminaller arasındaki fonksiyonel bağlantı nedir?". Çalışmada üç liman (Halifax, Montreal ve Vancouver), üç havalimanı (Dorval-Montreal, Pearson-Toronto, Vancouver) ve iki demiryolu sahası (her ikisi de Toronto bölgesinde) ele alınmıştır. Toplamda 196 tane üretim ve toptan satış firması çalışmada yer almıştır. Bu firmalarla bir anket çalışması yapılmıştır. Karar verici, modlar arası taşımacılık ve terminal operatörleridir. Wiegman vd. (2001), hazırlamış oldukları çalışmada modlar arası taşımacılık terminalleri için yapılmış olan kombine taşımacılık pazarlama kanallarında modern telekomünikasyon ağlarının önemi üzerinde durmaktadırlar. "Telekomünikasyon ağları, modlar arası taşımacılık terminallerine pazarlama kanallarında daha etkin bir şekilde çalışmaları için ne gibi fırsatlar sunmaktadır?" sorusuna cevap aranmaktadır. Karar verici terminal operatörü ve modlar arası taşımacılık operatörüdür ve uygulama yapılmamıştır. Tuna (2001) çalışmasında, lojistik ve deniz taşımacılığı arasındaki ilişkiyi açıklamış ve Türkiye'nin deniz taşımacılığı açısından durumunu incelemiştir. Lojistik yönetimi ve deniz ulaştırması stratejilerini şekillendiren, konteyner taşımacılığının gelişmesi gibi uluslararası belirleyicileri ortaya koymuştur. Dixon vd. (2001) Çok modlu taşıma planlama aracı adı verilen kırsal alanlarda çok modlu planlamayı kolaylaştıran bir aracın geliştirilmesi ve program işlevselliği üzerinde durmuşlardır. Bu planlama aracına dâhil olan altı modül –transit servis, şehirlerarası otobüs&yolcu treni, banliyö treni, havacılık, bisiklet&yaya ve otoyollar- verilecek kararlara rehber olması açısından mantıksal bir akış şemasına yerleştirilmiştir. Bu altı modül ile ilgili veri toplama çalışması tamamlanmış ve bu verilerle çeşitli analizler yapılmıştır. Herhangi bir matematiksel veya sezgisel model sunulmayıp, geliştirmeler sayısal ortamda yapılmıştır. Panayides (2002) modlar arası taşımacılıkta organizasyonel bağlamda meydana gelen stratejik değişimleri detaylı bir şekilde incelemiştir. Çalışmada, modlar arası taşıma ekonomik sisteminin organizasyonundaki uygun yönetim yapısının etkinliğini değerlendirmek için ekonomik yaklaşımların (özellikle işlem maliyetleri ekonomisi) uygulanması tartışılmaktadır. Chowshury ve Chien (2002) kentsel alanlarda toplu taşıma talebinin geniş bir şekilde yayıldığını vurgulamıştır. Makalede, yolculara modlar arası bir toplu taşıma sistemi hizmeti sunulabileceği görüşü ortaya konulmuştur. Karar verici ağ ve modlar arası taşımacılık

operatörüdür ve varsayımsal bir örnek verilmiştir. Plant (2002) modlar arası yük taşımacılığında demiryolunun rolü ve modlar arası yük hareketleri etrafında gelişen kamusal politikaları incelemiştir. Karar verici modlar arası taşımacılık operatörüdür ve gerçek bir uygulama yapılmamıştır. Barnhart vd. (2002) hizmet ağı tasarımının özel bir hali olan ekspres gönderi teslimatı problemini incelemişlerdir. Ağ üzerindeki rotaları oluşturmak için “rota belirleme” yöntemi ve gönderilerin ulaştırılması için “konum eleme modeli” kullanılmıştır. Bir ekspres gönderi firması üzerinde gerçek bir uygulama yapılmıştır. Lu (2003) uluslararası dağıtım merkezlerinin pazar bölümlendirmesini, nakliyecilerin hizmet ihtiyaçlarına dayanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, dağıtım merkezi müşterilerinin hizmetin farklı özelliklerine verdikleri önemi değerlendirmek için bir metodoloji geliştirilmiştir. Daha sonra, uluslararası dağıtım merkezleri için nakliyecilerin tutumlarına dayalı pazar segmentleri belirlenmiştir. Ohnell ve Woxenius (2003) Avrupa ekspres yük pazarını segmentlere ayırmış ve bu segmentleri demiryolu açısından analiz etmişlerdir. Bu çalışmada özellikle, İsveç ve Kıta Avrupası arasındaki hizmetlere ve İsveç’deki yerel hizmetlere odaklanılmıştır. Modlar arası ekspres yük taşımacılığının uygulamalarına sistem modelleme yöntemleri uygulanmış ve demiryolunun ekspres taşımacılıktaki muhtemel rolleri tanımlanmıştır. Analiz, çok oyunculu ve uzun mesafeli bir taşıma zincirinin her zaman için aynı şartlar altındaki kısa mesafeli bir zincirden daha uzun taşıma zamanları gerektirmediğini göstermektedir. Analiz ayrıca ekspres taşıma sistemlerinin modüler olarak oluşturulduğunu ve alt sistemlerin değiştirilebileceğini göstermektedir. Arampatzis vd. (2004) farklı taşımacılık politikalarının değerlendirilmesi ve analizi için coğrafi bilgi sistemine bir KDS entegre etmişlerdir. Bu aracın amacı, taşımacılık yöneticilerine çevresel ve enerji göstergelerini aktarırken taşımacılık tedarikinin etkinliğini yükseltmeye yardımcı olmaktır. KDS üç seviyede çalışır: İlki taşıma ağı analizini yapar, ikincisi, enerji tüketimi ve kirletici madde emisyonunu hesaplar, üçüncüsü ise seçilen politikaları değerlendirir. Kengpol (2004) yeni bir dağıtım merkezi yatırımını değerlendirmek için model ve kriterler sağlayabilecek bir KDS geliştirmeye çalışmıştır. Makalede yeni bir dağıtım merkezine yatırım yapmayı planlayan endüstrilere uygulanabilir esnek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Değerlendirme modeli ve kriteri sermaye yatırım modeli ve taşıma modeli ile ilişki içinde olan AHS tekniği uygulanmıştır. Abacoumkin ve Ballis (2004) yeni bir Avrupa araştırma projesinde geliştirilen ve kullanılan bir modelleme aracına dayalı bir uzman sistem yapısı oluşturmaya çalışmışlardır. Uzman sistemin amacı, kullanıcı tarafından tanımlanmış bir dizi parametreye dayalı alternatif teknik terminal tasarımları ve araç seçimleri üretmektir. Bu unsurların her biri uygunluk, performans ve maliyet nitelikleri açısından tanımlanmıştır. Bontekoning vd. (2004) modlar arası

taşımacılığın diğer taşımacılık sistemlerinden farklı karakteristiğe sahip olduğunu ve bağımsız bir araştırma alanı olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmuşlardır. Çalışmada 92 adet yayın, modlar arası taşımacılık araştırmasının karakteristikleri belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Mevcut durumun değerlendirmesi yapılmış ve gelecekteki araştırmalarda neler yapılabileceğine değinilmiştir. Dall’Orto vd. (2004) dinamik hizmet ağı tasarımı probleminin özel bir durumunu incelemişlerdir. Bu özel durumda, müşterilere ve diğer terminallere hizmet veren tek bir düğüm vardır. Walter ve Poist (2004) orta-batı ABD’nin karasal eyaletleri için kurulması düşünülen terminaller hakkında bir araştırma yapmıştır. Kurulacak bu terminallerin, paylaşımlı tesisleri ve hizmetleriyle gerek yerel gerekse küresel ticareti kolaylaştıracağı iddia edilmiştir. Oum ve Park (2004) çok uluslu firmaların kuzeydoğu Asya bölgesinde dağıtım merkezi yeri seçimi problemini incelemişlerdir. Çalışmanın üç amacı vardır: (1) Bu firmaların bölgesel dağıtım merkezleri seçiminde önemli olan etkenlerin belirlenmesi, (2) Avrupalı ve Kuzey Amerikalı çok uluslu firmaların, potansiyel dağıtım merkezi yeri olarak kuzeydoğu Asya şehirlerine karşı Kore şehirlerini nasıl değerlendirdiklerinin belirlenmesi ve (3) Kore’nin çok uluslu firmalar için cazip hale getirilebilmesi için Kore hükümetinin doldurması gereken boşlukların belirlenmesidir. Teo ve Shu (2004) depo-perakendeci ağı tasarım problemini incelemiştir. Bu problem, ne kadar deponun nereye kurulacağı, bunların perakendecilerin hizmetine nasıl sunulacağının belirlenmesi ve hem perakendeci hem de depolar için en iyi envanter politikalarının oluşturulmasını içerir. Problemin amacı ise çok kademeli envanter maliyeti ve taşıma maliyetinin minimize edilmesidir. Taylor ve Schweitzer (2005) devlet makamları arasında yürütülen ortak ulaştırma planlarını incelemişlerdir. İncelemede, ABD’deki eyaletlerin ulaştırma bakanlıkları ve büyük şehir planlama organizasyonları arasındaki ortak ulaştırma planlama denemeleri gözden geçirilmiştir. Parola ve Sciomachen (2005) kuzeybatı İtalya liman sisteminin lojistik ağıyla ilgili kesikli olay simülasyonu çalışması yapmışlardır. Kara taşımacılığına önem verilerek, gelecekteki olası konteyner akışı gelişmelerini değerlendirmek amacıyla taşıma fazları yeniden dengelenerek, sistemin olası gelişmeleri analiz edilmiştir. Ayrıca, bazı simülasyon modelleri modlar arası taşımacılık ağındaki aktivitelerin hem özelliklerini hem de problemlerini ortaya çıkarmak amacıyla analiz edilmiştir. Mika vd. (2005) çok modlu, kaynak kısıtlı proje planlama problemine çözüm aramışlardır. Bu çalışmada, indirimli nakit akışı göz önünde tutulmuştur. Faaliyetlerin düğümlerle gösterildiği bir proje sunulmuş ve pozitif nakit akışları faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir. Eskigün vd. (2005) gecikme zamanlarını da dikkate alarak dağıtım ağı tasarımında yeni bir bakış açısı sunmuşlardır. Çalışmalarında, gecikme zamanlarını, dağıtım tesislerinin yerleşimini ve taşıma

modu seçimini dikkate alan bir dağıtım ağı tasarlamışlardır. Çözüm tekniği olarak bir Lagrajyan sezgiseli kullanmışlardır. Racunica ve Wynter (2005) modlar arası taşımacılıkta ray paylaşımının artması problemine odaklanan bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Model, merkezi yerleşim problemlerinin bir genellemesi olarak tanımlanmıştır ve konkav ve doğrusal olmayan maliyet fonksiyonlarının farklı segmentlerde olmasına izin vermektedir. Nash vd. (2005) ağ planlama problemi için holistik bir yaklaşım sunmuş ve bu yaklaşımın ağ planlama probleminin özel bir hali olan “Bisiklet Yolu Ağ Planlama” için nasıl uygulanabileceğini göstermiştir. Birleşik Krallıkların kuzeydoğusundaki 20000 nüfuslu bir kasaba olan Spennymoor’da bisiklet yolu rotaları için bir uygulama yürütülmüştür. Tsamboulas vd. (2007) genel yapıdaki politikaların, modlar arası taşımacılıkta rekabetçi yapıyı korumakta faydalı olduğunu vurgulamışlardır. Fakat probleme özel politikaların, taşımanın modlar arası taşımacılığa dönüştürülmesinde ve tanımlanmasında fayda sağladığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın amacı, modlar arası taşımacılık için probleme özel politikaların elde edilmesinde kullanılabilecek bir metodoloji sunmaktır. Aynı zamanda, pozitif çıktılar elde edebilmek için politika faaliyetinin zorunlu bileşenleri tanımlanmıştır.

Probleme stratejik seviyede çözümler getirilmek üzere hazırlanmış olan bazı doktora tezi çalışmaları da mevcuttur. Graham (1999) çalışmasında, modlar arası taşımacılık sistemlerinin matematiksel olarak modellenmesi için temel bir çerçeve oluşturmuştur. Mevcut taşımacılık sisteminin geliştirilmesinde koordinasyonun sağlanması, dört taşıma modu için de birbirinden bağımsız teknoloji geliştirilmesine neden olmuştur. Bu nedenle yeni bir modelleme çerçevesi oluşturmayı hedefleyen çalışmasının ilk aşamasında genel bir terminoloji oluşturulmuştur. Çalışmanın uzun vadeli hedefi ise, modelleme çerçevesini coğrafi bilgi sistemleri ve global yer bulma sistemleri ile entegre etmektir. Brander (2000) hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde, ABD’nin New Brunswick eyaletindeki modlar arası taşımacılığın gelecekteki gelişiminin bir analizini yapmıştır. Çalışmada, her bir modun modlar arası taşımacılık hareketleriyle ilgili bir veritabanı oluşturmaya yönelik veriler anketler yoluyla toplanmıştır. Wang (2001) tarafından hazırlanmış olan doktora tezi çalışmasında, kamyon yükü taşımacılığı ataması problemine odaklanılmıştır. Özellikle modlar arası taşımacılık tesislerinin çevresindeki yoğun kentsel alanlardaki modlar arası taşımacılık kara hareketlerini destekleyen operasyonlar üzerinde durulmuştur. Hendren (2003) kaynak tahsisinin, bir eyaletin transport sistemi üzerinde olan etkilerini analiz etmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. 1979-1999 yılları arasındaki eyalet çapındaki taşımacılık performans ölçümleri ve eyalet taşımacılık yatırımları arasındaki bağlantılar değerlendirilmiştir.

3.2 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Taktiksel Seviyede Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde, en fazla birkaç aylık ve en az birkaç haftalık kararların söz konusu olduğu taktiksel seviyede yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. İlk olarak makale çalışmaları incelenmiştir. Levinson (1995), verilen bir yıldaki talebin bir önceki yılın talebine bağlı olduğu evrimsel bir taşıma planlama modeli tanımlamıştır. Model, iş yolculuklarının bir kısmını hane taşınmaları ve iş değiştirmelerden ötürü her yıl yeniden dağıtmaktadır. Bu karma-evrimsel model, arz ve talebin eşzamanlı çözüldüğü bir denge modeliyle de karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, iki matematiksel modelden melez-evrimsel bir model çıkartılmıştır. Bu çalışmada karar verici olarak ağ operatöründen faydalanılmıştır. Bookbinder and Fox (1998) Kanada ve Meksika arasındaki modlar arası konteyner taşımacılığı için rotalar oluşturmaya çalışmaktadır. Bu çalışmada karar verici, ağ operatörü ve modlar arası taşımacılık operatörüdür ve en kısa yol algoritması kullanılmıştır. Gorman (1998) çalışmasında, demiryolu çizelgeleme ve talep akış problemlerine çözüm önermiştir. Çözüm tekniği olarak Genetik Algoritmalar ve Tabu Araması tekniklerinden faydalanmışlardır. Yapılan uygulamada gerçek bir olay incelenmemiş, tahmini veriler üzerinden hesaplar yapılmıştır. Karar verici olarak ağ operatöründen faydalanılmıştır. Kim vd. (1999) tarafından hazırlanan çalışmada ise ekspres paket teslimatını içeren geniş ölçekte bir hizmet ağı tasarımı problemini modellemeye ve çözmeye odaklanılmıştır. Modelin amacı, paketlerin başlangıç noktasından varış noktasına olan hareket maliyetlerini minimize etmektir. Bu çalışmada, Service Network Design-Cut adlı bir algoritmadan faydalanılmış ve ayrıca sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Varsayımsal bir sayısal örnek verilmiştir ve karar verici ağ operatörüdür. Ziliaskopoulos ve Wardell (2000) tarafından hazırlanmış olan çalışmada, çok modlu taşıma ağları için zaman-bağımlı bir modlar arası taşımacılık optimal yol algoritması geliştirilmiştir. Karar verici, ağ ve modlar arası taşımacılık operatörleridir. En kısa yol algoritmasından faydalanılmıştır ve varsayımsal bir sayısal örnek verilmiştir. Crainic (2000) özellikle şehirlerarası taşımacılıkta önem taşıyan hizmet ağı tasarımı sürecinden bahsetmiştir. “Frekans hizmet ağı tasarımı” ve “deterministik dinamik hizmet ağı tasarımı” adlı iki ayrı model önerilmiştir. Karar verici ağ operatörüdür, uygulama yapılmamış ve tam sayılı programlamadan faydalanılmıştır. Crainic vd. (2000) sabit yüklü, kapasite sınırı olan, çok ürünlü hizmet ağının, doğrusal maliyetleriyle birlikte tasarlanması problemine çözüm getirmiştir. Çözüm metodolojisi iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, zor bir ağ optimizasyon problemi için etkili bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiş, ikinci kısımda, Tabu Araması ile elde edilen bilgiler genişletilmiştir. Warsing vd. (2001), çok bölgesel dağıtım probleminin; küresel bir pazarda “geleneksel çok modlu kargo tesisleri” ağı ile hizmet

vermenin operasyonel faydalarını gösteren analitik bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, arz ve talep noktalarından oluşan bir ağda, özel havayolu-kargo temelli dağıtım merkezi veya geleneksel bölgeler arası nakliye metotlarını kullanmanın karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmaya olanak sağlamaktadır. Karar verici, terminal ve ağ operatörüdür ve gerçek bir olay incelenmiştir. Gorman (2001), Burlington Northern ve Santa Fe demiryollarıyla ilgili olarak modlar arası taşımacılık ağı olanaklarını araştırmışlar ve ücretlendirme problemleri için çözüm üretmişlerdir. Çözüm yaklaşımı, temel mikroekonomi, Monte-Carlo simülasyonu ve basit “tepe-tırmanma” sezgiselinin kombinasyonudur. Karar verici modlar arası taşımacılık operatörüdür ve gerçek bir olay incelenmiştir. Banomyong ve Bersford (2001) Lao’nun tekstil ihracatçıları için alternatif rotaları ve metotları tespit etmiştir. Çok modlu taşıma alternatiflerini canlandırmak ve açıklamak için bir maliyet modeli kullanılmıştır. Sunulan beş ayrı alternatif rota, taşıma modları ve düğüm bağlantıları için risk analizleri yapılarak bir teminat listesi oluşturulmuştur. Taylor vd. (2002) modlar arası taşımacılık rampalarının operasyonel seçimi konusu üzerinde durmuştur. Rampa seçimi, yük kamyonu ve demiryolu aracılığıyla yapılan modlar arası taşımacılığın finansal kapasitesi ve etkinliğini etkileyen önemli bir konudur. Makalede rampa seçimi için iki alternatif sezgisel yol ele alınmıştır. Her iki yöntem de modlar arası taşımacılık, çekici hareketleri sırasındaki toplam boş ve dolaylı mesafeleri azaltmaktadır. İki alternatifin performanslarını değerlendirmek için kesikli olay sistemi simülasyon dili olan SIMNET II ile yazılmış bir yazılım kullanılmıştır. Her iki sezgiselde de yükler, tekrarlanan bir biçimde rampalara atamaktadır. Çalışmada bir işletmeden sağlanan gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışmanın başlıca katkısı, rampa seçimi metotlarının çeşitli operasyonel düzenlemelerdeki performanslarını sayıya dökmüş olmasıdır. Choong vd. (2002) modlar arası taşımacılık ağında boş konteyner yönetiminin planlama ufkunun uzunluğuna olan etkisinin sayısal bir analizini sunmaktadır. Analiz, yüklü konteyner hareketi ihtiyaçlarının karşılanmasıyla ilgili boş konteyner hareketlerine bağlı toplam maliyetleri minimize etmeye çalışan tamsayı bir programa dayanmaktadır. Mississippi Nehri havzasındaki potansiyel mavnalı üstü konteyner operasyonlarıyla ilgili bir vaka çalışması, taşıma modu seçiminde planlama ufkunun uzunluğunun etkilerini göstermektedir. Uzun planlama ufku pahalı olmayan, yavaş taşıma modlarının (mavnalı gibi) kullanımını teşvik etmektedir. Bu etki konteyner depolama havuzlarının sayısı ve yerleşimine dayanmaktadır. Çözüm elde etmek için AMPL (A Mathematical Programming Language) modelleme dili ve CPLEX algoritması kullanılmıştır. Aliche (2002) modlar arası taşımacılığın esnekliğini arttırmak ve müşterilere karşı daha çekici bir hale getirmek için farklı terminal kavramları ve üretim formları geliştirilmiştir. Çalışmada

incelenen modlar arası taşımacılık terminal kavramı Mega Aktarım Merkezi olarak adlandırılmıştır ve terminal çok aşamalı aktarma problemi olarak modellenmiştir. Karar verici, terminal ve modlar arası taşımacılık operatörüdür ve kısıt optimizasyon modelinden faydalanılmıştır. Taylor ve Whicker (2002) şehirlerarası kara taşımacılığının yapıldığı alanlarda, teslimat planlarının tasarlanması ve değerlendirilmesi için yeni yöntemler tanımlamışlardır. Geliştirilen yöntemlerin amacı, tedarikçiler, müşteriler, üreticiler ve dağıtım merkezleri arasındaki teslimat ihtiyaçlarını değerlendirmektir. Çalışmada gerçek bir uygulamaya yer verilmiştir. Minoux (2001) kesikli maliyetli çok ürün tipli ağ optimizasyon problemleri için çözüm yöntemlerini incelemiştir. Tek ürün tipli ve çok ürün tipli akış modelleri, genel bir en az maliyetli çok ürün tipli akış modeli ve düğüm maliyetlerinin modele eklendiği durumlar incelenmiştir. Fernandez vd. (2003) şehirlerarası yük taşımacılığı için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Model, arz talep dengesini göz önüne almaktadır. Talep tarafı, göndericileri yani kargo sahiplerini, arz tarafı ise taşıyıcıları yani taşımacılık operatörlerini göstermektedir. Göndericilerin kararları mesafenin, taşıma modunun, tek mod için taşıyıcının ve kombine modlar için transfer noktasının seçiminden oluşur. Taşıyıcılar, çok modlu, çok ürünlü ve çok operatörlü bir ağda rotalama kararları almaktadırlar. Kelleher vd. (2003) modlar arası taşımacılıkta dökümantasyon, depo yönetimi, rota çizelgeleme ve trafik optimizasyonu gibi faaliyetlerin işlevselliğini destekleyen internet tabanlı bir veri tabanı sisteminin özelliklerini tanıtmış ve bazı problemlerin çözümünde kullanmışlardır. Lo vd. (2004) çok modlu yolculukların yaygın olduğu büyükşehir bölgelerinde yolcuların kombine mod tercihlerinin modellenmesini ve özel hizmet operatörleri arasındaki stratejik etkileşimlerin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada, yeni bir ağ tasarımı yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, transfer davranışları ve doğrusal olmayan bilet ücretlerinin yapısını ele almaktadır. Arnold vd. (2004) yük taşımacılığı için demiryolu / karayolu terminallerinin optimal yerleşim yeri seçimi problemi üzerinde durmuşlardır. Çok ürün tipli ve sınırlı yükün bulunduğu ağ tasarımı problemlerine dayanan alternatif bir formülasyon kullanmışlardır. Xu ve Hancock (2004) işletme çapında yük hareketlerini simüle etmek için entegre bir lojistik ve taşımacılık sistemi oluşturmuşlardır. Aynı zamanda gelişmiş bilgi teknolojilerinin lojistikte karar verme, yük dağıtım modelleri ve ticari araç operasyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Barthel ve Woxenius (2004) geleneksel Avrupa modlar arası taşımacılığının kapasiteleri ile kısa mesafelerdeki ve küçük miktardaki akışların gerçekleştiği pazarların rekabet edebilirliğinin karşılaştırılması ve yenilikçi kavramların geliştirilmesi amacıyla bir çalışma hazırlamışlardır. Ballis ve Golias (2004) Avrupa'daki geleneksel ve gelişmiş demiryolu terminal ekipmanlarının karşılaştırmalı değerlendirmeleri üzerine

modelleme yaklaşımları sunmuşlardır. Sunulan yaklaşım, terminal tasarımı için simülasyon modülüyle desteklenmiş bir uzman sistem, terminal faaliyetlerini simüle eden bir model, tren operasyon formlarını ve ulaştırma ağında nakliye akışının atamalarını gerçekleyen bir makro model de içermektedir. Rotter (2004) gelecekteki taşıma hizmetlerinin doğrudan trenlerle taşıma için gerekli ölçekte yük potansiyeli sunan sanayi bölgeleri ve büyük şehirler üzerine odaklanacağını iddia etmiştir. Bu eğilimin sonucu olarak, küçük yük potansiyeline sahip olan bölgelerin kombine taşıma ağlarıyla bütünleşme zorluğu probleminin ortaya çıkması gösterilmiştir. Makalede, bu sorunun önüne geçmek için “mega merkez” kavramının işletilmesi ve modlar arası taşıma operatörleri için fırsatların değerlendirilmesi konuları incelenmiştir. Li ve Tayur (2005) IME isimli bir üniversite sanayi ortak çalışmasının karşılaştığı problemten yola çıkarak bir çalışma yapmışlardır. Bu makalede, etkili bir orta vadeli planlama gerektiren gerçek bir uygulamadan yola çıkılarak operasyon planlaması ve pazarlama kararlarını birlikte ele alan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Garcia ve Marin (2005) çok modlu taşımacılıkta atama problemi için yeni bir ağ dengeleme modeli sunmuşlardır. Model, değişken eşitsizlik problemi olarak formüle edilmiştir. El-Wahed ve Lee (2006) gerçek hayatta taşıma problemlerinin çoklu, çelişen ve kıyaslanamayan amaç fonksiyonları içerdiğini belirtmiş ve bu tip problemlere “Çok Amaçlı Taşıma Problemi” demişlerdir. Bu tip bir problemin çözümü için “Etkileşimli Bulanık Hedef Programlama” yaklaşımını geliştirmek için etkileşimli programlama, hedef programlama ve bulanık programlama yaklaşımlarını birleştirmişlerdir. Blauwens vd. (2006) taşımacılık pazarında bir model değişimini tetikleyecek nitelikteki politika ölçümlerinin etkileşimlerini analiz etmektedirler. Bubbico vd. (2006) Sicilya’da tehlikeli madde taşımacılığı ile ortaya çıkan riskin farklı taşımacılık rotaları ve modlarına bağlı olarak değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmada, risk seviyesi düşürücü alternatifler araştırılmış ve her bir taşımacılık faaliyeti için rota değiştirme imkânı denenmiştir. Karayolu, demiryolu ve modlar arası taşımacılık faaliyetlerinin tümü değerlendirilmiştir.

Taktiksel seviye için hazırlanmış tez çalışmaları da mevcuttur. Chowdhury (2000) kentsel alanlarda yolculara modlar arası taşımacılık hizmeti verilebileceğini, bu hizmet sistemlerinin bir demiryolu transit hattı ve farklı transfer istasyonlarında bağlanan bir dizi besleyici rotadan oluşabileceğini belirtmiştir. Böyle bir sistemde yolcular bir veya daha fazla aktarma yapmak zorunda kalabilirler. Bu nedenle sistemde çalışan araçların zaman çizelgelemesinin, transfer zamanını azaltacak şekilde yapılması, hizmet kalitesine katkıda bulunabilir. Bu çalışmada iki model ortaya konmuştur: (1) genel modlar arası transit sisteminin koordinasyonu için bir model ve (2) koordine edilmiş araçların dinamik sevkiyatı için bir modeldir. Abdelghany

(2001) tarafından hazırlanmış olan doktora tezi çalışmasında, kentsel modlar arası taşımacılık ağları için stokastik dinamik yolculuk ataması modeli geliştirilmiştir. Model, kullanılan mevcut statik yöntemlerin sınırlarını ortadan kaldırmaktadır. Mod seçimi ve dinamik atama arasındaki ilişki, farklı bilgi sağlama stratejileri ve ağ kontrol tasarımları altında incelenmiş ve belirlenmiştir. Simülasyon tabanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Model, modlar arası taşımacılık ağları için stokastik bir ağ yükleme modelini ve çok amaçlı en kısa yol algoritmasını kapsamaktadır. Çalışmada ayrıca, ağdaki otomobil kullanıcıları için gerçek zamanlı bir bilgi sağlama stratejisinin tasarımı yapılmıştır. Peric (2006) taşımacılık ağlarının tasarımındaki operasyonel değişikliklere odaklanmış ve transit firmaların araçlarının çeşitli transit rotalarına atanması problemini ele almıştır. Geliştirilen model, karmaşık modlar arası taşımacılık ağlarındaki, akış ve maliyetleri görmeye çalışan taşımacılık planlamacıları için yararlı bir modeldir. Mokkhamakul (2003) modlar arası taşımacılıkta performansı maksimize edecek uygun modları seçmek için bir metodoloji geliştirmiştir. Göz önünde bulundurulmuş taşıma modu kombinasyonları: kara-demir, kara-hava, kara-mavna, kara-gemi tabanlıdır. Çalışmada, hizmet düzeyi, transport seviyesi, zaman değişkenliği ve teslim tarihi performansı gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Song (2005), akışların dinamik olarak yönetiminin modellenmesi, analiz edilmesi ve bir strateji oluşturulması üzerine çalışmalar yapmıştır. Akış yönetimi problemleri üç coğrafi düzeye ayrılarak ele alınmıştır: küresel, bölgesel ve yerel. Küresel düzeydeki problemin (NP-Hard) polinomsal zamanda deterministik olarak çözülemeyen problem olduğu kanıtlanmış ve daha sonra çözümü için bir dizi sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bölgesel düzeydeki problem çok aşamalı stokastik ağ şeklinde formüle edilmiştir. Yerel düzeydeki problem ise “k. en kısa çözüm” şeklinde ele alınmıştır. Wang (2002) modlar arası bir ağdaki gönderici ve nakliyeciler arasındaki ilişkiyi iki seviyeli bir problem olarak formüle etmiştir. Duan (2006) modlar arası ağdaki “merkez şehir” operasyonlarını ve karmaşık etkileşimlerini modellemek için bir çerçeve geliştirmiştir. Bu çerçeve üç anahtar model içermektedir: kamyon sevkiyat modeli, nakliye atama modeli ve terminal simülasyon modeli. Çalışmada, öncelikle kapsamlı bir çerçeve geliştirilmiş, daha sonra değişen yolculuk zamanları olan kamyon sevkiyat problemleri için bir sezgisel yöntem ve çok sınıflı sevkiyat atama modeli ortaya konulmuştur. Son olarak bu çerçeveye bir terminal simülasyon modeli dahil edilerek kamyon sevkiyatı ve sevkiyat tıkanıklığının terminal operasyonları üzerindeki etkisinin tahmin edilebilir hale gelmesi sağlanmıştır.

3.3 Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Operasyonel Seviyede Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde, gerçek zamanlı ve günlük kararların verildiği operasyonel seviyede yapılmış

olan çalışmalara değinilmiştir. D’Este (1996) modlar arası taşımacılık sistemi modellemesinin gereksinimlerini göstermek için olay tabanlı bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Bu çalışmada olay tabanlı çerçevenin geleneksel ağ modellerine de dahil edilebileceği ispat edilmiştir. Olay tabanlı ağ modelinin, modlar arası sistemlerin modellenmesi ve performansının değerlendirilmesi için değerli bir araç olduğu gösterilmiştir. Karar verici olarak ağ ve modlar arası taşımacılık operatörlerinden faydalanılmış, fakat uygulama yapılmamıştır. Southworth ve Peterson (2000), 1997’de yapılan “Amerikan Ürün Akış Anketi”nde ortaya konulan beş milyon varış ve başlangıç nakliyelerinin bir kısmının benzetiminin yapılmasına destek vermek amacıyla bir ağ geliştirmişlerdir. Makalede bu anketteki modlar arası taşımacılık yük hareketlerinin rotalanmasına odaklanılmıştır. Karar verici, ağ ve modlar arası taşımacılık operatörüdür ve “coğrafik bilgi sistemleri” teknolojisinden faydalanılmıştır. Newman ve Araiyo (2000) çalışmalarında, merkezden merkezi olmayana doğru karar verme yaklaşımlarını incelemişlerdir. Bu inceleme, trenlerin doğrudan ve dolaylı (aktarma merkezi aracılığıyla) programlanması ve modlar arası taşımacılıktaki demiryolu kısmı için konteynerlerin trenlere yüklenmesi konularını kapsamaktadır. Amaç, her tren için sabit bir maliyet, her konteyner için değişken taşıma ve elleçleme maliyetleri ve teslim ihtiyaçlarını zamanında karşılamak için katlanılan depolama maliyetlerinden oluşan operasyon maliyetlerini minimize etmektir. Karar verici şebeke ve modlar arası taşıma operatörüdür ve varsayımsal bir örnek verilmiştir. Regan ve Golob (2000) Kaliforniya Limanı’ndaki modlar arası taşıma tesislerinin, bu tesisleri kullanan ve karayolu taşımacılığı yapan firmaların bakış açısıyla verimliliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, yaklaşık 1200 özel ve kiralık taşımacı firmayla yapılan ankete dayandırılmıştır. Yapılan araştırmada daha çok liman operasyonlarındaki sıkışıklık problemi üzerinde durulmuştur. Newman ve Yano (2000) modlar arası taşımacılığın bir parçası olan demiryolu taşımacılığı için trenlerin ve bu trenlere yüklenecek konteynerlerin atanması ve çizelgelenmesi problemini araştırmışlardır. Problemin amacı, teslim gereksinimlerini tam zamanında karşılayacak sabit ve değişken taşıma ve işletim maliyetlerini en aza indirmektir. Ağ operatörü ve modlar arası taşımacılık operatöründen karar verici olarak faydalanılmıştır, gerçek bir uygulama yapılmamıştır ve tam sayılı programlama ve ayrıştırma yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Gambardella vd. (2001) bir konteyner terminalindeki yükleme ve boşaltma operasyonlarının kaynak tahsisi ve programlanması problemlerine bir çözüm getirmişlerdir. Her iki problem de hiyerarşik bir yapıda formüle edilmiş ve çözülmüştür. Öncelikle kaynak tahsisi problemi çözülmüş, daha sonra konteynerlerin yükleme ve boşaltma listelerinin hesaplanması için bir programlama yaklaşımı formüle edilmiştir. Karar verici, modlar arası taşımacılık ve terminal operatörüdür,

gerçek bir olay örnek verilmiştir ve tabu araması yaklaşımından faydalanılmıştır. Gambardella vd. (2002) modlar arası taşımacılık terminallerinin denizden uzak olan modlar arası taşımacılık terminalleri arasındaki akışlarının benzetimi için bir model geliştirmiştir. Karar verici, terminal ve modlar arası taşımacılık operatörüdür ve gerçek bir olay incelenmiştir. Holguin-Veras ve Thorson (2003) boş ticari araçların akışlarını anlatan matematiksel formülasyonları, belirli bir ürün akışı matrisinin formülasyonu olarak geliştirmişlerdir. Bu formülasyonlar, olasılık kurallarına ve uzamsal etkileşim kavramlarına dayanmaktadırlar. Zhang vd. (2003) modlar arası taşımacılığın temellerinden biri olan konteyner terminallerindeki alan tahsisi problemi üzerinde çalışmışlardır. Problemin amacı, gemide yüklü bekleyen konteynerlerin ve gönderilmeyi bekleyen konteynerlerin sayısının belirlenmesidir. Gayialisi ve Tatsiopoulos (2004) bir yağ firmasının araç rotalama ve çizelgeleme kararlarında kullanılan bir KDS geliştirmiştir. Üzerinde durulan problem, bir dizi dağıtım merkezinden müşterilere yağ ürünlerinin karmaşık dağıtım süreçlerini ele almaktadır. Martinez vd. (2004) demiryolu terminallerinde trenler arası yük transferi için bir simülasyon modeli ve modelleme yaklaşımı ortaya koymuşlardır. Jansen vd. (2004) Danzas Euronet adlı bir firma için tasarlanan bir operasyonel planlama sistemini tanıtmışlardır. Sistem Almanya'da tren ve çekici ile taşınan günlük ortalama 4000 konteynerlik siparişlerin planlanması için kullanılmaktadır. Erera vd. (2005) tank operatörlerinin karşılaştığı değer yönetimi problemlerine odaklanmıştır. Özellikle tank konteyneri filolarının dengesiz ticari akışlar altında maliyet etkinliği ile yönetilmesi konusu üzerinde durulmuştur. Makalede entegre tank konteyneri yönetimi için aynı anda hem yükleme hem de boşaltma hareketlerinin planlandığı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Poh vd. (2005) çok sayıdaki kaynaktan, çok çeşitteki ürünün, kesikli zaman aralıklarında çok sayıdaki hedefe taşınmasını içeren gerçek bir problemin çözümü için bir yaklaşım tanımlamışlardır. Amaç, operasyonun tamamını gerçekleştirmek için gereken kesikli dönemlerin toplam sayısını minimize etmektir. Corry ve Kozan (2006) konteyner trenlerinin yük planlaması için analitik bir atama modeli oluşturarak işletme stratejileri geliştirmeye çalışmışlardır. Problem, çok sayıda belirsiz parametresi olan dinamik atama problemi olarak tanımlanmıştır. Model çok amaçlıdır ve amaçlar, fazla elleçleme zamanını minimize etmek ve trenin yük dağılımını optimize etmektir. Dinamik bir yapısı olan yük planlama atama modelinin statik bir versiyonu da geliştirilmiş ve bu iki model karşılaştırılmıştır.

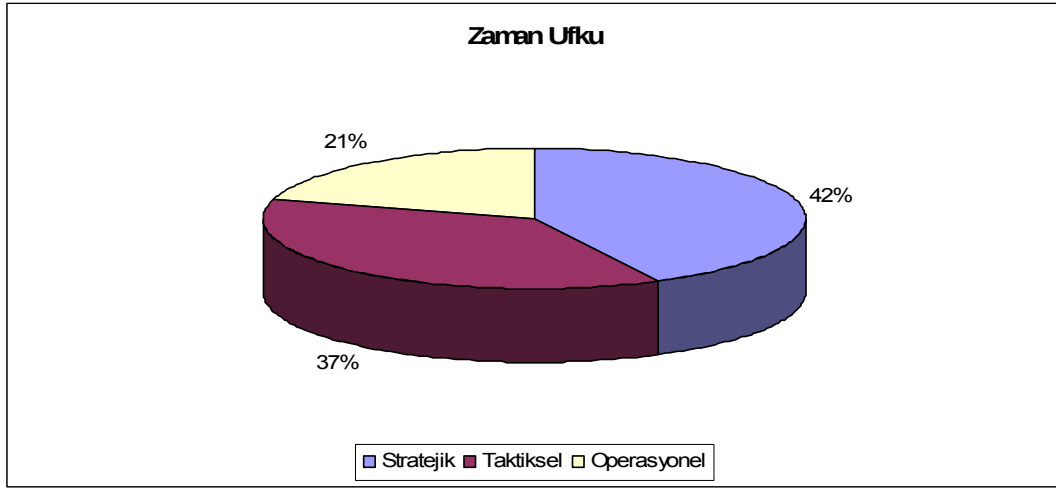
Operasyonel seviyede hazırlanmış tez çalışmaları ise aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Newman (1998) tarafından hazırlanmış olan tez çalışmasında, demiryolu ağırlıklı modlar arası taşımacılık operasyonları üzerinde durulmuştur. Trenlerin zaman çizelgelemesi ve

konteynerlerin atanması problemi incelenmiştir. Amaç, bunları yaparken teslim tarihlerini geciktirmeden, trenlerin çalışmasının sabit maliyetlerinin toplamını ve konteynerlerin taşınmasının ve envantere tutulmasının birim maliyetlerini minimize etmektir. Doğrudan ve dolaylı trenlerle konteynerlerin çok periyotlu bir planlama ufkundaki dinamik gelişleri göz önünde bulundurulmuştur. Problem, tamsayılı karar değişkenleri olan matematiksel bir model olarak tanımlanmıştır, çözüm içinde ayrıştırma tekniği kullanılmıştır. Alattar (2003) modlar arası konteyner yük terminali olarak bilinen bir çeşit liman terminalindeki taşıma ve operasyonlara odaklanmıştır. Terminaldeki konteynerlerin taşınması, gemiler, çekiciler ve bazen de trenlerle yapılmaktadır. Konteyner terminal operasyonlarının optimizasyonu için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Çok amaçlı optimizasyon ve kesikli matematik yaklaşımları, tamsayılı bir program geliştirmek için kullanılmıştır. İki amaç fonksiyonu vardır. Bunlar, gemilerin bekleme sürelerinin minimizasyonu ve konteynerlerin bekleme maliyetlerinin minimizasyonudur. Buradaki hedef, optimal rıhtıma yanaşma stratejisini kullanarak, amaç fonksiyonlarının minimize edilmesidir. Chang (2004) otobüslerin optimal sistemli ve kullanıcı dengeli dinamik trafik atama modellerine dahil edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, otomobil ve otobüslerin bir ağ üzerindeki modlar arası yolculukları tamsayılı doğrusal programlama şeklinde modellenmiştir.

3.4 Genel Değerlendirme

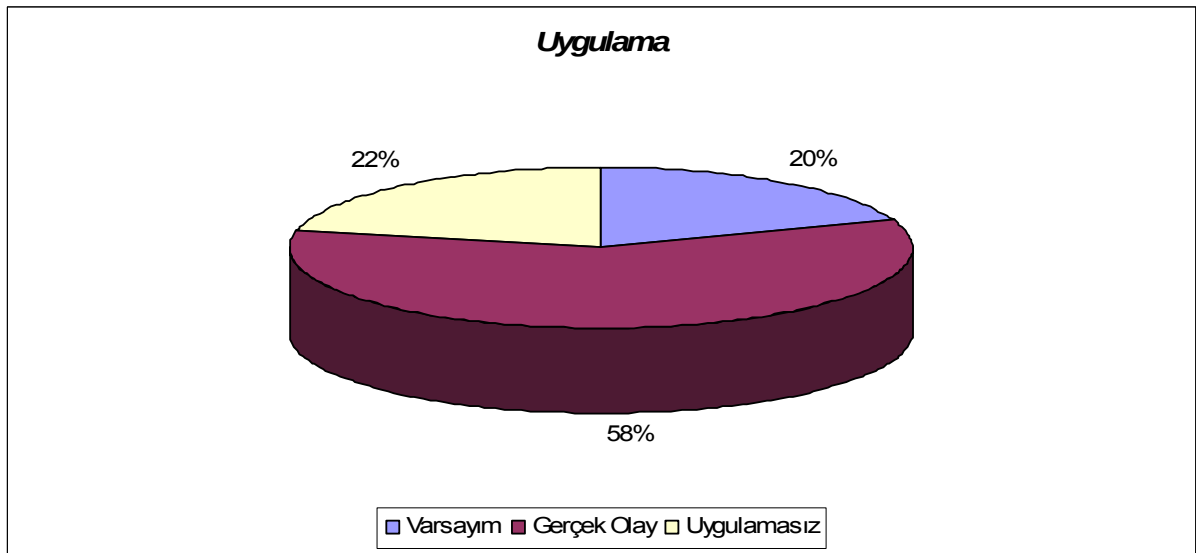
Bu bölümde, modlar arası taşımacılıkla ilgili literatür, zaman ufku, uygulama yapılıp yapılmaması, karar vericilerin kim olduğu ve matematiksel çözüm yöntemleri açısından incelenmiştir. İncelenmiş olan 78 makale ve 14 tez çalışması ile ilgili dağılımlar aşağıda açıklanmıştır.

Konuyla ilgili olarak görülen ve incelenen bu 92 adet çalışmanın detaylarına bakıldığında, tanımlanan problemlerin %42'si ağ tasarımı ve tesis yeri seçimi gibi stratejik seviyedeki problemlerdir. % 37'si ise orta vadeli zaman ufku içeren taktiksel seviyedeki problemlerdir. Geri kalan %21'lik kısım ise kısa dönemli karşılaşılabilen operasyonel problemlerdir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çalışmalarda ele alınan problemlerin zaman ufkuna göre dağılımı

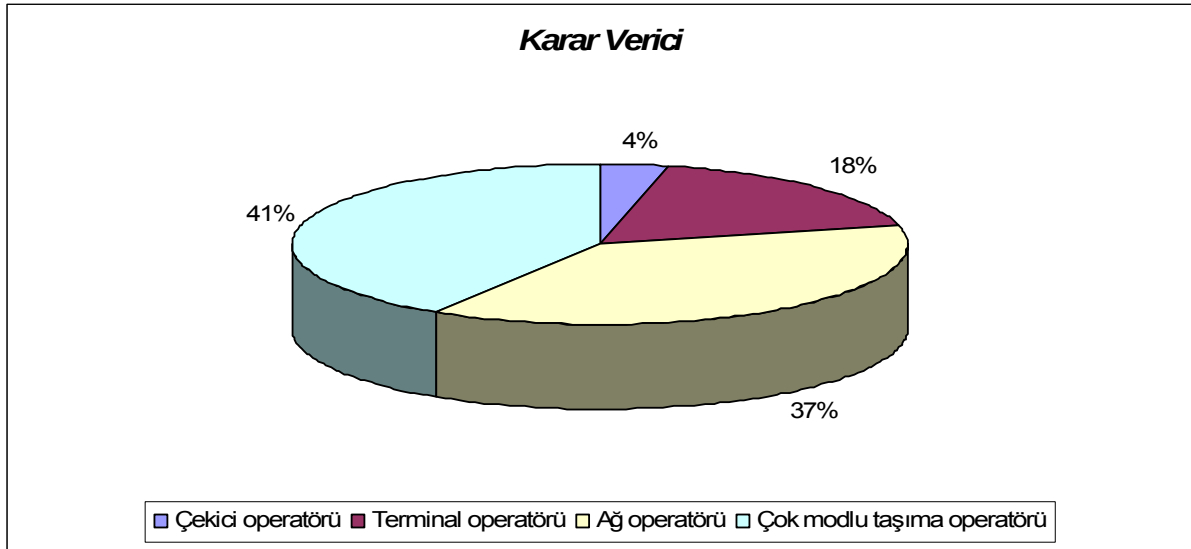
Literatürdeki çalışmaların yarısından fazlası uygulama içermektedir (%58). Çalışmalarda önerilen çözüm tekniklerinin ve algoritmaların önemli bir kısmı gerçek olayları incelemiştir. Hatta çoğu durumda önerilen yöntemlerin performans ölçümleri bu yolla yapılmıştır. Genellikle kapsamlarının geniş olmasından dolayı gerçek hayat problemlerine uygulanamayan yöntemler de varsayımsal problemler üretilerek bilgisayar ortamında simüle edilmiş ve böylece geçerlilikleri test edilmiştir. Geri kalan çalışmalarsa sadece teorik nitelikte olup, herhangi bir uygulama yapılmamıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çalışmaların uygulama yönünden dağılımı

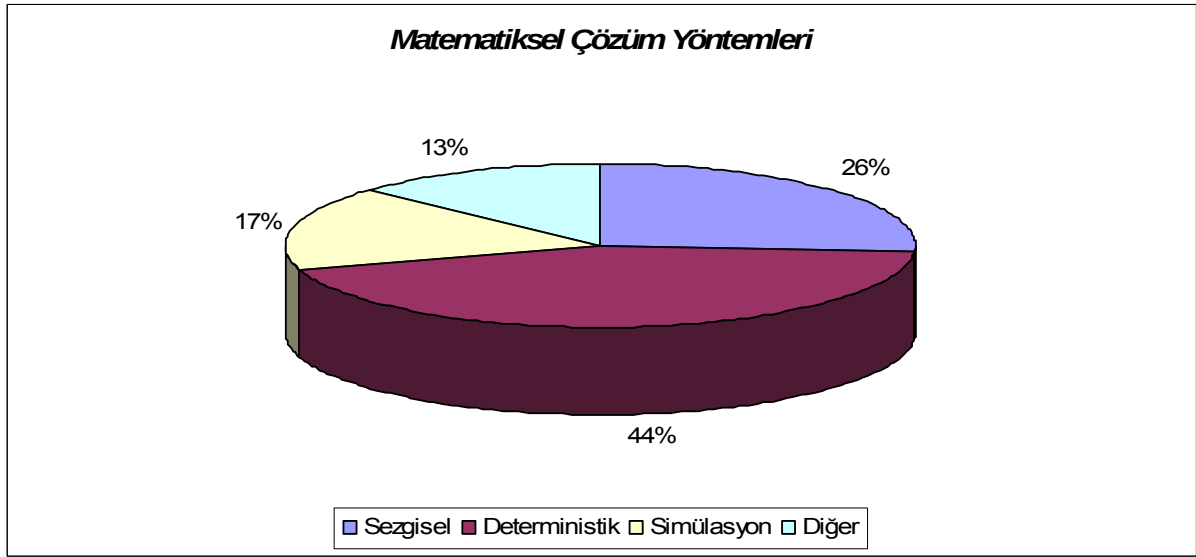
Çözüm önerisi sunulan problemler, karar vericiler açısından incelendiğinde en büyük rolün ağ

ve modlar arası taşımacılık operatörleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Bu bulgular zaman ufku ile ilgili verilerle karşılaştırıldığında zaman ufkuyla karar vericiler arasında bir paralellik olduğu görülmektedir. Öyle ki ağ tasarımı ya da mod seçimi gibi stratejik seviyedeki problemler zaman ufku dağılımında geniş bir pay tutarken; bu problemlerin çözümleriyle doğrudan ilgili olan ağ ve modlar arası taşımacılık operatörleri de karar verici oranlarında geniş bir yer tutmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Uygulanacak çözüm yöntemleri için karar vericilerinin dağılımı

Son olarak problemlerin çözümünde kullanılan ya da kullanılması önerilen çözüm yöntemlerine bakıldığında deterministik yöntemlerin ağırlıkta olduğu görülmektedir. Bu da göstermektedir ki problemlerin yarıya yakın bir kısmı başka tekniklere ihtiyaç kalmadan deterministik metotlarla modellenip çözülebilmektedir. Fakat deterministik yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda sezgisel yöntemler de ağırlıklı olarak kullanılabilir (26%). Diğer yöntemlere göre nadir kullanılan simülasyon teknikleri ise, özellikle varsayımsal uygulamaların yürütülmesinde kullanılmaktadır. Varsayımsal örneklerin oranı da bu savı desteklemektedir (17%). Diğer yöntemlerse bu sınıflara girmeyen anket çalışmaları, uygulama yazılımları ve sözel çözüm önerilerinden oluşan çalışmalardır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemlerinin dağılımı

Sonuç olarak mevcut literatür incelendiğinde, taşımacılık ağı tasarımı ve modlar arası ya da çok modlu taşımacılık konularını farklı yönleri ile ele alan birçok çalışmayla karşılaşılmaktadır. Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü gibi bu çalışmaların büyük bir kısmı stratejik ya da taktiksel düzeyli problemleri, ağ tasarımı ve taşıma modları ile ilgili karar vericiler açısından, deterministik çözüm teknikleri ile çözmeye çalışmışlardır. Yine çalışmaların büyük kısmının gerçek uygulamalar üzerinde durması dikkate alınırsa, lojistik sektörünün de bu konudaki çalışmalara ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmaktadır.

Tez kapsamında yürütülen çalışmaya bakılacak olursa, literatürdeki eğilim yönünde, fakat farklı çözüm tekniklerini bir araya getirerek, stratejik düzeyli bir probleme çözüm getirmeye çalışılmaktadır. Genellikle birkaç amaçtan oluşan çok amaçlı modellerle kıyaslandığında 8 amaç fonksiyonunun bir araya getirilmesi ve bu amaçlara hiyerarşik bir boyut katılmış olması modeli diğerlerinden farklı kılan bir yöndür. Hem ağ tasarımı, hem de ağ içerisindeki her noktada taşıma modu seçilmesi, iki farklı karar vericiyi ilgilendirmektedir. Özellikle mod seçimi aşamasında çok sayıda kantitatif ve kalitatif kriteri bir araya getirerek matematiksel modele girdi oluşturulması, yine farklılık yaratan bir noktadır. Ayrıca önerilen modelin kapsamlı sayılacak bir gerçek uygulama üzerinde denenmesi ve sonuçlarının kıyaslanma imkânının olması, hem modelin geçerliliğini ispatlamış, hem de büyük çaplı problemler için sonuç üretebildiğini göstermiştir.

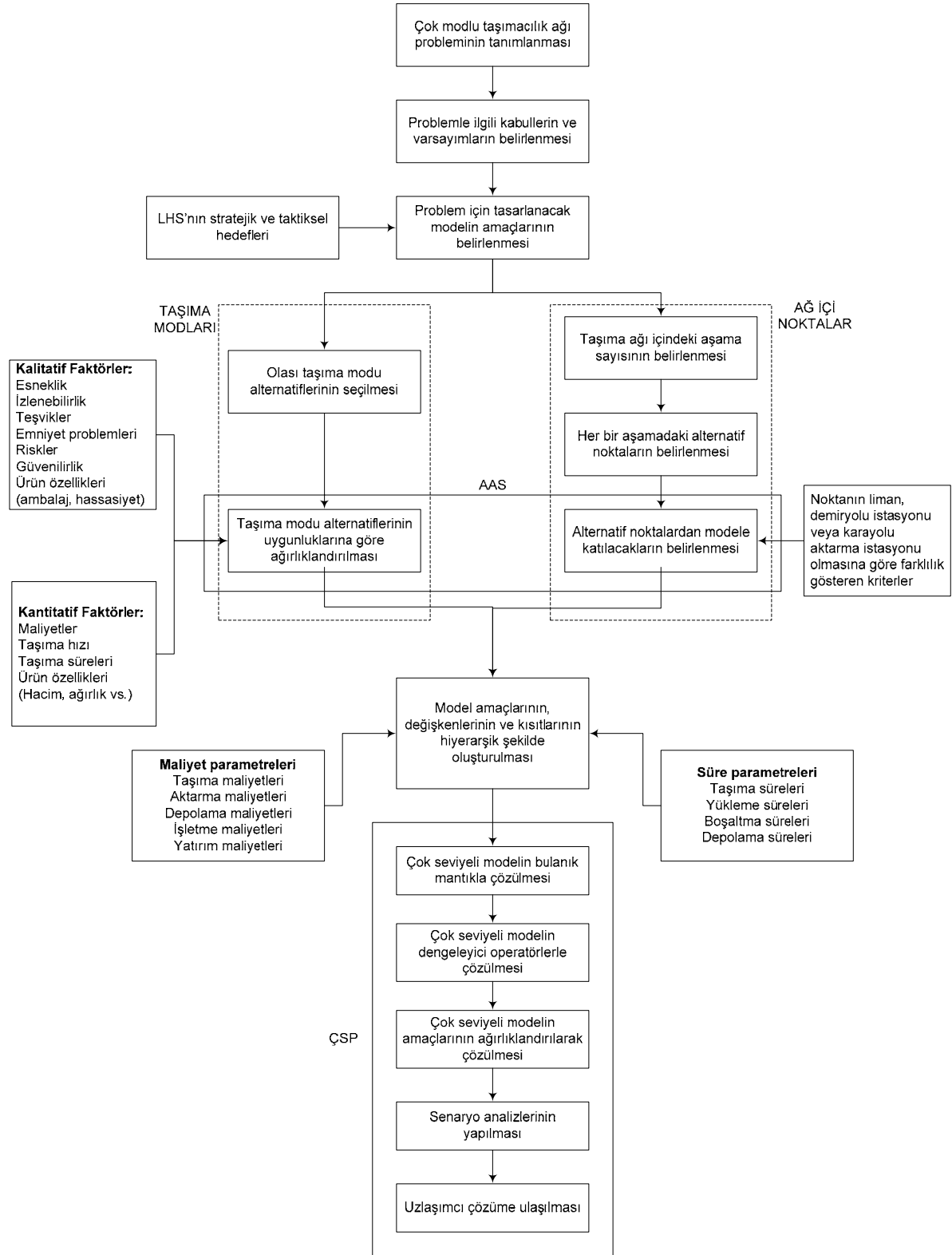
4. MODEL TASARIMI

Taşımacılık ağının kurulması gibi stratejik bir konu üzerinde alınacak kararlar, işletme içi ve dışındaki birçok karar vericiyi etkileyecektir. Bu sebeple, karar sürecine katılacak kişilerin, karar kriterlerinin ve olası alternatif çözümlerin doğru belirlenmesi gerekir. Günümüz iş anlayışında hiyerarşik yapılar daha yatay hale getirilmeye çalışılsa da, lojistik sektöründeki işletmeler merkezi olmayan ve belirli seviyede hiyerarşiye sahip organizasyonlardan oluşmaktadır. Örneğin taşıma ve depolama gibi ana lojistik faaliyetleri bir arada yürüten bir LHS işletme içinde bu fonksiyonların yöneticileri olacağı gibi bu seviyenin altında bazı karar verici yöneticiler ve daha üst seviyede stratejik kararlar alan üst yönetim bulunacaktır. Ayrıca karar vericiler, farklı bölgelerin farklı sorumluları şeklinde de sınıflandırılabilir. Dolayısıyla organizasyon içinde alt ve üst seviyelerinde görüşlerini dikkate alarak, kararların alınması işletme içindeki farklı fonksiyonel alanların ve üst yönetimin koordineli olarak çalışmasını sağlayacaktır.

Verilmeye çalışılan karar ister taktiksel veya operasyonel isterse stratejik olsun, işletme içindeki farklı ya da aynı seviyelerdeki farklı karar vericilerin iletişim içerisinde olması, etkin sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Bir departmanın sadece kendi hedeflerini dikkate alarak vereceği taktiksel karar ile üst yönetimin işletme genelini temel alarak belirlediği hedefleri de dikkate alarak vereceği aynı taktiksel karar farklı sonuçlar getirebilecektir. Benzer şekilde, aynı ya da farklı karar seviyesinde olan işletme içi fonksiyonel alanların görüş ve hedeflerini dikkate almadan alınan stratejik karar işletme genelini olumlu etkilemeyebilecektir.

Belirli noktalar arasında, işletmelerin taşımacılık faaliyetlerini yerine getirecek bir LHS uzun dönemli kararlar alırken müşteri talepleri, müşteri ve tedarikçi konumları, ürün spesifikasyonları, emniyet gereksinimleri, güvenilirlik, erişilebilirlik, teşvikler, çevresel etkiler ve diğer yasal düzenlemeler gibi kriterler açısından genel değerlendirmeler yapacaktır. Özellikle uluslararası taşımacılık için kullanılacak bir ağı oluştururken, artan mesafelerden dolayı ağın aşamaları arasında hangi taşıma modunun kullanılacağı, üst yönetim tarafından verilecek önemli bir karar aşamasıdır. Bu noktada LHS'nin spesifik müşteri projelerinden bağımsız olarak, taşıma modları arasında çok kriterli bir kıyaslama yaparak ağırlık veya öncelik belirlemesi uygun olacaktır. Yine stratejik bir karar olan hangi noktalara aktarma noktası, dağıtım merkezi veya bölgesel depo kurulacağı bir önceki kararlar bulunan sonuçlara göre belirlenecektir. Bu stratejik kararların ardından herhangi bir müşteri projesindeki talep miktarları, ürün tipleri, spesifikasyonları ve kapasite verileri kullanılarak operasyon

departmanının amacı olabilecek maliyet ve pazarlama departmanının amacı olabilecek temin süresi optimizasyonuna gidilecektir.



Şekil 4.1 Problemin tanımlanması ve çözüm adımları

Bu optimizasyonlar aynı seviyede olabileceği gibi farklı seviyelerde de olabilirler veya farklı alt amaçlar içerebilirler. Örneğin toplam maliyetlerin minimize edilmesi ile ilgilenen operasyon departmanı içinde, taşıma maliyetleri, aktarma ve depolama maliyetleri ve tesis işletme maliyetlerinin ayrı ayrı optimizasyonları ile ilgilenen alt karar noktaları bulunabilmektedir. Problemin yukarıda anlatıldığı gibi modellenmesi, çözümünde kullanılacak yöntemler ve çözüm aşamaları genel olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen model ile LHS işletme içinde farklı hiyerarşide ve farklı fonksiyonel alanlarda bulunan karar vericilerin tamamını uzlaştıran bir çözüm aranmıştır.

4.1 Modelleme Güçlükleri

Tasarlanan modelin gerçek uygulamalara yakın olması ile orantılı olarak, model karmaşıklığı artacaktır. Geçerliliği yüksek bir modelin kurulması ve çözülmesi aşamasında süre ve maliyet açısından zorlanılabilmektedir. Karşılaşılan zorluklar aşağıda ayrı ayrı belirtilmiştir.

Amaç sayısının çok olması: İşletmenin taşımacılık ile ilgili vereceği bir karar aşamasında optimize etmeye çalışacağı birden fazla amaç bulunmaktadır. Özellikle stratejik düzeydeki kararların alınmasında olası aktarma noktası ve depo gibi tesis yatırımlarının minimizasyonu, taşıma ağı içindeki her aşamada uygun taşıma modu tercihi ile ilgili maksimizasyon, taşıma ve aktarmalarda oluşan maliyetlerin ve sürelerin minimizasyonu gibi amaçlar sıralanabilir.

Amaçların hiyerarşisi: Modelin çoklu amaçlarının hiyerarşik olarak birbirine üstünlük sağlaması çözüm üzerindeki karmaşıklığı artıracaktır. Hiyerarşik olarak toplam maliyet minimizasyonunun altında bulunan aktarma maliyetleri minimizasyonu, üstteki amaç fonksiyonunun olurlu çözüm alanı içerisinde ve üst amacın verdiği tolerans ölçüsünde kendisini optimize etmeye çalışacaktır. Doğrusallığı bozan bu durum alternatif çözüm teknikleri gerektirecektir.

Değişken ve kısıt sayısının çokluğu: Taşımacılık ağı içerisinde bulunan aşamaların sayısı, taşıma modları, ürün tipleri, her bir aşamadaki tesis sayısı modelde kullanılacak değişken ve kısıt sayısını doğru orantılı olarak artırmaktadır. Gerçekçi uygulamalar dikkate alındığında, belirtilen hususların sayıca çok olması model çözümü için yüksek karmaşıklık anlamına gelmektedir.

Model içerisindeki belirsizlikler: Model sonuçlarının gerçekliği yüksek oranda yansıtabilmesi için parametrelerin seçimi ve belirsizliklerin dikkate alınması önem kazanmaktadır. Bu durumda da modelin doğrusallığının bozulması ile karmaşıklığın artması beklenmektedir.

Gerçekçi verilerin toplanması: Lojistik ve taşımacılık alanındaki dinamiklik göz önüne alındığında, geçerli ve doğru verilerin toplanması oldukça zor olmaktadır.

4.2 Modelin Yapısı

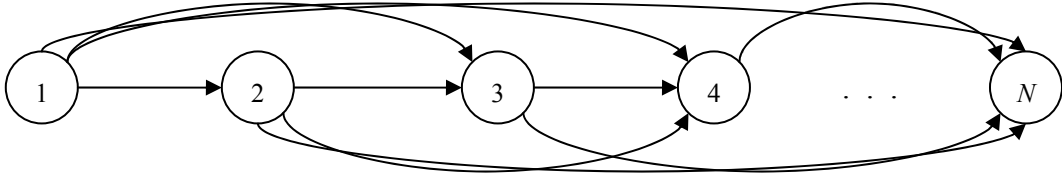
Modellenmeye çalışılan taşımacılık ağı probleminin temel özelliklerini yansıtan ve çözümü açısından önemli olan unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çoklu ürün (Multi commodity)
- Çoklu aşama (Multi echelon)
- Çoklu taşıma modu (Multi modal)
- Çok seviyeli çoklu amaç (multi-level, multi-objective)

Bu unsurlar detaylandırılmadan önce modelin genel yapısı ve kabulleri ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.

4.2.1 Model Varsayımları

Tez çalışması kapsamında ele alınan taşıma ağının en genel ve basit şekliyle gösterimi Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2 Taşıma ağı genel gösterimi

Modelin kabulleri aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir:

- Model N adet aşamadan oluşmaktadır.
- Her aşamada birden fazla alternatif nokta bulunabilir.
- Yük akışı hep ileri yönde (sağa doğru) gerçekleşmektedir.
- Herhangi bir aşamanın kendi içindeki noktalar arasında yük akışı yapılmamaktadır.
- Herhangi bir aşamadaki nokta kendinden sonraki herhangi bir aşamaya yük taşıması gerçekleştirebilir (aşamaların her birine uğranma zorunluluğu yoktur).
- Taşınacak yükler belirli sayıdaki farklı tipten oluşmaktadır.
- Belirli bir dönem için ürünlerle ilgili talep miktarları bilinmektedir.
- Aşamalardaki noktaların kapasite kısıtları bulunmaktadır.

- Taşımalarda farklı taşıma modları kullanarak kombinasyonlar yapılabilir.

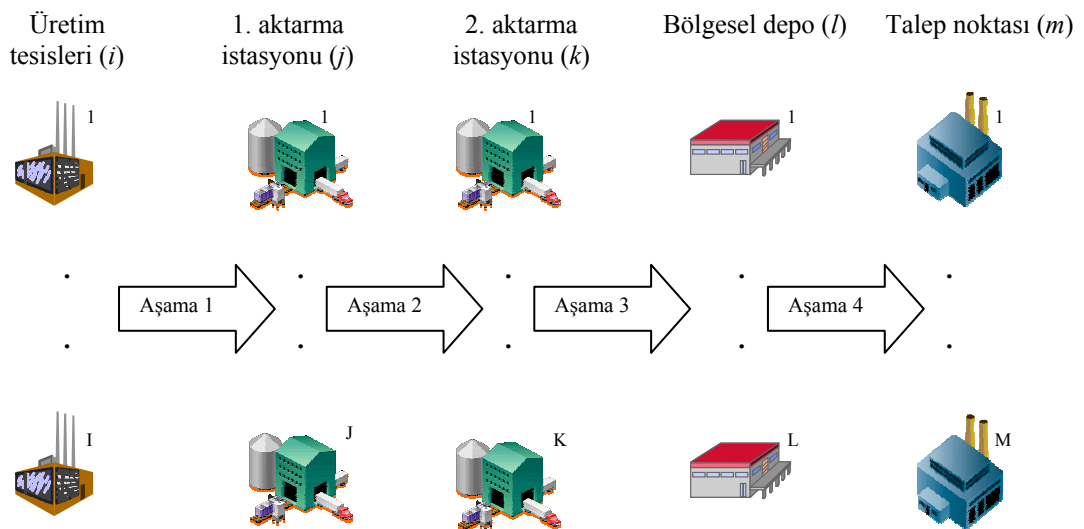
Bu kabuller, modellenen problemi netleştirmekle birlikte, gerçek uygulamalara bakıldığında her taşımacılık ağı kendine has ek özellikler taşıyacaktır. Bu aşamada sadece problem tanımlanmış, model ile ilgili detaylar model tasarımı aşamasında verilmiştir.

4.2.2 Çok Ürünlü Model

p adet farklı tipte ürünün taşınması gerçekleştirilmektedir. Ürünlerin hepsinin belirli bir standart hacim ve ağırlıkta olduğu varsayılmıştır. Ürünlerin belirli adetlerde birleştirilerek konteyner veya treyler şeklindeki birim yüke dönüştürülmesi alternatifi vardır.

4.2.3 Çok Aşamalı Model

2. Bölümde en genel hali ile verilen taşıma ağı, Şekil 4.3’de gösterildiği gibi 4 aşamadan (echelon) oluşacak şekilde özelleştirilmiştir. Bu aşamada, ihracatçı ülke içindeki, ithalatçı ülke içindeki ve iki ülke arasındaki taşımalar dikkate alınarak kapsamı geniş bir taşıma ağı tasarlanması hedeflenmiştir. İlk aşama, ürünlerin, ihracatçı ülke içindeki tedarikçilerden uzun taşımının yapılacağı ilk aktarma istasyonuna kadarki kısmı içermektedir. İkinci aşama, iki aktarma istasyonu arasındaki uzun taşımının gerçekleştiği kısımdır. Bu aktarma istasyonları sırasıyla, ihracatçı ve ithalatçı ülkelerde bulunmakta ve aradaki taşımalar uluslararası denizlerde veya farklı ülkelerin sınırları içerisinde gerçekleşmektedir. Üçüncü aşama, ithalatçı ülkedeki varış noktası (ikinci aktarma istasyonu) ile bölgesel depolar arasındaki kısımdır. Son aşama ise bölgesel depolar ile talep noktaları arasındaki kısımdır.



Şekil 4.3 Taşıma ağı aşamaları

Tez kapsamında ele alınan ağın aşama sayısı özellikle Avrupa ve Türkiye arasındaki taşıma örnekleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Taşımalar genellikle 4 ya da daha az aşamadan oluştuğundan dolayı 4 aşamalı bir taşıma ağının inceleme açısından yeterince kapsamlı bir model olacağı kararlaştırılmıştır.

4.2.4 Çok Modlu Taşıma Modeli

Özellikle modlar arası taşımacılık açısından düşünüldüğünde daha fazla kullanılmalarından dolayı karayolu, demiryolu ve denizyolu modları modele dahil edilmiş, havayolu taşımacılığı kapsam dışında bırakılmıştır. Alternatif modlar arasında farklı taşıma kombinasyonları kullanılarak, alternatif taşıma şekilleri elde edilmiştir. Bu kombinasyonlar aşağıdaki şekilde verilmiştir.

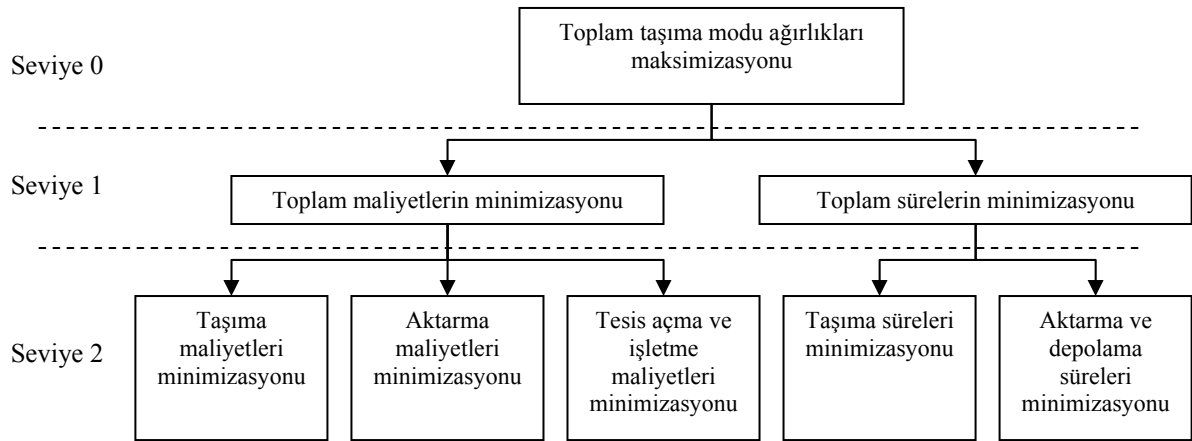
- Karayolu
- Karayolu – Demiryolu
- Karayolu – Denizyolu
- Karayolu – Demiryolu – Denizyolu

Yukarıdaki kombinasyonlardan ilki ile tedarikçilerden (i), talep noktalarına (m) sadece bölgesel depolara (l) uğramak şartı ile kapıdan kapıya karayolu ile (direkt) taşımalar yapılabilir.

Diğer kombinasyonlar ile ilgili olarak, konteyner, treyler, ya da paletli ürünün kendisi gibi birim yüklerin, (Şekil 4.3’de görünen) 1. aşamada karayolu ya da demiryolu taşıması ile ikinci aşamada demiryolu ya da denizyolu ile üçüncü aşamada demiryolu ya da karayolu ile ve dördüncü aşamada sadece karayolu modları ile taşınabileceği kabulleri yapılmıştır. İhracatçı ülkedeki ilk aşamada, tedarikçilerden aktarma istasyonuna taşıma yapılırken mesafelerin demiryolu kullanımı için yeterince uzun olabileceği ve tedarikçilerin demiryolu bağlantısı olabileceği düşünülmüştür. İkinci aşamada, çok modlu taşımacılığın temel prensibinden yola çıkılarak uzun taşımanın demiryolu ya da denizyolu ile yapılacağı kararı verilmiştir. Üçüncü aşamada da ihracatçı ülkedeki aktarma istasyonu ile bölgesel depolar arasında demiryolu bağlantısı olabileceği düşünülmüş ve karayolu alternatifi ile demiryolu alternatifi birlikte verilmiştir. Son aşamada ise sadece karayolu modu olacağı kabul edilmiştir. Böylece model, ilk kombinasyon ya da diğer kombinasyonlardan birini seçerek karayolu taşıması ya da çok modlu taşımacılık arasında bir seçim yapma fırsatını vermiş olacaktır.

4.2.5 Çok Seviyeli ve Çok Amaçlı Model

Çoklu aşamalardan oluşan taşıma ağı içerisinde optimize edilmeye çalışılan farklı seviyelerde ve birden fazla amaç olacaktır. Modelde üst amaç, farklı kriterler açısından inceleme yaparak, her bir aşama için uygun olacak modların kullanımını (0 seviyesi) maksimize etmektir. Bunu sağlarken hiyerarşik olarak bir alt seviyede (seviye 1) iki amaç bulunmaktadır. Bunlar, toplam maliyet minimizasyonu ve toplam süre minimizasyonudur. Yine bu amaçların da altında kendi alt amaçları (seviye 2) bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla, toplam maliyet minimizasyonu için, taşıma maliyetleri, aktarma maliyetleri ve toplam yatırım maliyetleri minimizasyonudur. Toplam süre minimizasyonu içinse taşıma süreleri ve aktarma-istifleme süreleri toplamı minimizasyonudur. Çoklu amaçların hiyerarşisi Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Model amaçlarının hiyerarşisi

Amaçların entegrasyonu, sayı ve hiyerarşi açısından daha farklı şekillerde de kurulabilmektedir. Bununla ilgili olarak, uygulamaya bölümünde ele alınan gerçek problem üzerinde farklı senaryolar uygulanarak amaçların yerlerindeki değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taşıma modları ağırlıklarının maksimizasyonu amacının hiyerarşinin en üstüne konulmasının sebepleri arasında, taşıma modları ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında çok sayıda kriterin değerlendirmeye alınması vardır. Birçok kalitatif ve kantitatif kritere göre detaylı şekilde incelenmesi, bu amacı kapsam açısından tüm departmansal amaçların üzerine taşımaktadır. Sadece maliyet veya sadece taşıma süreleri üzerinde durmak modların kendine has diğer avantajlarını görmeyi engelleyecektir. Örneğin, bir taşıma modu maliyet avantajı sağlarken, ürünün hacim, değer, ambalaj vs. özelliklerinden dolayı o taşıma modunu kullanmak uygun olmayabilir. Yine bir modun kullanılması daha kısa süreli taşıma sağlarken, taşıma miktarları ile ilgili kapasite sorunları ya da güvenlik sorunları arz edebilir. Özellikle

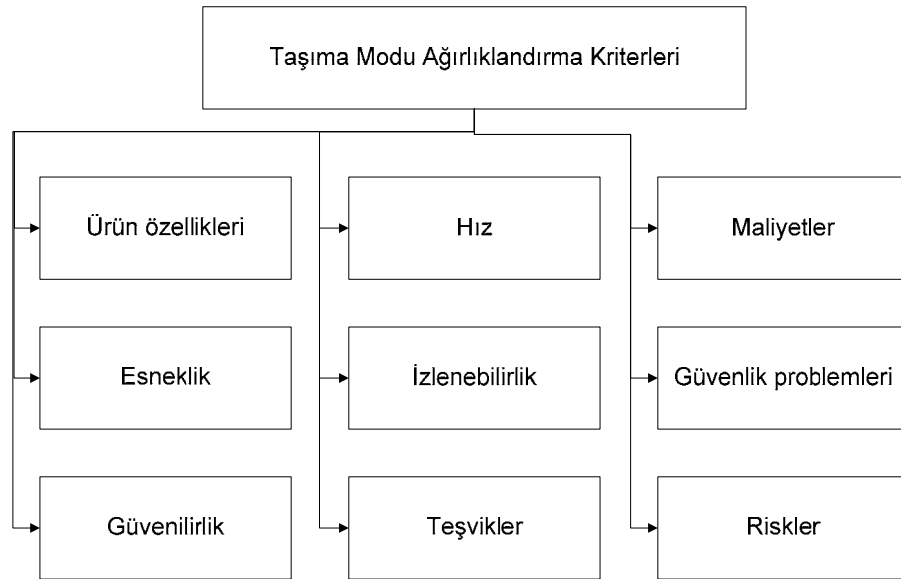
çok modlu taşımacılığın söz konusu olduğu taşımalarda seçilen taşıma modlarına göre aktarma noktaları seçileceğinden ya da kurulacağından dolayı stratejik düzeyde önem arz eden bir yanı da mevcuttur. Özellikle liman gibi aktarma istasyonlarının yatırım maliyetleri yüksek ve geri dönüşü belki de uzun olacağından dolayı, doğru taşıma modunun seçimi hayati öneme sahiptir.

Bu sebeplerden bir LHS işletme içinde özellikle üst yönetimin ilgileneceği uygun taşıma modunun kullanılması ve diğer departmanların odaklandığı diğer amaçların hiyerarşik bir şekilde ele alınmasını ve alınan kararların daha uzlaşımçı olmasını sağlayacaktır.

Modelin formülasyonuna geçilmeden önce taşıma modlarının ağırlıklarının belirlenmesi ve liman aktarma noktaları arasından uygun olanlarının seçiminde kullanılan kriterler ve AAS metodolojisine dayalı seçim süreci anlatılmıştır.

4.3 AAS Metodolojisi ile Taşıma Modu Ağırlıklandırma

Taşıma modu seçimi üzerinde etkisi olabilecek kriterler, konu ile ilgili ulusal ve uluslararası literatüre ek olarak, sektörde ve akademik alanda çalışan uzmanlardan oluşan bir grup ile yapılan beyin fırtınası sonucunda belirlenmiştir. Geçmiş çalışmalara bakıldığında, konuyu ele alış biçimine göre farklı kriterlerden söz edilmiş, fakat bu tez çalışmasında kullanılan kriterler kadar kapsamlı bir değerlendirmeye rastlanamamıştır. Karar verme süreci içerisinde belirlenen 54 kriter, benzerliklerine göre 9 kriter kümesi içinde toplanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Taşıma modlarının ağırlıklandırılmasında kullanılan kriter kümeleri

Bu kriter kümelerinin seçiminde lojistikte taşımacılık ve benzer konulardaki çalışmaların ele aldığı genel başlıklardan ve yukarıda belirtilen kişilerin fikirlerinden faydalanılmıştır. Uzman görüşlerine başvurarak ta bazı değişiklikler ve eklemeler yapılmıştır. AAS metodolojisi ile taşıma modu belirlemede kullanılacak kriter açıklamaları aşağıda verilmiştir.

4.3.1 Ürün Özellikleri Kriter Kümesi

Ürün özellikleri kriter kümesi içerisinde, taşıma modu alternatifleri veya diğer kriter kümelerinin elemanlarının kıyaslanması açısından etki yaratacak ve taşınan yüke göre değişecek kriterler bulunmaktadır (Bontekoning ve Priemus, 2004; Çancı ve Erdal, 2003).

Hacim: Taşınacak yükün hacim değeridir.

Ağırlık: Taşınacak yükün ağırlık değeridir.

Ürün değeri: Taşınacak yükün maddi değeridir.

Ambalaj özellikleri: Taşınacak yükün, taşıma ve depolama aşamalarında içinde bulunacağı ambalajın şekil, malzeme yapısı, sağlamlılığı vs. özellikleridir.

Sigorta gereksinimleri: Yükün taşınması sırasında ortaya çıkacak risklerle orantılı olarak oluşacak sigortalanma gereksinimleridir.

İstifleme Özelliği: Yükün taşıma kabı içerisinde ve ayrıca elleçleme ve aktarma işlemlerinin yapıldığı ara depolarda istiflenirken gereksinim duyacağı özelliklerdir.

Taşıma Özelliği: Yükün tipine göre değişecek farklı taşıma koşulu gereksinimleridir. Hızlı tüketim maddeleri veya dondurulmuş ürünlerin soğuk zincir ile taşınması örnek olarak verilebilir.

Ürün Ömrü: Taşınacak yükün kullanılabilme süresidir. Gazete, dergi veya kesme çiçek gibi ürünlerin kullanım ömrü kısa iken, herhangi bir beyaz eşyanın kullanım ömrü göreceli olarak çok uzun olacaktır.

Ürün Hassasiyeti: Taşınacak ürünün, taşıma sırasında oluşabilecek hasar risklerine karşı dayanıklılık ölçütüdür. Bir elektronik ürünün hassasiyeti yüksek iken, bir inşaat malzemesinin hassasiyeti göreceli olarak daha düşük olacaktır.

Tersine Lojistik Gereksinmesi: Taşınması yapılan ürünün kullanım ömrü sonunda geri toplanması veya ürünün içinde taşındığı taşıma kabının geri taşınması gereksinimleridir.

4.3.2 Esneklik Kriterleri Kümesi

Esneklik kriterleri; rota esnekliği, kapasite esnekliği ve ani değişiklikleri karşılayabilme esnekliği şeklinde 3 ana başlığa ayrılmış ve kendi içlerinde detaylandırılmıştır (Bontekoning ve Priemus, 2004).

Rota esnekliği: Taşıma sırasında kullanılacak rotalarda değişiklik yapabilme imkânıdır (Çancı ve Erdal, 2003). Oluşturulabilecek alternatif rota sayıları taşıma modu bazında değişiklik gösterecektir.

- **Hizmet verilebilecek yerlerin sayısı (Kapsama alanı, Erişebilirlik):** Arasında taşımaların gerçekleştirileceği tedarik ve talep noktalarının sayısı ve birbirlerine göre konumlarıdır.
- **Ağın alt yapı kalitesi:** Arasında taşımaların gerçekleştirileceği noktaları bir biri ile birleştiren rotaların altyapısının durumudur. Karayollarının asfalt kalitesi, şerit sayısı, demir yollarının sinyalizasyonu, ray kalitesi ve denizyolunda kullanılan limanların durumu gibi faktörlerdir.

Kapasite esnekliği: Birim zamanda değişecek taşıma talebini karşılayabilme düzeyidir.

- **Taşıma aracı hacimsel kapasitesi:** Taşımada kullanılacak taşıma aracının hacimsel kapasitesidir.
- **Taşıma aracı ağırlık kapasitesi:** Taşımada kullanılacak taşıma aracının ağırlık kapasitesidir.
- **Parti hacmi büyüklüğü:** Talep noktalarında bir seferde gelen sipariş miktarıdır.

Ani değişiklikleri karşılayabilme: Taşıma taleplerinde gerçekleşen beklenmedik ani değişimleri karşılayabilme düzeyidir.

- **Mevsimsel etkiler:** Tedarik ve talep noktaları arasındaki taşımaların mevsimsel etkilerden etkilenme düzeyidir.
- **Doğal afetler:** Taşıma rotaları içerisinde oluşabilecek doğal afetlerden etkilenmeme yeteneğidir. Bu yetenek düzeyi, hizmet verilen yerlerle ilgili kapsama alanı ve taşıma modu bazında değişiklik gösterecektir.

- **Ekonomik etkenlerdeki değişiklik:** Ülke ekonomilerinde oluşan büyük çaplı değişiklikler sonucunda ortaya çıkan kriz yada iyimser durumların talep üzerinde oluşturacağı artma yada azalmadır.

4.3.3 Güvenilirlik Kriterleri Kümesi

Gerçekleştirilen taşımaların, zaman açısından istenen şartları yerine getirebilme düzeyi ile ilgili performansını ölçen kriterlerdir (Çancı ve Erdal, 2003; Crainic, 2002; Bontekoning ve Priemus, 2004).

İstikrarlı teslimatlar: Yüklerin, talep noktalarına istenilen zaman ve koşullarda taşınabildiği durumların tüm taşımalara olan oranıdır.

Tarifelerin uygulanmasındaki güvenilirlik: Taşımalarla ilgili önceden belirlenmiş kalkış zamanı ile ilgili tarifelere tam uyabildiği durumların tüm taşımalara oranıdır.

Gecikmelerde gösterilen sorumluluk düzeyi: Taşımaların, söz verilen zamanda gerçekleştirilememesi durumunda taşıyıcı lojistik işletmesinin üzerine aldığı sorumluluk düzeyidir. Sözleşmelerde yer alan yaptırımların seviyesi ve bu yaptırımların uygulanması düzeyidir.

4.3.4 Hız Kriterleri Kümesi

Tekli veya çoklu taşıma modu kullanılarak gerçekleştirilen taşıma süreçlerinin hızı üzerinde etkisi olacak kriterlerden oluşmaktadır (Çancı ve Erdal, 2003; Crainic, 2002; Bontekoning ve Priemus, 2004).

Taşıma mesafeleri: Tedarik ve talep noktaları ile tüm ara noktalar arasındaki mesafelerdir.

Taşıma süreleri: Tedarik ve talep noktaları ile tüm ara noktalar arasındaki sürelerdir.

Aktarma noktalarında harcanan süre: Yük taşınması sırasında mod değişikliği veya elleçleme işlemlerinin yapıldığı aktarma noktalarında yükün boşaltılması, istiflenmesi ve yüklenmesi gibi aşamalarda harcanan sürelerin toplamıdır.

Taşıma hızı: Tedarik ve talep noktaları ile tüm ara noktalar arasındaki mesafelerin, bu mesafeleri kat etme sürelerine oranıdır.

4.3.5 İzlenebilirlik Kriterleri Kümesi

Taşıma süreci içerisinde taşınan yükün, taşıma kabının, taşıma aracının ve diğer tüm

faktörlerin durumunun takibinde önemli olan kriterlerdir (Çancı ve Erdal, 2003).

Yük ve aracın izlenebilirliği: Taşınan yükün veya taşıma aracının coğrafi konumu ve yükün fiziksel durumu hakkında bilgi alınabilmesidir.

Taşıma kabının izlenebilirliği: Taşınan yükün taşıma kabının, özellikle tersine lojistik gereksinimlerinin bulunduğu durumlarda coğrafi konumunun takip edilebilmesidir.

Diğer tüm faktörlerin izlenebilirliği: Tüm bürokrasi ve evrak takibi dâhil olmak üzere taşıma sırasında takip edilmesi gereken diğer tüm faktörlerdir.

4.3.6 Teşviklerle İlgili Kriter Kümesi

Taşıma rotası kapsamında geçilecek ülkelerin ya da taşımacılık bölgesi içerisinde faaliyet gösteren kuruluşların, uygun taşıma modları ve taşıma koşullarının sağlanması yönünde özendirici teşvikler vermesi ya da gümrük işlemlerinde kolaylık sağlamasıdır.

Devlet yardımı (teşvikler): Taşınacak yükün belirli koşulları sağlayarak taşınması durumunda devletten alınacak teşviklerdir. Özel tüketim vergisi indirimleri veya karayolu yerine demiryolu ya da deniz yolunun kullanılmasına özendiren MarcoPolo çalışması kapsamındaki teşvikler örnek olarak verilebilir.

Gümrük işlemlerinde kolaylıklar: Gerekli koşullar sağlanarak taşımaların yapılması durumunda gümrük işlemlerinde zaman ve maliyet yönünden elde edilecek kazanımlardır.

4.3.7 Maliyet Kalemleri ile İlgili Kriter Kümesi

Tek veya çoklu mod kullanılarak gerçekleştirilen yük taşımaları süreci içerisinde oluşan maliyet kalemlerini içeren kriterlerdir (Çancı ve Erdal, 2003; Racunica ve Wynter, 2005).

Taşıma maliyetleri: Tedarik ve talep noktaları arasında, taşıma sırasında oluşan tüm maliyet kalemlerinin toplamıdır. Örneğin karayolu taşımada, sürücü maliyeti, yakıt masrafları, otoban ve köprü harcamaları, amortisman giderleri vb tüm maliyet kalemleridir.

Elleçleme maliyetleri: Aktarma noktalarında, yükün bir taşıma modundan boşaltılması ve bir taşıma moduna yüklenmesi sırasında oluşan maliyetlerdir.

Depo ve aktarma noktaları işletme maliyetleri: Lojistik işletmesinin, kendi aktarma noktasını işletmesinde oluşan değişken ve sabit giderlerin toplamıdır.

Depo ve aktarma noktaları yatırım maliyetleri: Lojistik işletmesinin kendi aktarma

noktasını kurması için gerekli yatırım maliyetidir.

İletişim ve bilgi maliyetleri: Taşımaların doğru ve düzenli yapılabilmesi için tüm noktalar arasındaki iletişimin ve yük ya da taşıma aracının takibi bilgisinin, doğru ve zamanında elde edilebilmesi için kullanılan maliyetlerin toplamıdır.

Fire Maliyetleri: Taşımalar sırasında yada aktarma noktalarında, yük üzerinde oluşan hasar ve kayıpların oluşturduğu maliyetlerdir.

4.3.8 Güvenlik Problemleri ile İlgili Kriterler Kümesi

Yükün taşınması, ara noktalarda farklı modlara aktarılması veya geçici depolanması aşamalarında hasar görmesine neden olan emniyet eksiklikleri kriterleridir (Çancı ve Erdal, 2003).

Ürünün hasar görme ihtimali: Taşıma şartları, depolama şartları ve yükün özelliklerine göre hasar oluşması olasılığıdır.

Hırsızlık olasılığı: Taşıma şartları, depolama şartları ve yükün özelliklerine göre çalınabilme olasılığıdır.

Kaza sebepleri çeşitliliği: Taşıma koşullarına ve ürün özelliklerine göre değişiklik gösterecek kaza sebeplerinin sayısıdır. Örneğin karayolu taşımada, hava şartları, yolun altyapısı, trafik yoğunluğu, sürücü hataları vs gibi çok fazla kriter varken, demiryolunda bu sayı daha azdır.

Kazalı taşıma oranı: Belirli bir dönem içerisinde yapılan taşımalarda gerçekleşen kazaların toplam taşıma sayısına oranıdır.

Kaybolan ürün oranı: Belirli bir dönem içerisinde taşıma sırasında kaybolan ürünlerin taşınan tüm ürünlere oranıdır.

4.3.9 Risklerle ilgili Kriterler Kümesi

Yükün taşınması sırasındaki depolamalar, politik ve sosyal etkenler ve çevresel koşulları tehdit edecek 4 ana kriter grubudur. Depolama ve çevresel riskler kendi içinde alt kriterlerle detaylandırılmıştır (Crainic, 2002).

Depolama riskleri: Taşıma ağı içerisindeki aktarma aşamalarında gerçekleştirilen kısa süreli depolamalar sırasında oluşabilecek risklerdir.

- **İklimsel:** Nem oranı ve sıcaklıktaki değişiklikler, soğuk, ılık, karbondioksit ve oksijen seviyesi gibi tüm iklimsel faktörlerin yük üzerinde oluşturabileceği hasar riskleridir.
- **Fiziksel:** Mekanik şok, ısı şoku, titreşim (frekans aralığı), basınç ve kırılma, aşınma/sürtünme gibi faktörler sonucunda yük üzerinde oluşabilecek fiziksel hasar riskleridir.
- **Kimyasal:** Yüklerin bulundukları ortama uyumsuzlukları, difüzyona uğramaları, kimyasal içeriklerinin etkilenmesi gibi faktörler sonucunda kimyasal hasar görme riskleridir.

Politik riskler: Ülkelerin politikaları gereği aldıkları kararlara bağlı olarak ürün tedarik ve talepleri ile ilgili ambargolar ve miktarsal yada çeşitlilikle ilgili kotalar vb risklerdir.

Sosyal riskler: Taşıma şartlarına bağlı olarak sosyal çevrelerde tepkilerin oluşması riskidir. LHS işletme çalışanlarının grev yapması, buna karşılık lokavt kararları ve benzeri eylemler de bu madde içinde düşünülebilir.

Çevresel riskler: Taşıma koşullarına göre çevreye verilebilecek zararlara bağlı olan risklerdir.

- **Gürültü:** Taşıma sırasında taşıma aracının çıkartacağı gürültünün, taşıma rotasına bağlı olarak yerleşim birimleri üzerinde olumsuz etkiler yaratması riskidir.
- **Emisyon değerleri:** Taşıma aracının hareketi sırasında çıkan gazların çevreye vereceği zararlara ilgili risklerdir. Emisyon değerleri trafik yoğunluğuna göre artış göstereceğinden, trafik yoğunluğu ile ilgili çevresel risklerde bu madde içinde düşünülebilir.
- **Görüntü:** Taşınacak yükün ve taşıma kabının şekline bağlı olarak oluşacak görüntünün düzgün olmaması riskidir.

4.3.10 Kriterler Arası İlişkilerin Kurulması ve Taşıma Modu Ağırlıklarının Bulunması

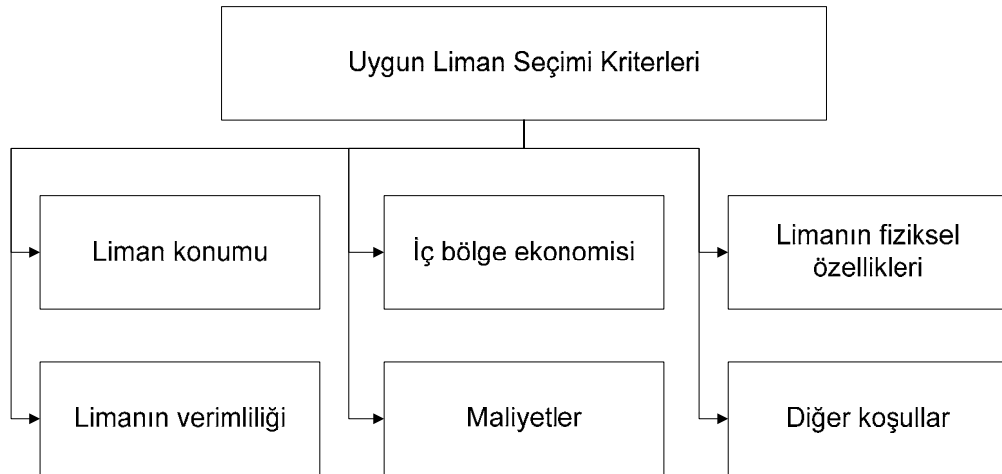
Modelleme süreci içerisinde seçim kriterleri belirlendikten sonraki aşama karar vericiler tarafından ağırlıkların belirlenmesidir. Ağırlık belirleme aşaması hiyerarşik bir yapı şeklinde gerçekleştirilir. Öncelikle yukarıda belirtilen kriterler amaca göre ağırlıklandırılır. Ardından kriterler, birbirleri üzerindeki etkileri dikkate alınarak ilişkilendirilir. Son aşamada ise, alternatif taşıma modları ilgili kriterlere göre değerlendirilir. Bunların sonucunda, gerekli

hesaplamalar ile taşıma modu alternatiflerinin ağırlıkları elde edilebilecektir.

İkili kıyaslamalarla elde edilen ağırlıklar, 5. Bölümde anlatılacak AAS'nin adımlarından ilk ikisi sonucunda bulunur. Daha sonra tüm ağırlıklar süper matris olarak adlandırılan tek bir matris içinde toplanır. Sırasıyla önce kriter kümeleri kendi içlerinde normalize edilir. Ardından kümelerin ağırlıklarına göre süper matrisin tüm sütunları normalize edilir. Son olarak ta üssel kuvvetler alınarak nihai ağırlıklara ulaşılır. Tez kapsamında ki tüm matris işlemleri Super Decision paket programı ile hesaplanmıştır. Süper Decision hem hesaplama kolaylığı sağlamakta, hem de sonuçların duyarlılıklarını ölçme imkanı vermektedir.

4.4 AAS ile Uygun Liman Seçimi

Çok modlu ve çok aşamalı taşımacılık modeli içerisindeki aşamalardan birini oluşturan uzun taşıma başlangıcındaki ve sonundaki liman aktarma noktaları arasında uygun olanlarının seçilmesi AAS ile gerçekleştirilebilmektedir. Seçim aşamasında kullanılan 20 adet kriter, konu ile ilgili mevcut literatürden (Chou, 2006; Peter, 2006 ve Silva, 2005) ve ayrıca konu ile ilgili sektör çalışanlarından ve akademisyenlerden oluşan bir uzman grubun görüşlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Bu kriterler literatürde sıkça karşılaşılan 6 adet ana kriter kümesine Şekil 4.6'da gösterildiği gibi ayrılmıştır.



Şekil 4.6 Uygun liman seçiminde kullanılan kriter kümeleri

4.4.1 Liman Konumu ile İlgili Kriterler Kümesi

Bu kriter kümesi, ithalat/ihracat alanına, besleyici veya toplayıcı (ana) limana ve gemilerin izlediği ana rotaya yakınlık kriterlerinden oluşmaktadır. Limanın konumu, toplam maliyet açısından farklılık yaratabileceğinden dolayı çok önemlidir.

İthalat alanına yakınlık: Liman yerinin karasal bölgelerdeki varış noktalarına olan mesafeleridir.

Besleyici veya ana limana yakınlık: Marmara bölgesindeki limanların genellikle besleyici limanlar olması sebebiyle Akdeniz'deki ana limanlara olan uzaklıklarıdır. Bununla birlikte Karadeniz'de faaliyet gösteren bazı büyük gemilerin buradaki limanlara uğrayarak yükleme veya boşaltma yapması kendilerine ana liman özelliği de vermektedir.

Ana rotaya yakınlık: Akdeniz'den geçen ana rotalara olan uzaklıktır. Özellikle farklı bölgelerden, okyanus aşırı taşımalar için liman seçiliyor olsaydı, seçim üzerinde etkisi büyük olurdu. Bu aşamada Marmara bölgesindeki limanlar açısından büyük farklar yaratmayacaktır.

4.4.2 İç Bölge Ekonomisi Kriterleri Kümesi

İthalat/ihracat konteynerlerinin ve transit konteynerlerin hacmi ile gemi servislerinin sıklığı ile ilgili 3 farklı kriterden oluşan bir kriter kümesidir.

Limandaki gemi ile taşıma servisinin sıklığı: Limandan istenilen rotaya hangi sıklıkla gemi kalktığı ile ilgili kriterdir. Bu kriter, stok miktarı ve maliyetlerini etkileyeceğinden dolayı düzenli olarak gemi ile taşıma yapacak işletmeler için önemlidir.

İthalat / ihracat konteynerlerinin hacmi: Limana ithalat ya da ihracat amaçlı olarak gelen konteynerlerin birim zamandaki hacmidir.

Transit konteynerlerin hacmi: Konteynerin limana indirildiği fakat başka bir taşıma moduna aktarılmadan tekrar aynı limandan başka rotadaki bir gemiye yüklenecek konteynerlerin birim zaman içindeki hacmidir.

4.4.3 Limanın Fiziksel Özellikleri ile İlgili Kriterler Kümesi

Limanın altyapısı, liman araç ve ekipmanlarının kalitesi ve diğer taşıma modlarına bağlantı imkanı şeklindeki 3 kriterden oluşan bir kriter kümesidir.

Altyapı: Her türlü gemiye hizmet verebilmek için limanın derinliği, rıhtım uzunluğu istifleme alanı gibi kriterler açısından gereksinimleri karşılayabilmesidir.

Liman araç ve ekipmanlarının kalitesi: Liman içerisindeki yükleme boşaltma, taşıma ve istifleme gibi operasyonların gerçekleştirilmesi için gerekli ekipmanların sayı ve uygunluk açısından kalitesidir.

Diğer taşıma modlarına bağlantı imkanı: Limana indirilen yüklerin diğer taşıma modları

ile taşınmaya devam edebilmesi için gerekli bağlantıların olması ile ilgili kriterdir.

4.4.4 Liman Verimliliği Kriterleri Kümesi

Konteynerlerin elleçlenme verimliliği, geminin yanaşma süresi, istif alanı verimliliği ve genel verimlilik şeklinde 4 kriterden oluşan kriter kümesidir.

Konteyner elleçleme verimliliği: Yüklerin limana boşaltılması, gemiye yüklenmesi ve liman içi taşımalarla ilgili operasyon sürelerindeki verimliliklerdir.

Geminin yanaşma süresi: Plotaj, römorkaj ve limanın şekline bağlı olarak gemilerin rıhtıma yanaşabilme süreleri ile ilgili kriterdir.

İstif alanı verimliliği: Limana gelen bir konteynerin ne kadar süre istif alanında kaldığı ve istenildiğinde alandan çekilme süreleriyle ilgili verimliliklerdir.

Genel verimlilik: Liman genelindeki tüm operasyonların bütünü ve bürokratik işlemlerin gerçekleştirilme hızı ile ilgili kriterdir.

4.4.5 Maliyetlerle İlgili Kriterler Kümesi

Liman ücretleri ve karasal bölgelerdeki varış noktalarına yük taşıma tarifeleri şeklinde 2 kriterden oluşmaktadır.

Liman ücretleri: Konteynerlerin gemiye yüklenmesi yada boşaltılması, istif alanında beklemesi, muayeneleri vb. maliyetlerin toplamıdır.

Varış noktalarına yük tarifi: Limandan çıkacak yüklerin varış noktalarına kadar taşınmasında taşıma modları bazında uygulanan tarifelerdir.

4.4.6 Diğer Koşullarla İlgili Kriterler Kümesi

Limanın gelişme planı, limandaki kişisel bağlantılar, liman bilgi sistemleri, liman güvenliği ve limanın imajı şeklinde 5 kriterden oluşan kriterler kümesidir.

Liman gelişme planı: Limanın ileriki zamanlarda genişleme veya verimliliğini artırma potansiyelidir. Mali durumunun ve çevresel koşullarının uygunluğuna göre planlarda farklılaşma olabilecektir.

Limandaki kişisel bağlantılar: Özellikle çok profesyonel çalışmayan limanlarda yetkili kişilerle kurulan ikili ilişkilerin etkisidir.

Liman bilgi sistemleri: İşlerin çizelgelenmesi, istif alanının ve ekipmanların etkin

kullanılması gibi faydalar sağlayacak bir liman yönetim yazılımına sahip olunması ile ilgili kriterdir.

Liman güvenliği: Gümrüklü alan olan limanlarda hırsızlık, kaybolma veya diğer sebeplerden ötürü ürünlerin zarar görme durumlarıyla ilgili kriterdir.

Limanın imajı: Liman operasyonlarında yüklerin zarar görmesi veya gecikmelerin sıklığı gibi konularla ilgili olarak limanın dışarıya verdiği izlenimlerdir.

Bu kriterler dikkate alınarak taşıma modu ağırlandırılmasına benzer bir prosedür uygun liman seçimi için tekrarlanır.

4.5 Model Formülasyonu

Model içerisinde kullanılacak bazı parametrelerin tespitinde ve taşıma ağı içerisinde yer alacak bazı noktaların seçilmesinde kullanılan AAS kriterlerinin belirlenmesinin ardından modelin formüle edilmesine geçilmiştir. Model formülasyonunda kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

4.5.1 Modelde Kullanılan İndisler, Parametreler ve Karar Değişkenleri

İndis seti:

i	Arz noktaları indeksi
j	1. aktarma istasyonları indeksi
k	2. aktarma istasyonları indeksi
l	Yerel depolar indeksi
m	Talep noktaları indeksi
p	Ürün tipi indeksi
a	Taşıma modu indeksi

Parametreler:

λ_a	a . taşıma modun ağırlığı
D_{pm}	m talep noktasının talep ettiği p ürün miktarı

$Mtas_{pila}^1$	p ürününü i tesisinden l bölgesel deposuna a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Mtas_{pija}^2$	p ürününü i tesisinden j aktarma noktasına a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Mtas_{pjka}^3$	p ürününü j aktarma noktasından k aktarma noktasına a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Mtas_{pkma}^4$	p ürününü k aktarma noktasından m talep noktasına a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Mtas_{pkla}^5$	p ürününü k aktarma noktasından l bölgesel deposuna a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Mtas_{plma}^6$	p ürününü l bölgesel deposundan m talep noktasına a taşıma modu ile taşıma maliyeti (YTL/ürün)
$Ttas_{pila}^1$	p ürününü i tesisinden l bölgesel deposuna a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Ttas_{pija}^2$	p ürününü i tesisinden j aktarma noktasına a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Ttas_{pjka}^3$	p ürününü j aktarma noktasından k aktarma noktasına a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Ttas_{pkma}^4$	p ürününü k aktarma noktasından m talep noktasına a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Ttas_{pkla}^5$	p ürününü k aktarma noktasından l bölgesel deposuna a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Ttas_{plma}^6$	p ürününü l bölgesel deposundan m talep noktasına a taşıma modu ile taşıma süresi (saat/ürün)
$Makt_{pja}^{J,boş}$	a taşıma modu ile j aktarma noktasına gelen p paletli ürününün boşaltılması

maliyeti (YTL/ürün)

$Makt_{pja}^{J,yük}$ a taşıma modu ile j aktarma noktasından çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi maliyeti (YTL/ürün)

$Makt_{pka}^{K,boş}$ a taşıma modu ile k aktarma noktasına gelen p paletli ürününün boşaltılması maliyeti (YTL/ürün)

$Makt_{pka}^{K,yük}$ a taşıma modu ile k aktarma noktasından çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi maliyeti (YTL/ürün)

$Makt_{pla}^{L,boş}$ a taşıma modu ile l bölgesel deposuna gelen p paletli ürününün boşaltılması maliyeti (YTL/ürün)

$Makt_{pla}^{L,yük}$ a taşıma modu ile l bölgesel deposundan çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi maliyeti (YTL/ürün)

$Takt_{pja}^{J,boş}$ a taşıma modu ile j aktarma noktasına gelen p paletli ürününün boşaltılması süresi

$Takt_{pja}^{J,yük}$ a taşıma modu ile j aktarma noktasından çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi süresi (saat/ürün)

$Takt_{pka}^{K,boş}$ a taşıma modu ile k aktarma noktasına gelen p paletli ürününün boşaltılması süresi (saat/ürün)

$Takt_{pka}^{K,yük}$ a taşıma modu ile k aktarma noktasından çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi süresi (saat/ürün)

$Takt_{pla}^{L,boş}$ a taşıma modu ile l bölgesel deposuna gelen p paletli ürününün boşaltılması süresi (saat/ürün)

$Takt_{pla}^{L,yük}$ a taşıma modu ile l bölgesel deposundan çıkacak p paletli ürününün yüklenmesi süresi (saat/ürün)

$Mdepo_{pja}^J$ a taşıma modu ile gelen p ürününün j aktarma noktasındaki depolama alanında bekleme maliyeti (YTL/ürün)

$Mdepo_{pka}^K$ a taşıma modu ile gelen p ürününün k aktarma noktasındaki depolama alanında bekleme maliyeti (YTL/ürün)

$Mdepo_{pla}^L$ a taşıma modu ile gelen p ürününün l bölgesel deposundaki depolama alanında bekleme maliyeti (YTL/ürün)

$Tdepo_{pja}^J$ a taşıma modu ile gelen p ürününün j aktarma noktasındaki depolama alanında bekleme süresi (saat/ürün)

$Tdepo_{pka}^K$ a taşıma modu ile gelen p ürününün k aktarma noktasındaki depolama alanında bekleme süresi (saat/ürün)

$Tdepo_{pla}^L$ a taşıma modu ile gelen p ürününün l bölgesel deposundaki depolama alanında bekleme süresi (saat/ürün)

S_j j aktarma noktasının dönemlik kapasitesi (konteyner)

S_k k aktarma noktasının dönemlik kapasitesi (konteyner)

S_l l bölgesel deposunun dönemlik kapasitesi (konteyner)

$Msb t_j^J$ j aktarma noktasının açılması ile oluşacak yatırım maliyeti (YTL)

$Msb t_k^K$ k aktarma noktasının açılması ile oluşacak yatırım maliyeti (YTL)

$Msb t_l^L$ l bölgesel deposunun açılması ile oluşacak yatırım maliyeti (YTL)

$Misl t_j^J$ j aktarma noktasının açılması ile oluşacak işletme maliyeti (YTL)

$Misl t_k^K$ k aktarma noktasının açılması ile oluşacak işletme maliyeti (YTL)

$Misl t_l^L$ l bölgesel deposunun açılması ile oluşacak işletme maliyeti (YTL)

Karar değişkenleri

X_{pila}^1 i tesisinden l bölgesel deposuna a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

X_{pija}^2 i tesisinden j aktarma noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

X_{pjka}^3	j aktarma noktasından k aktarma noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı
X_{pkma}^4	k aktarma noktasından m talep noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı
X_{pkla}^5	k aktarma noktasından l bölgesel deposuna a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı
X_{plma}^6	l bölgesel deposundan m talep noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı
Y_j^J	j aktarma noktasının açılıp açılmaması ile ilgili 0 – 1 karar değişkeni
Y_k^K	k aktarma noktasının açılıp açılmaması ile ilgili 0 – 1 karar değişkeni
Y_l^L	l bölgesel deposunun açılıp açılmaması ile ilgili 0 – 1 karar değişkeni

4.5.2 Amaç Fonksiyonları

Daha önce tanımlanan 8 adet amaç fonksiyonunun matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

1. *Amaç fonksiyonu:* Modların kullanımından gelen etkinlik toplamı:

Bu amaçlardan ilki, aşamalar arasında ilgili modla taşınan yük miktarları ile üst yönetimin stratejik anlamda değerlendirerek belirlediği taşıma modu ağırlıklarının çarpılması sonucunda elde edilen etkinliğin maksimizasyonudur (4.1).

$$\max z_1 = \sum_{a=1}^A \lambda_a \left(\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{pjka}^3 + \right. \\ \left. \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M X_{pkma}^4 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M X_{plma}^6 \right) \quad (4.1)$$

2. *Amaç fonksiyonu:* Toplam maliyet minimizasyonu:

Sonraki 4 amaç fonksiyonu taşıma maliyetleri kapsamındaki minimizasyonlardır. Buradaki amaçlar taşımacılıkla ilgili operasyonlardan sorumlu departmanın ilgi alanına girmektedir. Öncelikle bu departmanın sorumlusu, oluşacak toplam maliyetleri minimize etmeyi amaçlayarak üst yönetime karşı sorumluluklarını yerine getirecektir. Direkt olarak taşımalar

aşamasında, aktarma istasyonlarında ve ilgili tesislerin açılması ve/veya işletilmesi sırasında oluşan maliyetlerin toplamı ile ilgilenir (4.2).

$$\begin{aligned}
\min z_2 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Mtas_{pila}^1 X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A Mtas_{pija}^2 X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Mtas_{pika}^3 X_{pika}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Mtas_{pkma}^4 X_{pkma}^4 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Mtas_{pkla}^5 X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Mtas_{plma}^6 X_{plma}^6 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (Makt_{pja}^{J,boş} + Mdepo_{pja}^J) X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Makt_{pja}^{J,yük} X_{pika}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A (Makt_{pka}^{K,boş} + Mdepo_{pka}^K) X_{pjka}^3 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Makt_{pka}^{K,yük} X_{pkla}^5 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Makt_{pla}^{L,boş} + Mdepo_{pla}^L) X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Makt_{pla}^{L,yük} X_{plma}^6 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Makt_{pla}^{L,boş} + Mdepo_{pla}^L) X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Makt_{pka}^{K,yük} X_{pkma}^4 + \\
& \sum_{j=1}^J Y_j^J (Msbt_j^J + Misl_t_j^J) + \sum_{k=1}^K Y_k^K (Msbt_k^K + Misl_t_k^K) + \sum_{l=1}^L Y_l^L (Msbt_l^L + Misl_t_l^L) \quad (4.2)
\end{aligned}$$

3. Amaç fonksiyonu: Taşıma maliyetleri toplamı:

Sadece taşıma aşamasında oluşan ve taşınan yük miktarı ile birim taşıma maliyetlerinin çarpımı sonucu elde edilen maliyettir. Taşıma modlarının bir araya getirilme şekline göre değişiklik gösterecektir (4.3).

$$\begin{aligned}
\min z_3 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Mtas_{pila}^1 X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A Mtas_{pija}^2 X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Mtas_{pika}^3 X_{pika}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Mtas_{pkma}^4 X_{pkma}^4 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Mtas_{pkla}^5 X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Mtas_{plma}^6 X_{plma}^6 \quad (4.3)
\end{aligned}$$

4. Amaç fonksiyonu: Aktarma maliyetleri toplamı:

Taşıma modu değiştirme amaçlı olarak aktarma istasyonlarına gelen yüklerin, aktarma istasyonuna boşaltılması ve yüklenmesi aşamalarında oluşan birim maliyetler ile yük miktarlarının çarpımı sonucu elde edilen maliyettir. Yükün aktarma istasyonuna geliş ve gidiş molarındaki farklılıklara göre değişiklik gösterecektir (4.4).

$$\begin{aligned}
\min z_4 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (Makt_{pja}^{J,boş} + Mdepo_{pja}^J) X_{pja}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Makt_{pja}^{J,yük} X_{pjka}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A (Makt_{pka}^{K,boş} + Mdepo_{pka}^K) X_{pjka}^3 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Makt_{pka}^{K,yük} X_{pkla}^5 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Makt_{pla}^{L,boş} + Mdepo_{pla}^L) X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Makt_{pla}^{L,yük} X_{plma}^6 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Makt_{pla}^{L,boş} + Mdepo_{pla}^L) X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Makt_{pka}^{K,yük} X_{pkma}^4
\end{aligned} \tag{4.4}$$

5. *Amaç fonksiyonu:* Tesis açma ve işletme maliyetleri minimizasyonu:

İlk veya ikinci aşamadaki aktarma istasyonlarının ve bölgesel depoların açılması ve işletilmesi sonucu oluşan maliyetlerin toplamıdır. İlk yatırım maliyetleri ve yıllık işletme maliyetleri şeklinde ikiye ayrılmıştır. Söz konusu tesisin yerine göre değişiklik gösterecektir (4.5).

$$\min z_5 = \sum_{j=1}^J Y_j^J (Msbt_j^J + Mislt_j^J) + \sum_{k=1}^K Y_k^K (Msbt_k^K + Mislt_k^K) + \sum_{l=1}^L Y_l^L (Msbt_l^L + Mislt_l^L) \tag{4.5}$$

Bu aşamalarda açılması olası aktarma noktaları ve depoların işletme maliyetlerinin üründen bağımsız olarak öngörüldüğü varsayımı yapılmıştır.

6. *Amaç fonksiyonu:* Toplam sürelerin minimizasyonu:

Son 3 aşama LHS içinde müşterilerle ilgilenen pazarlama departmanının ilgi alanına girmektedir. Bu departmanın sorumlusu müşteri memnuniyetini artırmak adına daha düşük sürelerle taşıma gerçekleştirmek üzere üst yönetime karşı sorumlu olacaktır. Direkt olarak aşamalar arasında yüklerin taşınması, aktarma istasyonlarına ve bölgesel depolara boşaltılması, tesis içindeki istif alanında beklemesi ve tekrar araçlara yüklenmesi sırasında oluşacak sürelerin toplamı ile ilgilenir. Bu toplam süreyi minimize etmeye çalışır (4.6).

$$\begin{aligned}
\min z_6 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Ttas_{pila}^1 X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A Ttas_{pja}^2 X_{pja}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Ttas_{pjka}^3 X_{pjka}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Ttas_{pkma}^4 X_{pkma}^4 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Ttas_{pkla}^5 X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Ttas_{plma}^6 X_{plma}^6 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (Takt_{pja}^{J,boş} + Tdepo_{pja}^J) X_{pja}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Takt_{pja}^{J,yük} X_{pjka}^3 + \\
& \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A (Takt_{pka}^{K,boş} + Tdepo_{pka}^K) X_{pjka}^3 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Takt_{pka}^{K,yük} X_{pkla}^5 +
\end{aligned} \tag{4.6}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Takt_{pla}^{L,boş} + Tdepo_{pla}^L) X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Takt_{pla}^{L,yük} X_{plma}^6 + \\ & \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Takt_{pla}^{L,boş} + Tdepo_{pla}^L) X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Takt_{pka}^{K,yük} X_{pkma}^4 \end{aligned}$$

Taşımacılıkta özellikle taşıma süreleri çok değişken olmakla birlikte modelde bunların deterministik olduğu kabulü yapılmış ve kullanıcının belirteceği süreler üzerinden gidilmiştir.

7. *Amaç fonksiyonu:* Taşıma süreleri toplamı minimizasyonu:

Planlaması yapılan zaman içerisinde taşınacak olan tüm yüklerin taşıma moduna göre değişiklik gösteren birim taşıma zamanı ile çarpımı sonucunda elde edilen toplam süre ile ilgili amaçtır (4.7).

$$\begin{aligned} \min z_7 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Ttas_{pila}^1 X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A Ttas_{pija}^2 X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Ttas_{pjka}^3 X_{pjka}^3 + \\ & \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Ttas_{pkma}^4 X_{pkma}^4 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Ttas_{pkla}^5 X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Ttas_{plma}^6 X_{plma}^6 \end{aligned} \quad (4.7)$$

8. *Amaç fonksiyonu:* Aktarma ve istifleme süreleri toplamı minimizasyonu:

Çok modlu taşıma ağı içerisindeki aktarma istasyonları ve bölgesel depolarda yüklerin boşaltılması, istif alanında beklemesi ve bir sonraki aşama için tekrar yüklenmesi sırasında geçen birim zamanlar ile bu işlemlere tabi tutulan yük miktarlarının çarpımı sonucu elde edilen sürelerin toplamıdır. Aktarma istasyonu ya da bölgesel depoya, geliş ve gidiş modlarına göre farklılık gösterecektir (4.8).

$$\begin{aligned} \min z_8 = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (Takt_{pja}^{J,boş} + Tdepo_{pja}^J) X_{pija}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A Takt_{pja}^{J,yük} X_{pjka}^3 + \\ & \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A (Takt_{pka}^{K,boş} + Tdepo_{pka}^K) X_{pjka}^3 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A Takt_{pka}^{K,yük} X_{pkla}^5 + \\ & \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Takt_{pla}^{L,boş} + Tdepo_{pla}^L) X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Takt_{pla}^{L,yük} X_{plma}^6 + \\ & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A (Takt_{pla}^{L,boş} + Tdepo_{pla}^L) X_{pila}^1 + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A Takt_{pka}^{K,yük} X_{pkma}^4 \end{aligned} \quad (4.8)$$

4.5.3 Modelin Kısıt Seti

Modelin amaç fonksiyonlarının optimizasyonu sırasında dikkate alınması gereken kısıtlar

aşağıda sıralanmıştır. Genel olarak belirtilirse, müşteri talepleri, ara aşamaların talepleri, ara aşamaların kapasiteleri ve bu aşamalarda bulunan noktaların açılıp açılmaması kararları ile ilgili kısıt setleri mevcuttur.

Her talep noktasının her ürün tipi ile ilgili toplam talebinin karşılanması kısıtı (4.9);

$$\sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A X_{pkma}^4 + \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A X_{plma}^6 = D_{pm} \quad \forall p \in P \text{ ve } m \in M \quad (4.9)$$

Talep noktalarının belirli bir ürün ile ilgili talebinin, farklı üretim tesislerinden sağlanmasına müsaade edilmiştir. Uygulama sırasında ayrıca bir kısıt getirilmez ise aynı ürünü üreten farklı tesislerden uygun olanını seçme kararının LHS işletmeye bırakıldığı kabulü yapılmıştır.

Her ürün tipi için, tedarikçilerden 1. aktarma noktalarına gönderilen toplam ürün miktarı, 1. aktarma noktalarından 2. aktarma noktalarına gönderilen toplam ürün miktarına eşit olması kısıtı (4.10);

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A X_{pija}^2 = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A X_{pjka}^3 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall j \in J \quad (4.10)$$

Buradaki genel gösterimde her üretim tesisinden tüm ürünlerin tedariki mümkün olarak gösterilmektedir. Fakat uygulama aşamasında her p ürün tipi için i üretim tesisleri ile ilgili alt kümeler oluşturulabilir. Böylelikle, belirli ürünlerin belirli tesislerde üretilmesi koşulu modele dahil edilmiş olur.

Her ürün tipi için, 1. aktarma noktalarından 2. aktarma noktalarına gönderilen ürün miktarı, 2. aktarma noktalarından bölgesel depolara ve talep noktalarına gönderilen ürün miktarlarına eşit olması kısıtı (4.11);

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A X_{pjka}^3 = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A X_{pkla}^5 + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A X_{pkma}^4 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall k \in K \quad (4.11)$$

Her ürün tipi için, tedarikçi tesislerinden ve 2. aktarma noktalarından bölgesel depolara gönderilen ürün miktarları toplamı, bölgesel depolardan talep noktalarına aktarılan ürün miktarları toplamına eşit olması kısıtı (4.12);

$$\sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A X_{pila}^1 + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A X_{pkla}^5 = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A X_{plma}^6 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall l \in L \quad (4.12)$$

Bu kısıtla birlikte, üretim tesislerinden doğrudan taşımanın talep noktalarına değil sadece

yerel depolara yapılabileceği varsayımı yapılmıştır. Gerçek uygulamalarda üretim tesislerinden talep noktalarına doğrudan taşımalar yapılmakla birlikte, burada talep noktalarının genellikle küçük boyutlu siparişler vereceği ve bunun da bölgesel taşımalarla gerçekleştirileceği düşünülmüştür.

Tedarikçiler ile talep noktaları arasındaki tüm noktaların kapasite kısıtları (4.13), (4.14) ve (4.15);

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^A X_{pija}^2 \leq S_j Y_j^J \quad \forall j \in J \quad (4.13)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A X_{pjka}^3 \leq S_k Y_k^K \quad \forall k \in K \quad (4.14)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^A X_{pkla}^5 + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^A X_{pila}^1 \leq S_l Y_l^L \quad \forall l \in L \quad (4.15)$$

Model içindeki kapasite kısıtları sadece aktarma noktaları ve yerel depo lokasyonları ile ilgili olarak verilmiştir. Bununla birlikte, konteynerlerin geri dönüş operasyonları ve özellikle demiryolu taşımalarında hatların yoğunlukları dikkate alındığında her bir taşıma modu için ayrıca kapasite kısıtları eklenebilir. Mevcut duruma bakıldığında, her bir aktarma noktasından belirli modlarla taşıma yapılabildiğinden, aktarma noktalarına verilen kapasite kısıtları belirli oranda modlarla ilgili kapasite kısıtı oluşturmaktadır. Ayrıca, aktarma noktaları ve depolarda bulundurulacak ürünlerin kuru yük olacağı kabulü yapılmış ve ürün bazında değil konteyner bazında kapasiteler verilmiştir.

Modelle ilgili kısıtlar seti yukarıda belirtilen ifadelerle sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte, proje için harcanması planlanan toplam maliyetlerle ilgili finansal kısıtların eklenmesi de söz konusu olabilir. Fakat modelde bir bütünlük sağlanmıştır ve uygulama aşamasında çıkabilecek sonuçların çeşitliliğini daraltmamak adına ayrıca bir kısıt seti eklenmemiştir. Sonraki bölümde, burada tüm detayları ile verilen modelin çözümüne yönelik yaklaşımlar verilmiştir.

5. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Model tasarımı bölümünde anlatılan her bir aşama için kullanılacak çözüm yöntemi ve yaklaşımları bu bölümde anlatılmıştır. Öncelikle, taşıma modu ve uygun liman yeri seçimlerinde kullanılacak olan analitik ağ süreci (AAS) yaklaşımı verilmiştir. Ardından da, çok modlu ve çok aşamalı taşıma ağının çözümünde kullanılan Çok Seviyeli Programlama (ÇSP) tekniği detaylı şekilde anlatılmıştır.

5.1 Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı

Bir karar sürecinde bilgi, deneyim ve düşünceleri yansıtan yargıların detaylı şekilde ortaya konmasının ardından, doğru sonuçlara varabilmek için doğru bir sentezleme yapılması gereklidir. Sentezleme işlemi ise alternatif sonuçları ölçme ile gerçekleştirilir. Çalışma kapsamındaki taşıma modlarının öneminin ölçülebilmesi ve alternatif limanlar arasından modele alınmaya değer olanların belirlenebilmesi için yargılara anlamlı sayılar atamak, yani anlamlı ölçekler kullanmak gerekmektedir. AAS de oran ölçeğine dayanan bir teoridir ve çok farklı alanlarda birçok uygulaması yapılmıştır.

5.1.1 Analitik Ağ Süreci Literatür Araştırması

Saaty'nin (1996) da ortaya attığı AAS kavramı, o tarihten bu yana tedarik zinciri yönetiminden SWOT analizine, hastane yeri seçiminden ülke enerji politikaları seçimine kadar birçok farklı alanda kullanılmıştır.

Aşağıda, AAS'nin geçerliliğini ve güncelliğini koruduğunu göstermek adına, son yıllarda farklı alanlarda yapılmış çalışmalardan örnekler sıralanmıştır. Cheng vd. (2005), AHS ile AAS arasındaki farkları ortaya koyarak, kriterler arası ilişkiler söz konusu olduğunda AAS'nin çok daha etkili sonuçlar verdiğini bir alışveriş merkezi yeri seçimi uygulamasında göstermişlerdir. Ulutaş (2005) AAS ile Türkiye için alternatif enerji kaynaklarını değerlendirmiştir. 11 adet alternatif enerji kaynağı için, 12 adet kriter kümesi ve 28 elemandan oluşan bir yapı için AAS'nin makul ve uygulanabilir sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Erdoğmuş vd. (2006), yakıt alternatifleri arasında, evsel ısınma için en uygun olanının belirlenmesinde AAS kullanarak, enerji talebinin gelişimi, sosyal yapının gelişimi, teknolojik değişim ve enerji fiyatları gibi faktörlerini ve alt faktörlerini bir arada değerlendirmişlerdir. Araştırma ve geliştirme projelerinin seçimi de AAS'nin uygulanabileceği diğer bir alandır. Mohanty vd. (2005), tercihlerdeki belirsizlikleri dikkate alarak, araştırma ve geliştirme projelerinin maliyet analizini yapmada, bulanık AAS

yöntemini kullanmışlardır. Toplam kalite yönetiminin, Türk imalat endüstrisine uygulanmasının değerlendirilmesi ve değişik faktörlerin konu üzerindeki etki seviyelerinin belirlenmesi (Bayazit ve Karpak, 2007) AAS'nin farklı bir uygulama alanıdır. Bulanık AAS yaklaşımı ile elde edilen sonuçların, bulanık kalite fonksiyonu açılımı ve optimizasyonu entegre modelinin amaç fonksiyonu içinde katsayı olarak kullanıldığı bir çalışma Kahraman vd. (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yine bulanık AAS, kalite fonksiyonu açılımında tasarım ihtiyaçları ile müşteri gereksinimleri arasındaki ilişkilerin derecesini gözeterek önceliklendirme yapmada kullanılmıştır (Büyüközkan, 2004). Diğer bir çalışmada ise Yüksel ve Dağdeviren (2007), güçlü ve zayıf yönler ile fırsat ve tehditler (SWOT) analizi çalışmalarının, faktörlerin belirlenmesi ve alternatiflerin değerlendirilmesi konusunda analitik bir anlam oluşturamayacağı görüşüne dayanarak, konuya AAS yaklaşımını adapte etmişlerdir.

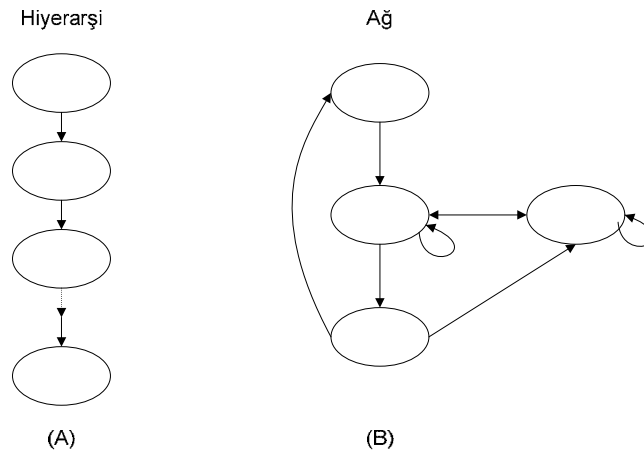
Yukarıda sıralanan farklı alanlardaki çalışmaların yanında, lojistik, tedarik zinciri yönetimi ve taşımacılık konularında da birçok AAS çalışması yapılmıştır. Örnek olacak birkaç tanesi aşağıda anlatılmıştır. Nakagawa ve Sekitani (2004) tedarikçi seçimi ve tedarik zinciri performansının geliştirilmesi gibi stratejik tedarik zinciri yönetimi kararlarının analizinde AHS'nin yetersiz kaldığını vurgulayarak, bu alanda AAS'nin kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Demirtaş ve Üstün (2008), en iyi tedarikçileri seçmek ve optimum miktarları belirlerken, toplam satın alma değerinin maksimizasyonu ve bütçe ve kusurlu ürün oranı amaçlarının minimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Bunu gerçekleştirirken, 4 tedarikçiyi, 14 kritere göre AAS ile değerlendirmişlerdir. Diğer bir tedarikçi seçim prosesinde AAS uygulaması ise Gencer ve Gürpınar (2007) tarafından yapılmıştır. 3 farklı kümede toplanmış 45 kritere göre 3 alternatif elektronik işletmesi arasından en uygunu seçilmeye çalışılmıştır. Shang vd. (2004), özellikle gelişmekte olan şehirler için önemli bir konu varsayımları taşımacılık projeleri değerlendirmesi ve seçimi konusunda AAS'ni kullanmışlardır. Klasik kıyaslama metotları ile karşılaştırıldığında, kısa ve uzun dönemli çok sayıda faktörü dikkate alması ve kriterler arası bağımlılıkları ve geri beslemeleri modele katması sebebi ile AAS'nin uygunluğundan söz ederek, Çin'in Ningbo bölgesi için uygulama çalışması yapılmıştır.

Tüm bu çalışmaların sonucunda, AAS'nin lojistik yönetimi ve taşımacılık dahil birçok alanda uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte, taşımacılık içerisinde önemli bir konu olan taşımacılık modları ve belirli taşımacılık projeleri için değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve uygun modların seçimi gibi konular üzerine yapılmış AAS çalışmalarına rastlanamamıştır.

5.1.2 Analitik Ağ Sürecinin Yapısal Özellikleri

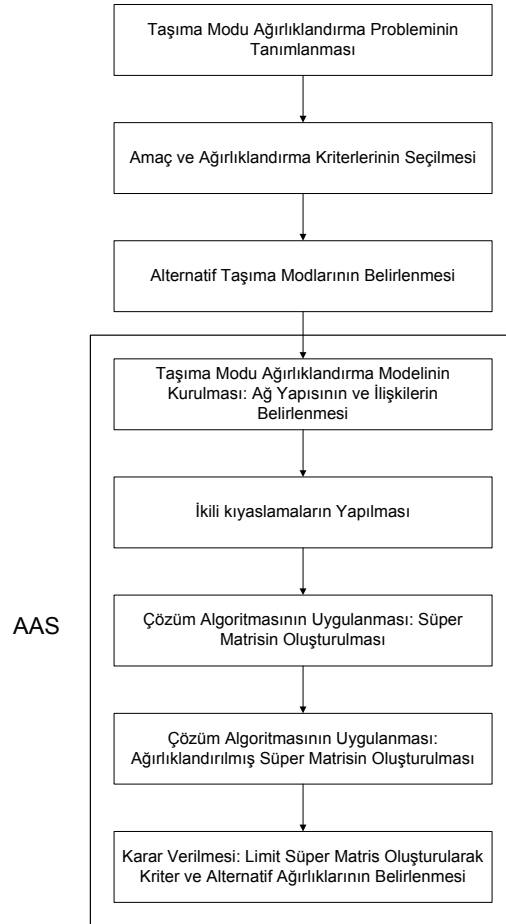
Genellikle, çok sayıda ve karmaşık kriterden oluşan karar verme süreçleri iki sınıfta incelenebilirler. Bunlardan birincisi, sonsuz sayıda fizibil alternatif çözüme sahip olan çok amaçlı problemler ve ikincisi ise sonlu sayıda fizibil alternatif çözüme sahip çok ölçütlü problemlerdir (Cheng vd., 2002). AAS de, işletmeler, bireysel karar vericiler ve akademisyenler tarafından verilecek kararlarının analizinde kullanılan karmaşık yapıları bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. AAS, Saaty'nin (1980) ortaya attığı AHS'nin genişletilmiş ve daha genel formda verilmiş bir şeklidir (Saaty, 1996). AAS, ağlar arasındaki keskin hiyerarşiyi kaldırarak AHS'yi genelleştirir (Karsak vd., 2002). AAS, ağ içerisindeki hiyerarşiyi barındırmaya devam etmekle birlikte, AHS'deki kadar sert hiyerarşi oluşturulmasına gerek duymamaktadır (Meade ve Presley, 2002). AHS'nin önemli bir kabulü, hiyerarşideki elemanların birbirinden bağımsız olduğudur. Bununla birlikte, birçok durumda kriterler ve alternatifler arasında karşılıklı bağımlılık ve geri bildirim bulunmaktadır (Saaty, 1996). Uygulayıcıların karar seviyeleri içindeki ve arasındaki bu bağımlılık ve geri bildirimleri göz ardı ederek AHS'yi uygulaması, elde edilecek sonuçların doğruluk seviyesini kötü yönde etkilemektedir.

Şekil 5.1 hiyerarşi ve ağ arasındaki yapısal farkı ortaya koymaktadır. Buna göre hiyerarşi, önceden tanımlanmış olan varlıkların ayrı kümeler halinde gruplanabileceği; bir gruptaki varlıkların kendilerinden farklı yalnızca bir grubun varlıklarını etkilediği ve kendilerinden farklı yalnızca bir grubun varlıklarından etkilendiği varsayımına dayanan sistemdir (Saaty, 1988). Ağ yapısı ise karar bileşenlerinin, elemanlarının ve aralarındaki etkileşimleri göstermek için bağlantıların belirlendiği ve bir diyagram ile gösterildiği yapılardır (Saaty, 1996).



Şekil 5.1 Hiyerarşi ve ağ arasındaki yapısal fark (Chung vd., 2005)

Şekil 5.1'deki her bir düğüm, içindeki elemanları ile birlikte bir kümeyi temsil etmektedir. Oklar ise kümeler arasındaki veya içindeki etkileşimleri göstermektedir. Okların yönü bağımlılığı, iki yönlü ok ise karşılıklı etkileşimi ve başladığı kümede bitiyorsa küme içindeki elemanların iç bağımlılığını göstermektedir. Bir ağ yapısı içinde üç tür bileşen bulunabilir (Saaty, 1994). Birincisi, ağdaki başka hiçbir eleman tarafından etkilenmeyen, dolayısıyla bu bileşene doğru yönelmiş okların olmadığı kaynak bileşendir. Ağ içinde birden fazla sayıda olabilen bu bileşen türü, çalışma kapsamında sadece amaç düğümü için kullanılmıştır. İkincisi, hiyerarşik yapılarıdaki alt kriterleri temsil eden, etkilendiği ve etkilediği başka bileşenler olan ara bileşenlerdir. Taşıma modu ağırlıklandırma modeli içerisindeki tüm kriterler ara bileşendir. Üçüncü bileşen türü ise yalnız diğer bileşenler tarafından etkilenen hedef bileşenlerdir. Modeldeki hedef bileşenler ise ilk aşamada denizyolu, demiryolu ve karayolundan oluşan taşıma modu alternatifleri ile ikinci aşamada Marmara Bölgesi konteyner limanlarıdır. Örnek olması açısından taşıma modu alternatiflerinin uygunluk değerine göre ağırlıklandırılması amacı ile kullanılan AAS modelinin akışı Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Taşıma modu alternatifi ağırlıklandırma için önerilen AAS modeli

5.1.3 Analitik Ağ Sürecinin Temel Adımları

AAS, kantitatif (nicel, somut) ve kalitatif (nitel, soyut) kriterleri kapsayan yapısından ötürü, doğru kararlar alınması üzerinde büyük etkisi olan bir yöntemdir. Ana amaç, kriterler ve alternatiflerden oluşan tüm elemanların birbiri üzerindeki etkilerini ayrıntılı şekilde belirleyerek karar verebilmektir. Literatürdeki farklı çalışmalar, bu karar sürecini farklı sayıdaki adımdan oluşan yapılar halinde anlatmışlardır. Cheng (2007) AAS ve AHS'yi birlikte 3 genel adımla anlatıp sonra AAS'ye özel adımları belirtmişlerdir. Agarwal vd. (2006), AAS'yi bir tedarik zinciri problemine adapte ederek 6 adımda ve Neaupane ve Piantanakulchai (2006) ise 4 adımda anlatmışlardır. Bu çalışmada taşıma modlarının ağırlıklandırılması ve konteyner limanı seçimi amaçlı kullanılan AAS, Chung vd. (2005) ve Yüksel ve Dağdeviren'nin (2007) çalışmaları temel alınarak taşıma modu ağırlıklandırılması üzerinden 4 adımda özetlenmiştir.

Adım 1: *Taşıma modu ağırlıklandırılması probleminin modellenmesi:*

Karar verme sürecinde ele alınan problemin amacı, kullanılacak kriterler ve uygun alternatifler kümesi açık bir şekilde ifade edilerek gerçek bir sisteme dönüştürülmüştür. Modelde kullanılan kriterler, model tasarımı içerisinde alt kriterler ve tanım detayları ile birlikte verilmiştir. Amaç, kriter kümeleri, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan ağ yapısı, ilgili karar vericiler tarafından beyin fırtınası ve benzeri uygun teknikler kullanılarak oluşturulmuştur. Ağ yapısının oluşturulmasında kümeler arası (dış) ve küme içlerindeki (iç) kriterlerin birbirleri ile bağımlılıkları dikkate alınmıştır. Bir kümenin kriterlerinden biri ya da fazlası diğer küme elemanları ile bağımlılık içeriyorsa iki küme arasına bir ok konulmuştur. Bağımlılık iki taraflı ise ok çift yönlüdür. Aynı kümenin elemanları arasında bağımlılık olduğu durumlarda kümenin üzerine başladığı noktada biten bir ok konulmuştur (Şekil 5.1b).

Adım 2: *Taşıma modu ağırlıklandırma kriterleri, alternatiflerinin ikili kıyaslama matrisleri ve öncelik vektörleri:*

İlk adımda problem, farklı taşımacılık işletmelerine uygulanmaya hazır bir şekilde modellenmiştir. Bu adımdan itibaren yapılacak hesaplamalar, uygulama açısından işletme bazında farklılık gösterecektir. Fakat tanımlamalara genel ifadelerle devam edilmiştir.

Bütün kriter kümelerinin içindeki her bir kriter çifti, kendi kontrol kriterlerine göre önemleri açısından kıyaslanır. Kriter kümeleri de amaca yapacakları katkı açısından kendi aralarında kıyaslanırlar. Kıyaslamalar grafiksel olarak, sözel skalalarla, matrislerle veya soru formları ile gerçekleştirilebilir. Matrisler ve soru formları ile yapılan kıyaslamalarda genellikle Saaty'nin

(1996) 1-9 skolası kullanılır. AAS matrisinde bölgesel öncelik vektörleri, (5.1) eşitliğin çözülmesiyle, kıyaslanan küme veya elemanların görelî önem tahmini olarak türetilir.

$$A \times w = \lambda_{\max} \times w \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte A ikili kıyaslamalar matrisi, w öz vektör ve $\lambda_{\max}$ ise en büyük öz değeri. Saaty (1980), w özvektörünü yaklaşık olarak hesaplayan farklı algoritmalar önermiştir. Bu çalışmadaki tüm hesaplamalar Super Decision 1.6.0 (2005) paket programı ile yapılmıştır.

Adım 3: Süper matrisin oluşturulması:

Süper matris, elemanlar arası bağımlılıkların gösterilebildiği Markov zinciri sürecine benzer bir yapıdır (Saaty, 1996). Birbirleri ile bağımlı elemanlar içeren bir sistemdeki genel öncelikleri elde edebilmek için, matrisin uygun kolonlarına bölgesel öncelik vektörleri girilir. Sonuç olarak süper matris, kümeler arasındaki ikili ilişkileri temsil eden parçalardan oluşan bölümlü bir yapıdır. Karar sistemi içindeki kümeler, C_k ($k=1, \dots, n$) ile gösterilebilir ve içlerinde m_k adet, $el_{k1}, el_{k2}, \dots, el_{km_k}$ şeklinde eleman bulunabilir. Adım 2’de elde edilen bölgesel öncelik vektörleri, elemanlar arası etkileşimin bir kümeden diğerine veya kendi içindeki döngü şeklinde akışına göre süper matris içindeki uygun alanlara yerleştirilir. Buna göre standart bir süper matris (5.2) eşitliğindeki gibi gösterilebilir (Saaty, 1996).

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & \dots & C_k & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_k \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{matrix} el_{11} & el_{12} & \dots & el_{1m_1} & \dots & el_{k1} & el_{k2} & \dots & el_{km_k} & \dots & el_{n1} & el_{n2} & \dots & el_{nm_n} \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1k} & \dots & W_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_{k1} & \dots & W_{kk} & \dots & W_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_{n1} & \dots & W_{nk} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Şekil 5.1a’da gösterilen ve AHS’nin uygulanabileceği 3 seviyeli bir hiyerarşinin süper matris yapısı (5.3) eşitliği şeklinde olacaktır. Süper matris içindeki w_{21} amacın kriterler üzerindeki etkisini gösteren bir vektör, W_{32} kriterlerin her bir alternatif üzerindeki etkisini gösteren

matris, I birim matristir. Aralarında etkileşim olmayan elemanlar ise sıfır değerini almıştır.

$$W_h = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Eğer, kriterler arasında etkileşim olursa hiyerarşi ağ yapısına dönüşecektir ve Şekil 5.1b'dekine benzer bir yapı oluşacaktır. Kriterler arasındaki bağımlılıklar da (5.4) eşitliğindeki W_n süper matrisinde gösterilen W_{22} matrisinin elemanları ile temsil edilecektir (Saaty, 1996).

$$W_n = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Bir ağ içerisindeki kümeler arasında bağımlılıklar bulunacağından dolayı, süper matrisin sütunları toplamı 1'e eşit olmayacaktır. Bu sebeple, süper matrisin kolonları toplamı 1 olacak şekilde ağırlıklandırılarak stokastik matris elde edilir. Saaty (1996), kolon kümelerini kontrol kümesi olarak kullandığı, süper matristeki kümelerin göreceli önemlerini belirlemeyi içeren bir yaklaşım önermiştir. Burada, verilen bir kolon kümesinin içinde olan ve sıfırdan farklı girdileri olan satır kümeleri, bu kolon kümesi üzerindeki etkisine göre kıyaslanmaktadır. Satır kümesi matrislerinin kolon kümesi matrisleri ile ikili kıyaslamaya sokulması ile her bir kolon kümesi için bir öz vektör elde edilir. Her bir kolon kümesi için ilgili özvektörün ilk girdisi, bu kolonun ilk kümesinin bütün elemanları ile çarpılmakta, ikincisi ise aynı kolonun ikinci kümesinin bütün elemanları ile çarpılmakta ve devam edilmektedir. Bu yolla süper matrisin her bir kolonundaki küme ağırlıklandırılmış olacak ve elde edilen sonuç ağırlıklandırılmış süper matris olarak bilinen stokastik bir matris olacaktır (Yüksel ve Dağdeviren, 2007).

Matrisin üssel kuvvetlerinin alınması, elemanların diğer elemanlar üzerindeki göreceli etkisini verecektir. Önem derecelerinin bir değere yakınsamasını sağlamak için ağırlıklandırılmış matrisin $2k+1$. kuvveti alınır (Saaty, 1996). Burada k keyfi olarak büyük bir değerdir ve elde edilen matris limit süper matris olarak adlandırılır. Limit süper matris, ağırlıklandırılmış süper matrisle aynı şekle sahiptir. Fakat tüm sütunları birbirinin aynısıdır. Elemanların son öncelik değerleri, süper matrisin kümelerini kendi içlerinde normalize ederek elde edilir.

Adım 4: *Taşıma modu alternatiflerinin ağırlıklarının elde edilmesi ve en iyi alternatifin seçilmesi:*

Süper matris tüm ağı kapsayacak şekilde hazırlanmış ise normalize edilmiş matrisin alternatifler kümesi içindeki ağırlıklar direkt olarak kullanılabilir. Sonuç olarak alternatifler içinden en yüksek önceliğe sahip olanı en iyi alternatif olarak seçilir. Bununla birlikte, taşıma modu alternatifleri ağırlıklandırılması probleminde yüksek önceliğe sahip modu seçmek yerine, her bir taşıma modunun ağırlığı çok seviyeli matematiksel modelin amaçlarından birinde model parametresi olarak kullanılmıştır. Konteyner limanı seçimi amacıyla kullanılan AAS içinde tamamıyla benzer adımlar takip edilmiştir.

5.2 Çok Seviyeli Programlama

Çok seviyeli optimizasyon modelleri hiyerarşik karar yapılarının bulunduğu problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Bard, 1983; Bard ve Moore, 1990; Bialas ve Karwan, 1982; Bialas ve Karwan, 1984). Karar değişkeni ve amaçlar arasında hiyerarşik ilişkiler içeren, yönetim (tesis yeri, çevresel düzenlemeler, enerji politikaları, zararlı maddeler), ekonomik planlama (sosyal ve tarımsal politikalar, elektrik gücü fiyatlandırması, yakıt üretimi), mühendislik (optimal tasarımlar, yapılar ve şekiller), kimya, çevre bilimleri vb. disiplinler ÇSP ile modellenebilecek farklı çalışma alanlarıdır (Colson vd., 2005). Günümüzde, konu ile ilgili çalışanların sayısının artması ve yeni çözüm metotlarının uygulanması ile yukarıda sıralanan çalışma alanlarına ÇSP'nin başarılı şekilde adapte edilebileceği gösterilmiştir.

5.2.1 Çok seviyeli Programlama Literatürü

İki seviyeli programlama ile ilgili yapılan ilk çalışmalar 1970'lere kadar dayansa da, hiyerarşik süreçlerin ve mühendislik tasarımı problemlerinin modellenmesinde kullanımı 1980'lerin başlarında başlamıştır. Konu ile ilgili ilk bibliyografik çalışma Kolstad (1985) tarafından hazırlanmıştır. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu doğrusal, kareli ya da konveks amaç ve/veya kısıtlar gibi çözüm açısından kolaylaştırıcı unsurlar içeren problemlerden oluşmuştur. Günümüze doğru gelindiğinde ise, daha karmaşık ÇSP örnekleri üzerinde çalışılmaya başlanmıştır.

Konu ile ilgili çalışmalara bakıldığında, bazı araştırmacılar problemi iki seviyeli olarak ifade edip iki seviyeli problemlere özel çözüm yöntemleri sunarken (Roghanian vd., 2007; Abass, 2005; Gao vd., 2005), diğer bir kısmı ise problemi üç seviyeli ya da n seviyeli genelleştirilmiş şekle taşımaktadır (Sakawa vd., 2000 ve Osman vd., 2004). Diğer bir sınıflandırma şekli ise hiyerarşik seviyelerdeki amaç fonksiyonları ile ilgilidir. Çalışmaların büyük kısmı hiyerarşinin her seviyesinde tek amaç fonksiyonu içerip, ortak kısıt seti kullanırken, bazı çalışmalar ise seviyelerin kısıt setlerini ayrı ayrı vermekte (Chiou, 2005; Feng ve Wen, 2005;

Gao vd., 2005) veya seviyelere birden fazla amaç fonksiyonu yerleştirmektedir (Shee vd., 2000; Tiryaki, 2006).

ÇSP modellerinin çözümünde kullanılan teknikler açısından da literatürde çeşitlilik bulunmaktadır. İleride daha detaylı anlatılacak olmakla beraber, teknikler; tepe nokta araması (Bard, 1983 ve Bialas ve Karwan, 1982), dönüşüm yaklaşımı (Bialas ve Karwan, 1984 ve Judice vd., 1992), eğim teknikleri (Bard ve Moore, 1990 ve Hansen vd., 1992), sezgisel yaklaşımlar (Hejazi vd., 2002 ve Sahin ve Ciric, 1998) ve bulanık programlama (Roghanian vd., 2006 ve Abass, 2005) olarak ana başlıklara ayrılabilir.

Yukarıda yapılan sınıflandırmalara giren çalışmaların büyük bir kısmı ÇSP tekniklerinin geliştirilmesi veya yeni yöntemlerin önerilmesi üzerinde durmuşlar ve sadece hipotetik veriler üzerinden küçük uygulamalar yapmışlardır. Bununla birlikte, birçok çalışma ise gerçek hayattaki uygulamalarda karşılaşılan problemleri, teorideki uygun modellere benzeterek ÇSP'nin farklı versiyonları ile çözmeye çalışmışlardır. Aşağıda bu tip uygulama çalışmalarından bir kısmı daha detaylı olarak verilmiştir.

Ryu vd. (2004), tedarik zinciri planlama problemlerinin çok seviyeli bir karar ağı yapısı içerdiğini düşünmüşlerdir. Örneğin bir seviye, bölgesel bir tesisin kontrol, çizelgeleme veya planlama problemleri ile ilgilenirken, daha üstte bulunan diğer bir seviyenin işletme çapındaki dağıtım, planlama veya ağ oluşturma çalışmaları ile uğraşabileceği gerçeğinden yola çıkarak, problemi ÇSP prensipleri ile ifade etmişlerdir. Oluşan iki seviyeli modeli çözmek için de parametrik programlama teknikleri kullanmışlardır.

Roghanian vd. (2006), tedarik zinciri planlama problemini, olasılığa dayalı iki seviyeli ve çok amaçlı programlama ile çözmüşlerdir. Problem kapsamında pazar talebi, her tesisin üretim kapasitesi ve tüm tesislerin her ürünle ilgili kaynakları rassal değişken olarak kabul edilmiştir. Kısıtların bir kısmı da birleşik olasılık dağılımları içermektedir. Bu olasılıklı ve doğrusal olmayan model öncelikle deterministik denkine dönüştürülmüş ve bulanık programlama ile uzlaşımçı sonuca ulaşılmıştır.

Cao ve Chen (2006), merkezi olmayan imalat ortamı için iki seviyeli optimizasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Problemde bir organizasyonel hiyerarşi içerisinde birbirinden bağımsız olarak operasyonlarını yöneten bir ana tesis ve yardımcı tesisler bulunmaktadır. Geliştirilen modelde, ana tesis ile seçilen yardımcı tesisler arasındaki bağımsız ilişkiler dikkate alınmıştır. Model matematiksel olarak ifade edildiğinde doğrusal olmayan, tam sayılı ve sürekli değişkenler içeren, iki seviyeli programlama oluşmuştur. Daha sonra matematiksel

model tek seviyeli eşdeğer modele dönüştürülerek çözülmüştür.

Abass (2005), iki seviyeli programlama yaklaşımını akış tipi atölyelerin iş sıralamasına bulanıklık altında uygulamıştır. Çalışmada, işlerin makinelerle atandığı standart formdan farklı olarak, bulanık işleme zamanları ve farklı hiyerarşilerdeki iki karar verici bulunmaktadır. Üst seviyedeki karar verici olan atölye sorumlusu işleri makinelerle atamada akış zamanını minimize etmeye çalışırken, alt seviyedeki karar verici atölyenin müşterisi için tüm siparişin tamamlanma süresinin minimize edilmesi üzerinde durmaktadır. Bu hiyerarşik yapı bulanık karar modeli olarak ve her seviyede tolerans üyelik fonksiyonları oluşturularak çözülmüştür.

Gao vd. (2005), ilk olarak kesikli ağ tasarım problemi için geleneksel iki seviyeli programlama modeli sunmuşlardır. Ardından ise geliştirme akışları ve mevcut kentsel ağ içindeki yeni eklenen bağlantılar arasındaki ilişkileri vurgulamak için destek fonksiyonu kavramını kullanarak yeni bir çözüm algoritması önermişlerdir.

Feng ve Wen (2005), çalışmalarında, deprem alanlarında felaket sonrası uygun trafik kontrol stratejilerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Gerçek durumları temsil etmek adına bulanık çok amaçlı programlama kullanılmıştır. Kurtarma araçlarının gecikmesine yol açmayacak ve kullanılabilir yol kapasitelerini aşmayacak şekilde kısıtları sağlarken, felaket bölgesine girebilecek araç sayısını artırma şeklinde ifade edilen problem, iki kişili durağan Stackelberg oyununa benzetilmiştir. Taraflar ise yol düzenleyiciler ve kullanıcılar olmuştur.

Chiou (2005), sürekli ağ tasarım problemini, bağlantı kapasitelerinin genişletilmesi ve ağ performans göstergelerini optimum kılacak dengeli akışların sağlanması olarak tanımlamışlardır. Bu dengeli ağ tasarım problemi, üstte toplam seyahat zamanı ve kapasite genişletmesi ile ilgili yatırım maliyeti ve altta ise kullanıcı denge akışının belirlenmesi şeklinde iki seviyeli programlama modeline çevrilmiştir. Türev bazlı metotların 4 varyasyonu kullanılarak, sayısal bir örnek üzerinden kıyaslama yapılmıştır.

Shee vd. (2000), elektronik ticarette tedarik ve talep etkileşimlerinin modellenmesi ile ilgilenmişlerdir. Çalışma, tedarik ve talep ilişkilerini 4 parçaya ayırmıştır. İki seviyeli programlama tekniği ile oluşturulan analitik süreç sonucunda, tedarik ve talep ilişkilerinin uzlaşımçı sonuca ulaşması ya da sürecin başarısız olması durumları açıklanmıştır. Problemin formüle edilmesi, problemlerin bireysel olarak çözülmesi, pazarlık ve uzlaşım ve son pazarlık aşamalarından oluşan bir çözüm prosedürü sunulmuştur.

5.2.2 Çok Seviyeli Programlamanın Genel Tanımı

Çok seviyeli matematiksel modellerde yukarıdan aşağıya doğru giden sıralı bir hiyerarşi bulunmakta ve kararlar tüm hiyerarşik yapıyı etkileyecek şekilde alınmaktadır. Hiyerarşinin alt seviyelerine doğru inilirken, üst seviyelerdeki karar vericilerin amaçları ve verdikleri kararlar dikkate alınarak çözüm aranmaktadır. Özellikle merkezi olmayan organizasyon yapılarında gerçekleştirilen karar süreçleri, yapıları gereği daha esnek olmalıdır. Tedarik veya dağıtım ağları gibi geniş yapılar içerisinde bulunan farklı karar noktalarının bölgesel anlamda alacakları kararların tüm ağı etkileyecek ve diğer bölgelerle etkileşimsiz olarak alınacak son kararlar olması istenen bir durum değildir. Bununla birlikte, problemin yapısında bulunan karmaşıklıklardan dolayı, geleneksel ÇSP yaklaşımlarının etkileşimli karar süreçlerini içeren büyük boyutlu problemlere uygulanması, hesaba dayalı ihtiyaçları çok büyük oranda artıracaktır. Merkezi olmayan yapıları içeren etkileşimli karar verme süreçlerinin çözümünde, daha fazla esneklik içeren yöntemlerin kullanılması pratiklik sağlayacaktır.

Çok seviyeli problem yapılarında çoklu taktik ve etkileşimli karar verme iki farklı alternatif yöntemdir (Lee, 2001).

Daha anlaşılır hale getirmek için, problem yapısı iki seviyeli olarak düşünülebilir. Birinci seviyedeki karar verici, “lider” ve ikinci seviyedeki karar verici ise “destekleyici” olarak adlandırılabilir. Bu iki seviye arasındaki ilişki veya işbirliğinin şiddetine göre farklı karar verme süreçleri oluşturulacaktır. Bu noktada iki uç durumdan söz edilebilir. İlki, lider ile destekçinin amaçları arasında tamamen bir zıtlık olmasıdır. Bu durumda problem klasik bir maksimizasyon-minimizasyon problemine dönüşecektir. İkinci uç nokta ise, destekçi ile liderin tam bir işbirliği içinde olması durumudur. Pratikteki uygulamalarda ise iki seviye arasındaki ilişki bu uç noktaların arasında gerçekleşecektir. Pratikteki uygulamalarda en önemli iki karar süreci iki kişilik durağan Stackelberg oyununa benzer bir karar süreci (Papavassilopoulos, 1982) ve etkileşimli karar verme sürecidir.

Birinci tip karar süreci, iki seviyeli programlama problemi olarak bilinen ve üzerinde çok çalışılmış bir alandır. Çok seviyeli hiyerarşik yapılar için genelleştirilmiş alan için de ÇSP kullanılarak karar süreçleri oluşturulmaktadır.

İki ya da çok seviyeli hiyerarşik yapıların karakteristiklerini ortaya koymak için öncelikle iki seviyeli bir sistem ele alınabilir. İki seviyeli bir karar sürecinde, üst seviye karar vericisi (lider) iki seviyenin her biri ile ilgili tam bilgiye sahip olarak kendi kararını vermektedir. Ardından ikinci seviye karar vericisi (destekçi), birinci seviye kararını temel alarak kendi

kararını vermektedir. Pratikteki birçok uygulamada ikinci seviyenin kararı son karardır ve bunun ardından birinci seviyenin kararını yenilemesine fırsat tanınmamaktadır. Bu durumda ikinci seviye, ilk seviyenin kararını kontrol edememesine rağmen ikinci seviyenin vermiş olduğu son karar, ilk seviyeyi ve tüm sonuçları etkilemektedir.

Genele bakıldığında, çoklu hiyerarşi barındıran bir yapı içerisinde, bölüm olarak adlandırabileceğimiz alt seviyeler, liderin kararını temel alarak bir sonuca vardıldıktan sonra lider bu kararı, tüm organizasyonun genel çıkarlarını dikkate alarak tekrar düzenlemelidir. İdeal durum, karşılıklı etkileşimin tatmin edici bir çözüme ulaşılan kadar devam ettirilmesidir. Bu devam eden etkileşimli süreç, “etkileşimli karar verme süreci” olarak adlandırılmaktadır (Lee, 2001). Yönetim şekline bağlı olarak farklı sistemlerdeki işbirliği seviyesi de farklı olacaktır. Bu tip bir karar verme süreci, merkezi olmayan hiyerarşik sistemlere pratik bir şekilde uygulanabilmektedir. Buna karşılık, bu pratik karar verme yaklaşımı iki seviyeli organizasyonlarda bile kolay bir şekilde çözülememektedir.

Diğer bir nokta ise çoğu hiyerarşik yapıda karar verme sürecinin, çok seviyeli karar verme sürecinde olduğu gibi tam bilgiye sahip olmayışıdır. Üst seviye yönetimi çok nadir olarak tüm organizasyonu tam kontrol altında tutabilmektedir. Üst yönetim genellikle daha stratejik konularla ilgilenmekte ve günlük aktivitelerden uzak kalmaktadır. Genel politikalarla bölümlerin kararları kısmi olarak kontrol edilse de tam bir kontrol çok sık rastlanan bir durum değildir. Alan yöneticileri, üst yönetimle çakışmadıkça kendi kararlarını kendileri bağımsız olarak alabilmektedirler. Merkezdeki karar verici eksikliğinden dolayı, organizasyonel karlılığı artırma adına, farklı hiyerarşi seviyeleri arasında farklı etkileşim seviyeleri söz konusu olabilir. Bu durum da ayrı bir esneklik ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu esneklik ihtiyacının bulanık yaklaşımlarla giderilmesi uygun olmakla beraber literatürde farklı çözüm yaklaşımları bulunmaktadır.

5.2.3 Çok Seviyeli Programlama Problemine Çözüm Yaklaşımları

ÇSP problemlerini çözmek için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar genel olarak beş ana kategoriye ayrılmıştır:

1. *Uç nokta araması*: Bu yaklaşımın temel kavramı, kontrol değişkenlerini ayarlamaya dayalı simplex algoritması ile bir kapsayan düğüm aramaktır. Diğer bir deyişle, çok seviyeli programın erişilebilir bölgesi içindeki tepe noktalarının, problemin olurlu çözüm alanı içerisindeki tepe noktaları olacağı ve optimal çözümün bu tepe noktalardan biri olacağı fikridir.

Bialas ve Karwan (1982), arama prosesinin erişilemeyen bölgeden başlatılıp, erişilebilir bölge içinde optimal çözüm olarak birinci tepe noktasını ararken sonlandırıldığı “K. en iyi” metodunu sunmuşlardır. Bialas ve Karwan (1984) diğer bir çalışmalarında ise, aramaya erişilebilir bölgedeki tepe noktasından başlayan bir metot sunmalarına rağmen yöntemin yerel optimuma düşme olasılığı bulunmaktadır.

2. *Dönüşüm yaklaşımı*: Dönüşüm yaklaşımı, Karush-Khun-Tucker optimallik koşulları ve ceza fonksiyonları gibi farklı teknikleri kullanarak alt seviye problemlerini, üst seviyenin kısıtlarına dönüştürme esasına dayanmaktadır. Bu dönüşmüş problem, tek seviyeli ve doğrusal olmayan matematiksel programlama problemi olmaktadır (Bialas ve Karwan, 1984).

Judice ve Faustino (1992), tek seviyeye indirilmiş problem için sıralı “doğrusal tamamlayıcı problem” algoritması geliştirip melez bir metot kullanarak iki seviyeli problemi çözmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak küçük ve orta boyutlu problemlerin çözümünde iyi performans sağlamalarına rağmen, yöntem tüm problemlerin çözümünde başarılı olamamıştır.

3. *Eğim teknikleri ve dal sınır algoritması*: Bu yaklaşımlar genellikle, dönüşüm yaklaşımı ile tek seviyeye indirilmiş, doğrusal olmayan ÇSP problemlerine uygulanmaktadır. Bard ve Moore (1990) bu tip problemlerin çözümü için bir dal sınır metodu uygulamışlardır. White ve Anandalingam (1993), tamamlayıcı kısıtları tatmin edecek bir ceza fonksiyonunu bu tip problemlerin çözümünde kullanmışlardır.

4. *Sezgisel yaklaşımlar*: Bu yaklaşımlar, yakın zamanda geliştirilmiş evrimsel tekniklere dayanmaktadır. Genellikle ÇSP gibi polinomsal zamanda deterministik olarak çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Mathieu vd. (1994), iki seviyeli programlama tabanlı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Diğer genetik algoritma uygulamalarından farklı olarak çaprazlama yapmadan, sadece mutasyon kullanarak ve çözüm uzayını büyük oranda genişleterek tepe nokta araması yapmışlardır.

5. *Bulanık yaklaşımlar*: Bulanık mantık yaklaşımları, özellikle büyük boyutlu ÇSP problemlerinin çözümünde karşılaşılan hesaplama zorluklarının üstesinden gelmede etkin bir araç olarak ortaya atılmıştır. Shih vd. (1983), iki seviyenin amaç fonksiyonları ve üst seviyenin karar değişkenleri için üyelik fonksiyonları tanımlayarak bir bulanık yaklaşım

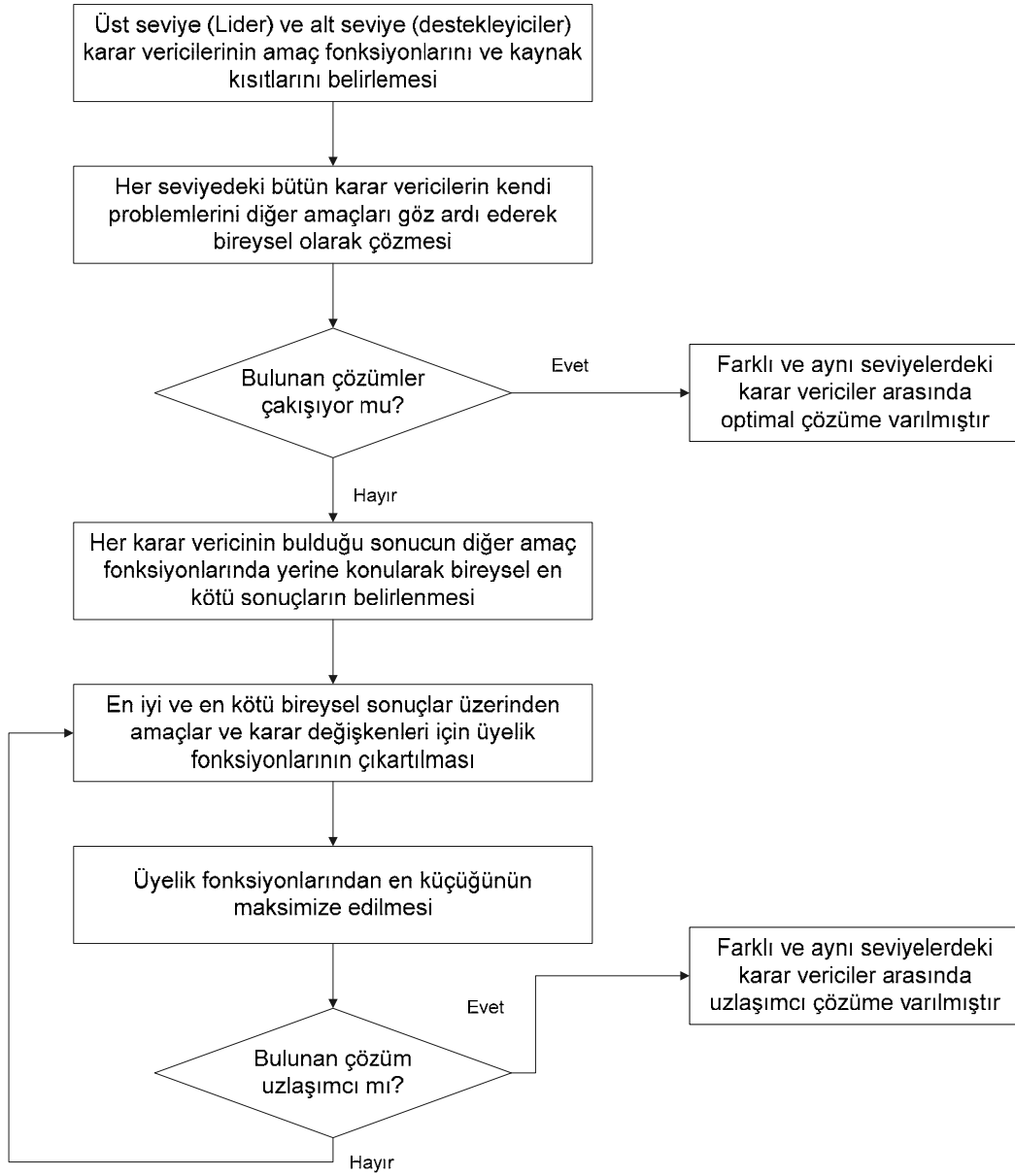
önermişlerdir. Fakat karar vericilerin işbirlikçi olmama prensibi yok sayılmıştır.

Çok seviyeli doğrusal programlama problemlerinde, üst seviyenin hem amaç fonksiyonu hem de karar değişkenleri için bulanık amaçlar verildiğinden, bu amaçların tutarlı olmadığı durumlarda istenmeyen çözümler elde edilebilmektedir. Sakawa vd. (2000), bu tip bir problemi aşabilmek için karar değişkenleri ile ilgili bulanık amaçları elimine ederek, bulanık parametrelili ve etkileşimli bir bulanık programlama yöntemi önermişlerdir. Shih ve Lee (2000), ÇSP'deki aynı seviyede birden fazla amaç fonksiyonunun bulunduğu durumlarda, hem farklı seviyelerdeki hem de aynı seviyenin karar vericileri arasındaki karar verme sürecini düzenlemek için dengeleyici operatörleri kullanmışlardır.

Her aşamasında uygun taşıma modlarının seçilmesiyle çok aşamalı bir taşımacılık ağı oluşturulmasını hedef alan ve hiyerarşik seviyeli amaçları olan modelin çözümünde bulanık programlama yaklaşımı kullanılarak, uzlaşımçı ve farklı seviyelerdeki karar vericiler arasında etkileşimli sonuca varılmaya çalışılmıştır. Sonraki bölümde, ÇSP probleminin çözümünde bulanık programlamanın hangi şekillerde uygulanabileceği ve beklenen sonuçları üzerinde durulmuştur.

5.2.4 Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Doğrusal Programlama Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı

Merkezi olmayan çok seviyeli doğrusal programlama, ÇSP'nin daha da geliştirilmiş halidir. Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi iki seviyeli ve birer amaç fonksiyonlu ya da ikiden fazla seviyeli ve her seviyede birer amaç fonksiyonlu karar verme problemleri bulunmaktadır. Burada ise en üst seviyede merkezi karar alan bir veya daha fazla karar verici ile onların amaç fonksiyonları ve yine alt seviyeye inildikçe her bir seviyede bulunan birden fazla merkezi olmayan karar verici ile onların amaç fonksiyonları bulunmaktadır. Bu, Anandalingam (1988) tarafından ortaya atılmış, çözülmesi zor ve aynı seviyedeki karar vericiler arasında tam anlamı ile açık ilişkilerin bulunmadığı bir problemdir. Öncelikle, ÇSP problemine bulanık yaklaşımının adımları Şekil 5.3'de verilmiş ve ardından problemin genel yapısı aşağıda detaylandırılmıştır.



Şekil 5.3 Çok seviyeli problemlere bulanık programlama yaklaşımı adımları

$x_i \in R^{n_i}$ ($i=1,2,\dots,b$) i . seviyedeki karar vericilerin karar değişkenlerini temsil eden vektör olarak tanımlanabilir ($n_i \geq 1$). $F_i : R^{n_1} \times R^{n_2} \times \dots \times R^{n_b} \rightarrow R^{N_i}$ ise i . seviye amaç fonksiyonlarıdır ($N_1, N_2, \dots, N_b \geq b$). G ise fizibil seçenekler $\{(x_1, x_2, \dots, x_b)\}$ setidir. Bu durumda b seviyeli çok amaçlı karar verme problemi (5.5)'deki gibi formülize edilebilir:

1. Seviye:

$$\underset{x_1}{\text{Max}} F_1(x_1, x_2, \dots, x_b) = \underset{x_1}{\text{Max}} (f_{11}(x_1, x_2, \dots, x_b), \dots, f_{1N_1}(x_1, x_2, \dots, x_b)),$$

2. Seviye:

$$\underset{x_2}{Max} F_2(x_1, x_2, \dots, x_b) = \underset{x_2}{Max} (f_{21}(x_1, x_2, \dots, x_b), \dots, f_{2N_2}(x_1, x_2, \dots, x_b)), \quad (5.5)$$

⋮

b. Seviye:

$$\underset{x_b}{Max} F_b(x_1, x_2, \dots, x_b) = \underset{x_b}{Max} (f_{b1}(x_1, x_2, \dots, x_b), \dots, f_{bN_b}(x_1, x_2, \dots, x_b)),$$

ş.k.g.

$$G = \{(x_1, x_2, \dots, x_b) \mid g_r(x_1, x_2, \dots, x_b) \leq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s\}.$$

Burada g_r , b seviyeli içbükey bir kısıt setidir. Bu çok seviyeli karar verme probleminin karar mekanizması, çok oyunculu Stackelberg oyununa adapte edilebilir (Cruz, 1978). Buna göre çok seviyeli modelin çözümüne ilişkin tanımlar şöyle verilebilir (Shi ve Xia, 1997; Osman vd., 2004):

1. seviye karar vericisi tarafından verilmiş herhangi bir x_1 ($x_1 \in G_1 = \{x_1 \mid (x_1, x_2, \dots, x_b) \in G\}$) ile başlayıp $b-1$ seviyesine kadar ($x_{b-1} \in G_{b-1} = \{x_{b-1} \mid (x_1, x_2, \dots, x_b) \in G\}$) tüm seviyelerde verilmiş x_i kararları ($i=1, 2, \dots, b-1$) için karar değişkeni x_b ($x_b \in G_b = \{x_b \mid (x_1, x_2, \dots, x_b) \in G\}$), b . seviyenin pareto optimal sonucu ise bu durumda $(x_1, x_2, \dots, x_b)$, b seviyeli problemin olurlu bir çözümüdür.

$(x_1^*, x_2^*, \dots, x_b^*)$, b seviyeli problemin fizibil bir çözümü ise ve en az bir j için ($j=1, 2, \dots, N_I$), $f_{1j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_b^*) \leq f_{1j}(x_1, x_2, \dots, x_b)$ şartını sağlayan bir $(x_1, x_2, \dots, x_b) \in G$ olurlu çözümü mevcut değilse, bu durumda $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_b^*)$ b seviyeli problemin pareto optimal sonucu olacaktır.

Problem ve çözüm şartları bu şekilde tanımlandıktan sonra, bulanık programlama ile çözüm geliştirme üzerinde durulabilir. Yöntemin temelinde, üst seviyelerden alt seviyelere doğru inilirken, karar vericilerin bireysel olarak çözdükleri kendi problemleri sonucunda elde ettikleri amaç fonksiyonu değerlerine ve/veya karar değişkenlerine belirli toleranslar vererek alt seviyelerin bu kısıtlar altında kendi problemlerine çözüm aramaları sağlanır.

Buna göre, maksimizasyon amaçlarından oluşan bir problem için çözüm adımları şöyle

sıralanabilir:

Adım 1: Eşitlik (5.6)'da gösterildiği gibi tüm seviyelerdeki fonksiyonlar tek amaçlı problem olarak ele alınıp ayrı ayrı maksimize edilir. i . seviyedeki, j . karar verici için $\bar{x}_{ij}^*$ ideal sonucuna ulaşılır.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\bar{x}_{ij}} f_{ij}(\bar{x}) \quad & i = 1, 2, \dots, b \text{ ve } j = 1, 2, \dots, N_j \\ \text{\textit{\text{ş.k.g.}}} \quad & \\ \bar{x}_{ij} \in G, \quad & \\ \bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_b), \quad & \bar{x} \in R^{n_1+n_2+\dots+n_b}. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Adım 2: Tüm seviyelerdeki karar vericiler için Adım 1'de bulunan ideal karar değişkeni değerleri diğer amaç fonksiyonlarında yerine konularak Çizelge 5.1 elde edilir. Çizelge 5.1'in satırlarında bulunan minimum ve maksimum değerler, o amaç fonksiyonunun alt (f_{ij}^A) ve üst (f_{ij}^U) sınır değerleri olarak belirlenir.

Adım 3: Hiyerarşinin en altında bulunan b seviyesi hariç diğer tüm seviyeler kendi kontrollerinde olan karar vektörleri için birer $\bar{e}_{ij}$ tolerans değeri atarlar. Bu tolerans değerleri dikkate alınarak, $(b-1)$. seviyeye kadar karar vektörleri ve b . seviyeye kadar amaç fonksiyonları ile ilgili uygun üyelik fonksiyonları hazırlanır ((5.7) ve (5.8)).

$$\mu_{\bar{x}_{ij}}(\bar{x}_{ij}) = \begin{cases} \left[\frac{\bar{x}_{ij} - (\bar{x}_{ij}^* - \bar{e}_{ij}^-)}{\bar{e}_{ij}^-}, (\bar{x}_{ij}^* - \bar{e}_{ij}^-) \leq \bar{x}_{ij} \leq \bar{x}_{ij}^* \right. \\ \left. \left[\frac{(\bar{x}_{ij}^* + \bar{e}_{ij}^+) - \bar{x}_{ij}}{\bar{e}_{ij}^+}, \bar{x}_{ij}^* \leq \bar{x}_{ij} \leq (\bar{x}_{ij}^* + \bar{e}_{ij}^+) \right] \right. & i = 1, 2, \dots, (b-1) \text{ ve } j = 1, 2, \dots, N_j \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \quad (5.7)$$

$$\mu_{f_{ij}}(f_{ij}(\bar{x})) = \begin{cases} 0, & f_{ij}(\bar{x}) < f_{ij}^A \\ \left[\frac{f_{ij}(\bar{x}) - f_{ij}^A}{f_{ij}^U - f_{ij}^A} \right], & f_{ij}^A \leq f_{ij}(\bar{x}) \leq f_{ij}^U \\ 1, & f_{ij}(\bar{x}) > f_{ij}^U \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, b \text{ ve } j = 1, 2, \dots, N_j \quad (5.8)$$

Adım 4: Bu aşamada (5.7) ve (5.8) her bir seviye çiftine ayrı ayrı uygulanarak alt seviyelere doğru gidilebileceği gibi, tüm seviyelerin bulunduğu topluca bir çözümde aranılabilir. Örneğin, öncelikle birinci seviye karar vericiler kendi amaç fonksiyonlarının alt (f_{1j}^A) ve üst (f_{1j}^U) sınır değerleri üzerinden toleransları belirleyip, karar değişkenleri ve amaç fonksiyonları ile ilgili üyelik fonksiyonlarını ikinci seviye karar vericilere gönderir.

Çizelge 5.1 Amaç fonksiyonlarının farklı çözümlerde alacağı değerler

	f_{11}	f_{12}	$\dots$	f_{1N_j}	f_{21}	f_{22}	$\dots$	f_{2N_j}	$\dots$	f_{b1}	f_{b2}	$\dots$	f_{bN_j}
$\bar{x}_{11}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{11}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{11}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{11}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{11}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{11}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{11}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{11}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{11}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{11}^*)$
$\bar{x}_{12}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{12}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{12}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{12}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{12}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{12}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{12}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{12}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{12}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{12}^*)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$\bar{x}_{1N_j}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{1N_j}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{1N_j}^*)$
$\bar{x}_{21}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{21}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{21}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{21}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{21}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{21}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{21}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{21}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{21}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{21}^*)$
$\bar{x}_{22}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{22}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{22}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{22}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{22}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{22}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{22}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{22}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{22}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{22}^*)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$\bar{x}_{2N_j}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{2N_j}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{2N_j}^*)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$\bar{x}_{b1}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{b1}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{b1}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{b1}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{b1}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{b1}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{b1}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{b1}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{b1}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{b1}^*)$
$\bar{x}_{b2}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{b2}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{b2}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{b2}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{b2}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{b2}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{b2}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{b2}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{b2}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{b2}^*)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$\bar{x}_{bN_j}^*$	$f_{11}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$f_{12}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$\dots$	$f_{1N_j}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$f_{21}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$f_{22}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$\dots$	$f_{2N_j}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$\dots$	$f_{b1}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$f_{b2}(\bar{x}_{bN_j}^*)$	$\dots$	$f_{bN_j}(\bar{x}_{bN_j}^*)$

İkinci seviyedeki karar vericiler, birinci seviyeden aldıkları sınırlayıcı karar aralığı içinde kendileri için en uygun kararı verirler. Bu karar birinci seviye karar vericilere geri bildirilir. Sonuç, birinci seviye karar vericileri de tatmin ediyorsa “tatmin edici” sonuca ulaşılmıştır. Diğer durumda, birinci seviye karar verici kendi amaç fonksiyonlarını ve/veya karar vektörü ile ilgili tolerans değerlerini tekrar gözden geçirerek revize eder. Bu süreç birinci ve ikinci seviyeler arasında tatmin edici bir sonuca ulaşılan kadar devam edilir.

Eşitlik (5.9)’da gösterilen diğer bir durumda ise tüm aşamalardaki karar vericiler kendi amaç fonksiyonları ile ilgili üyelik fonksiyonlarını ve son seviye hariç diğer seviyeler, karar vektörleri ile ilgili tolerans değerlerini belirler ve hepsini birlikte tatmin eden çözüm aranır.

$\max \lambda$

$s.k.g.$

$$\frac{[\bar{x}_{ij} - (\bar{x}_{ij}^* - \bar{e}_{ij}^-)]}{\bar{e}_{ij}^-} \geq \lambda I \quad i = 1, 2, \dots, b-1; \quad j = 1, 2, \dots, N_j$$

$$\frac{[(\bar{x}_{ij}^* + \bar{e}_{ij}^+) - \bar{x}_{ij}]}{\bar{e}_{ij}^+} \geq \lambda I \quad i = 1, 2, \dots, b-1; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \quad (5.9)$$

$$[f_{ij}(\bar{x}) - f_{ij}^A] / [f_{ij}^U - f_{ij}^A] \geq \lambda \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j$$

$$g_r(\bar{x}_{ij}) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j$$

$$\bar{x}_{ij} \in G \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j$$

Burada λ , genel tatmin seviyesi ve I , elemanları 1’e eşit olan bir kolon vektördür (Sakawa, 1993). Bu durumda (5.9) eşitliği çözülecek ve birinci seviye karar vericiler tatmin edici sonuca ulaşmışsa sonuç kabul edilecektir. Birinci seviye karar vericileri bu sonuçla tatmin olmamışlarsa, her seviyedeki karar vericiler tekrar karar değişkenleri ve amaç fonksiyonları ile ilgili üyelik fonksiyonlarını yenileyerek kendilerinden sonraki seviyelere aktarırlar.

5.2.5 Çok Seviyeli Programlamada Dengeleme

Yukarıda anlatılan ÇSP çözüm şekli, dengeleyici olmayan maks-min bütünleştirme operatörü içermektedir. Buna karşılık birçok gerçek uygulama problemlerinde bu tip bir operatör kullanmak pratik olmayacaktır. Yönetimsel kararlar genellikle farklı amaçlar arasında bir denge elde edebilmeye izin verme yönünde eğilimlidir. Gerçek uygulama problemlerine bakıldığında aynı seviyedeki karar vericilerin bakış açıları ve amaçları farklı olduğu görülür ve bu amaçların ortak çözüm üzerindeki etkileri birbirine eşit olmayabilir. Bu sebeple seviye

içi ve seviyeler arasında değişen amaçları optimize etmeye çalışırken dengeleyici operatörler kullanılır.

5.2.6 Bütünleştirici Bulanık Dengeleme Operatörleri

Literatürde çok farklı bulanık bütünleştirici operatör bulunmaktadır. Bulanık setlerin bütünleştirilmesinde kullanılan operatörlerin çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı belirli bir modelde ya da durumda hangisinin kullanılacağına karar verilmesi zor ve karmaşık olabilmektedir. Zimmermann (1993) belirli bulanık problemlerin çözümünde belirli operatörleri seçmenin kurallarını belirlemiştir. Buna göre uygun bütünleştirme operatörünün seçim kriterleri, aksiyomatik güç, deneysel uyum, adapte edilebilirlik, sayısal etkinlik, dengeleme, dengeleme aralığı, bütünleştirme tutumu ve üyelik fonksiyonu için gereken ölçek seviyesidir. Bu aşamada konu açısından en önemli kriter, bütünleştirme operatörünün dengeleme özelliği içerip içermemesi ile ilgilidir. Örneğin, bütünleştirilmiş bir bulanık set için üyelik derecesi $\mu_{but}(x_k) = f(\mu_{\tilde{A}}(x_k), \mu_{\tilde{B}}(x_k)) = d$ olsun. Burada, $\mu_{\tilde{B}}(x_k)$ değerindeki değişimler sonucunda farklı $\mu_{\tilde{A}}(x_k)$ değerleri kullanılarak $\mu_{but}(x_k) = d$ elde edilebiliyorsa f fonksiyonu bir dengeleyici operatör olacaktır. Daha detaylı bilgi için Zimmermann (1993), Lai ve Hwang (1996) ve Shih ve Lee'nin (2000) çalışmaları incelenebilir.

Tiryaki (2006), bulanık bütünleştirici operatörler ile ilgili kıyaslamalı bilgiler vermiştir. Buna göre, Zimmermann (1978), doğrusal üyelik fonksiyonlarını kullanarak çok amaçlı doğrusal programlama problemleri için “min” operatörünü önermiştir. “min” operatörü, uygulanmasında sunduğu hesaplama kolaylıklarına rağmen, elde edilen çözüm dengelemeyi ve Pareto-optimal olmayı garanti etmemektedir (Guu ve Wu, 1997 ve Wu ve Guu, 2001). “min” operatörünün en büyük dezavantajı, her zaman en kötü durumu temsil etmesi ve çok daha iyi olabilecek bir üye tarafından dengelenememesidir. Diğer uçta ise “maks” operatörü bulunmakta ve tam dengeleme yaparak sadece bir amacın tam tatmin edilmesini sağlamaktadır. Bu iki operatörün dezavantajları dikkate alındığında gerçek uygulamalar için uygun olmadıkları ortaya çıkmaktadır. Karşılaşılan zorlukları ortadan kaldırmak adına Zimmermann ve Zysno (1980), uygun γ dengeleme parametresinin kullanımına dayanan melez operatörler sınıfı önermişlerdir. “ γ operatörü”, kararların alınmasında “min”, “çarpım”, “maks” ve “ağırlıklandırılmış geometrik ortalama” operatörlerine göre daha yeterli sonuçlar vermesine rağmen, doğrusal olmayan bir operatör olduğundan hesaplama zorlukları çok artmaktadır.

Hesaplama açısından daha etkin olan min-sınırlandırılmış toplam operatörü

($\mu_D = \gamma \min_i \mu_i + (1 - \gamma) \min[1, \sum_i \mu_i]$) Luhandjula (1982) tarafından sunulmuştur. Bu operatör hesaplama kolaylıkları sunsa da gerektiği kadar etkin sonuçlar üretememiştir. Chen ve Chou (1996) min, ortalama ve iki-faz metotlarını birleştiren bir bulanık yaklaşım önermişlerdir. İki-faz metodunun ilk fazı Zimmermann'ın yaklaşımını kullanmaktadır. İlk aşamadaki mümkün çözüm tek ise, Pareto optimal sonuca ulaşılmış demektir. Diğer durumda, orijinal kısıtlar ve birinci fazdan gelen kısıtlarla sınırlanan üyeliklerin ortalamasını maksimize etmek için yeni bir program formüle edilir. Ortalama operatörünün tam dengeleme özelliğinden dolayı ikinci faz etkin bir sonuç üretecektir. Gu ve Wu (1999), “min” operatörü ile elde edilen baskın sonucu geliştirmek için bulanık doğrusal programlama probleminde benzer bir iki fazlı model önermişlerdir.

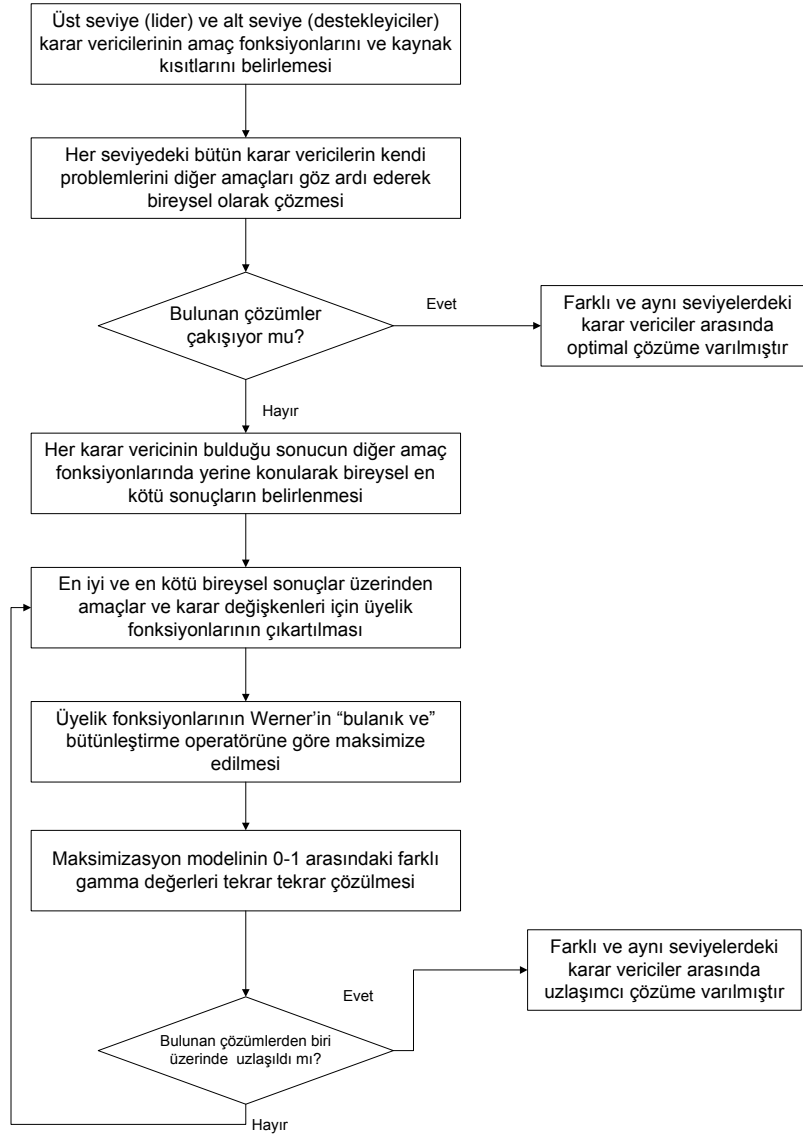
Bu çalışma kapsamında dengeleme operatörü olarak Werner'in “bulanık ve” dengeleme operatörü kullanılmıştır. Werner'in “bulanık ve” ve “bulanık veya” olarak bilinen operatörleri, sırasıyla min ile aritmetik ortalama ve maks ile aritmetik ortalamanın içbükey kombinasyonlarıdır (Werner, 1988). Merkezi olmayan çok seviyeli doğrusal programlama problemleri için pareto-optimal sonucu garanti eden “bulanık ve” operatörü ile birlikte “bulanık veya” operatörü (5.10) ve (5.11)'de verilmiştir (Tiryaki, 2006):

$$\mu_{ve} = \gamma \min_{ij}(\mu_{ij}) + \frac{(1-\gamma)}{m} \left(\sum_{ij} \mu_{ij} \right) \quad (5.10)$$

$$\mu_{veya} = \gamma \max_{ij}(\mu_{ij}) + \frac{(1-\gamma)}{m} \left(\sum_{ij} \mu_{ij} \right) \quad (5.11)$$

γ operatörü tabanlı bu operatörlerde $0 \leq \mu_{ij} \leq 1$, $i=1,2,\dots,b$, $j=1,2,\dots,N_j$, $\gamma \in [0,1]$ ve m toplam amaç fonksiyonu sayısıdır. Çok Seviyeli Doğrusal Programlamada Dengeleyici Operatörlerle Bulanık Karar Verme

Çok seviyeli modelin, Werner'in μ_{ve} operatörü kullanılarak çözülmesi adımları Şekil 5.4'de akış diyagramı halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Çok seviyeli modelin μ_{ve} operatörü kullanılarak çözülmesi

Dengeleyici operatör kullanmadan çözülen, merkezi olmayan çok seviyeli doğrusal programlama modelindeki λ , (5.12)'de gösterildiği gibi Werner'in μ_{ve} operatöründeki minimum tatmin seviyesine eşit olacaktır.

$$\lambda = \min_{ij}(\mu_{ij}) \quad i = 1, \dots, b \text{ ve } j = 1, \dots, N_j \quad (5.12)$$

Bu durumda (5.13) ifadesi doğru olacaktır.

$$\mu_{ij} \geq \lambda \quad i = 1, \dots, b \text{ ve } j = 1, \dots, N_j \quad (5.13)$$

Tüm seviyelerde bulunan farklı karar vericilerin tatmin seviyeleri için (5.14) ifadesi

kullanılabilecektir. Burada λ_{ij} , tüm amaç fonksiyonlarının minimum seviye üzerine çıkabildiği tatmin miktarıdır. (5.14) eşitliği (5.11)'deki Werner'in μ_{ve} operatöründe yerine konulursa (5.15) elde edilecektir.

$$\mu_{ij} = \lambda + \lambda_{ij} \quad i = 1, \dots, b \text{ ve } j = 1, \dots, N_j \quad (5.14)$$

$$\mu_{ve} = \gamma\lambda + \frac{1-\gamma}{m} \sum_{ij} (\lambda + \lambda_{ij}) = \gamma\lambda + \frac{1-\gamma}{m} \left(m\lambda + \sum_{ij} \lambda_{ij} \right) = \lambda + \frac{1-\gamma}{m} \sum_{ij} \lambda_{ij} \quad (5.15)$$

Sonuç olarak, γ dengeleyici operatörüne dayalı olan ve uzlaşımçı çözüm verecek olan merkezi olmayan çok seviyeli doğrusal programlama modeli (5.16)'da ki gibi kurulacaktır.

$$\begin{aligned} \max \mu_{ve} &= \lambda + \frac{1-\gamma}{m} \sum_{ij} \lambda_{ij} \\ \text{s.k.g.} \\ \frac{[\bar{x}_{ij} - (\bar{x}_{ij}^* - \bar{e}_{ij}^-)]}{\bar{e}_{ij}^-} &\geq (\lambda + \lambda_{ij})I \quad i = 1, 2, \dots, b-1; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \\ \frac{[(\bar{x}_{ij}^* + \bar{e}_{ij}^+) - \bar{x}_{ij}]}{\bar{e}_{ij}^+} &\geq (\lambda + \lambda_{ij})I \quad i = 1, 2, \dots, b-1; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \\ [f_{ij}(\bar{x}) - f_{ij}^A] / [f_{ij}^U - f_{ij}^A] &\geq (\lambda + \lambda_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \\ \lambda + \lambda_{ij} &\leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \\ \gamma &\in [0, 1] \\ g_r(\bar{x}_{ij}) &\leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \\ \bar{x}_{ij} &\in G \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \end{aligned} \quad (5.16)$$

Burada γ 'nın şiddeti dengelemenin derecesini göstermektedir. $\gamma=1$ için, en kötü durumda olan amacın tatmin seviyesine odaklanılacak ($\mu_{ve} = \text{minimum}$) ve $\gamma=0$ için, amaçlardan sadece birinin tam tatmin edildiği ($\mu_{ve} = \text{ortalama}$) sonucuna ulaşılabilecektir (Tiryaki, 2006).

5.2.7 Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Doğrusal Programlamaya Etkileşimli ve Tekrarlı Yaklaşım

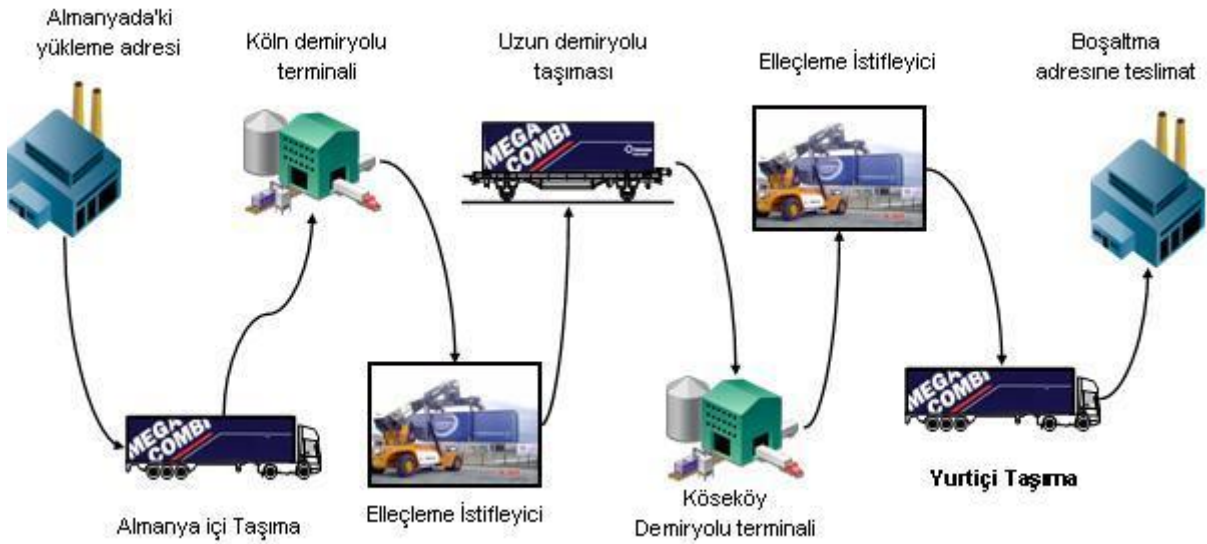
Yukarıda anlatılan yaklaşım sonucunda γ operatörünün 0 ile 1 arasında alacağı değerlere göre karar vericilere sunulacak uzlaşımçı ve dengelenmiş bir çözüm seti elde edilecektir. Eğer karar vericiler kendi amaçları ve kendilerine bağlı karar vericilerin amaçları ile ilgili

tatmin seviyelerinden memnun iseler, bu çözümlerden birini seçme yolunda uzlaşmaya giderler. Aksi durumda, karar vericiler bu çözüm setinden memnun değillerse diğer bir yol amaçların ağırlıklandırılması olabilir. Hiyerarşi içindeki konumlarına göre her bir karar verici kendi altındaki amaç fonksiyonlarına bir ağırlık atayabilir. Bu noktadan itibaren amaç fonksiyonları kendi ağırlıkları oranında tatmin edilmeye çalışılır. Ağırlıklandırmadan sonra yine uzlaşımçı çözüme ulaşamaması durumunda, karar vericilerin ağırlıkları tekrar düzenlemesi istenebilir. Buna rağmen uzlaşımçı bir çözüme varılamıyor ise süreci tamamlayabilmek için o ana kadar verilmiş olan ağırlıkların aritmetik ya da geometrik ortalaması alınarak en son elde edilen sonuç problemin çözümü olarak kabul edilir.

6. UYGULAMA

Tez çalışmasının uygulaması, Türkiye’de modlar arası taşımacılığı uluslararası boyutta sürdüren bir LHS işletmenin gerçekleştirmekte olduğu bir taşımacılık projesi üzerinde yapılmıştır. Mevcut durumda yürütülmekte olan bir projeye, önerilen model uygulanmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

LHS işletme, hem büyük bir üreticinin yüklerinin sürekli taşınmasını hem de belirli sayıdaki farklı işletmenin parsiyel yükünü toplayarak taşınmasını gerçekleştirmektedir. İşletme mevcut durumda bu noktalardan yükleri karayolu ile toplayıp bir merkezde birleştirip ardından demiryolu ile uzun mesafeli taşıma yapmaktadır. Yine, demiryolu varış noktasından belirli müşterilere direkt olarak ya da bölgesel depolar üzerinden karayolu taşıması yapılmaktadır. Mevcut çok modlu taşımacılık sisteminin akışı Şekil 6.1 ‘de verilmiştir.



Şekil 6.1 Mevcut çok modlu taşımacılık sisteminin akışı

İhracatçı durumundaki üretim tesisleri Almanya içerisinde Berlin, Münih, Hannover ve Köln olmak üzere 4 farklı noktada bulunmaktadır. Bu noktalardan toplanan ürünler, Köln demiryolu istasyonunda birleştirilerek demiryolu moduna geçirilmektedir. Köln'den Türkiye, Köseköy'e kadar Şekil 6.2'de görülen güzergâhı izleyerek demiryolu taşınması yapılmaktadır. Daha sonra da, Batı Türkiye'de bulunan çeşitli talep noktalarına karayolu taşıması yapılmaktadır. Demiryolu ile haftanın her günü blok tren ile taşıma yapılacak düzeyde talep bulunmaktadır. Taşınması gerçekleştirilen ürünlerin talebinde dalgalanmalar olması durumunda, çok sık olmamakla beraber Almanya-Türkiye arasındaki mesafenin tamamı

karayolu ile de geçilebilmektedir.



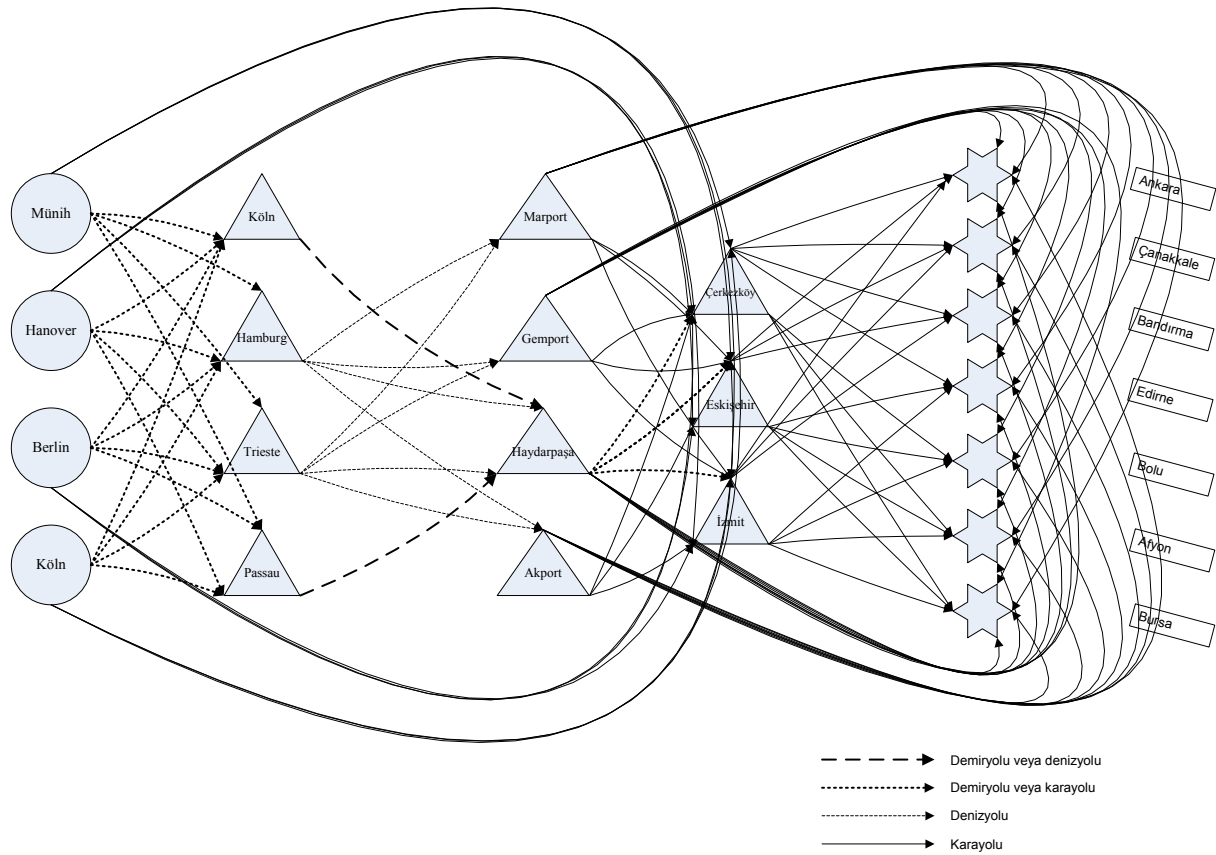
Şekil 6.2 Mevcut durumdaki demiryolu uzun taşıma rotası

Bu bölümün devamında, genel olarak anlatılan mevcut taşıma ağına alternatif olabilecek taşıma kombinasyonlarından uygun olanı, önerilen model ile belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle, örnek taşıma ağının genel yapısı ve ardından taşıma modlarının uygunluk değerlerinin belirlenmesi ile ilgili AAS detaylı şekilde anlatılmıştır. Daha sonra, uzun taşımanın Türkiye’ye varış noktasında kullanılabilecek alternatif limanların seçimine yönelik AAS verilmiştir. Taşıma ağı içerisindeki diğer aşamalarda değil de sadece ithalatçı ülkedeki varış noktaları arasında AAS’nin uygulanması sebebi, bu aşamanın stratejik öneminden ve LHS işletmenin ithalatçı ülkede faaliyet gösterdiği kabulünden ileri gelmektedir. Diğer aşamalarındaki olası alternatifler, uzman görüşlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. ÇSP modeli ile ilgili, veri toplama, modelin uygulanması, sonuçların analizi, mevcut durum ile kıyaslanması ve senaryo analizleri ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

6.1 Taşıma Ağının Genel Yapısı

Önerilen taşımacılık ağı modelinin uygulaması Türkiye – Almanya arasında gerçekleşen 4

aşamalı taşıma sistemine uygulanmıştır (Şekil 6.3). Türkiye'deki işletmelerin talep ettiği A, B, C, D ve E tipi olarak adlandırılan 5 tip ürün Almanya'daki 4 farklı noktadan tedarik edilmektedir. Bu tedarikçilerin bulunduğu lokasyonlar; Berlin, Köln, Hannover ve Münih şehirleridir. Bu noktalardan toplanan yüklerin Türkiye'ye taşınması için denizyolu ya da demiryolu modunun kullanılmasına göre, getirileceği aktarma noktası farklılık gösterecektir. Ayrıca aktarma noktalarına uğramadan ve taşıma modu değiştirmeden direkt olarak karayolu ile Türkiye'deki bölgesel depolardan birine ve oradan da talep noktasına taşıma ilk alternatiftir. Eğer çok modlu taşıma gerçekleştirilecekse, ilk aşama varış noktası olarak 4 farklı alternatif bulunmaktadır. Bunlardan ilk ikisi, 2. aşamaya demiryolu ile devam etme fırsatı veren Köln demiryolu terminali ya da Avusturya sınırındaki Passau demiryolu terminalidir. Denizyolu ile devam edilmesi durumundaki diğer iki alternatif ise Hamburg Limanı ve İtalya'daki Trieste Limanıdır. Tedarikçilerin her birinin demiryolu bağlantısı olduğu ya da aynı kolaylığı sağlayacak kadar yakınından demiryolu hattı geçtiği kabulü yapılmıştır. Bu durumda ilk aşamanın sonundaki aktarma istasyonlarına karayolu ya da demiryolu ile taşıma yapılması söz konusudur.



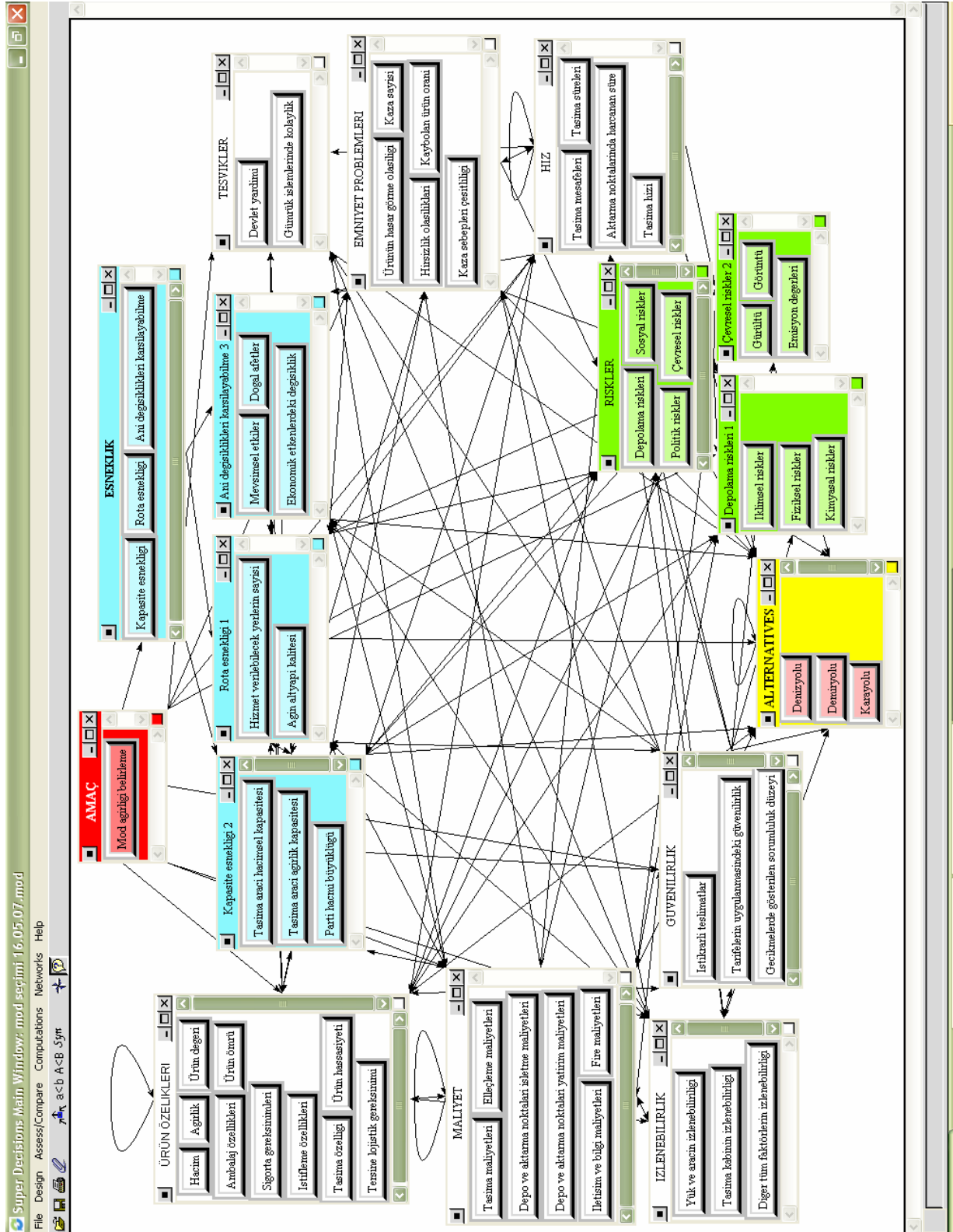
Şekil 6.3 Örnek taşıma ağının genel yapısı

İlk aktarma istasyonlarından demiryolu alternatifi ile çıkıldığında Türkiye'deki varış noktası, Haydarpaşa Demiryolu Terminali olacaktır. Denizyolu ile çıkıldığında ise varış noktası AAS sonucunda seçilmiş Marmara Bölgesi'ndeki Marport, Haydarpaşa, Akport ve Gempport limanlarından biri olacaktır. Bu aşamadaki limanların seçim süreci ilerleyen bölümlerde detaylı şekilde anlatılmıştır. Ayrıca LHS işletmenin kendi liman yatırımını yapması alternatifi de dikkate alınmıştır. Böyle bir durumda ileride açıklanacak sebeplerden dolayı en uygun noktanın Tekirdağ civarı olacağı kararlaştırılmış ve 5. alternatif olarak eklenmiştir. İthalatçı ülke olan Türkiye'ye demiryolu veya denizyolu ile gelen yükler Çerkezköy, Kocaeli veya Eskişehir'deki bölge depolarına demiryolu veya karayolu ile taşınabilmektedir. Bölge depolarından veya limanlardan (ve Haydarpaşa Demiryolu İstasyonu'ndan) karayolu ile Ankara, Çanakkale, Bandırma, Edirne, Bolu, Afyon ve Bursa'da ki talep noktalarına taşıma gerçekleştirilebilmektedir.

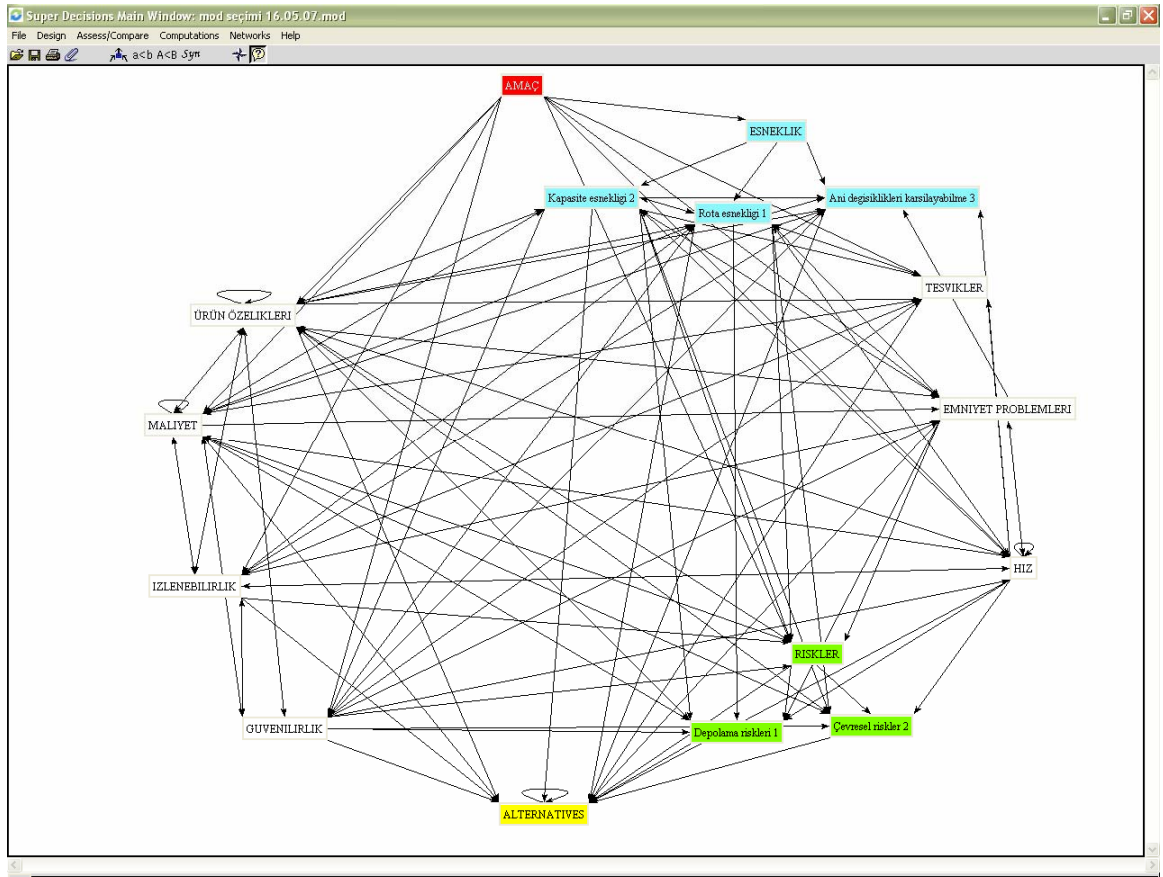
6.2 AAS ile Taşıma Modlarının Ağırlıklandırılması

Literatürdeki çalışmaların taranması ve uzman kişilerden alınan görüşler sonucu elde edilen kriterler uygun şekilde kümelendirilerek işletmeye sunulmuştur. İşletme içerisinde bu konuda yetki ve görüş sahibi kişiler bir araya getirilerek kriterleri değerlendirmeleri istenmiştir. Belirlenen kriter kümeleri, alt kriterleri ile birlikte Şekil 6.4'de Super Decision programı ekran çıktısı olarak verilmiştir.

Öncelikle seçilen kriterlerin değerlendirmeye uygun olduğu görüşü alınıp daha sonra ilişkilendirme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada özellikle kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerinin tespiti AAS'nin etkin kullanımı açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple taşıma projesinin özellikleri (lokasyonlar, ürün miktarları, ürün tipleri, mesafeler vb.) dikkate alınarak kriterler arasında olması muhtemel ilişkilerin üzerinden geçilmiştir. Gerekli görülen küçük değişikliklerin ardından ilişkilerin uygunluğu üzerinde karara varılmıştır. Kriter kümeleri arasındaki ilişkilerin son hali Şekil 6.5'de Super Decision programı ekranı olarak gösterilmiştir. Daha sonra modlar arası taşıma departmanı sorumlusu, operasyon departmanı sorumlusu ve modlar arası taşımaların kendisine bağlı bulunduğu genel müdür yardımcısından oluşan ekip ile değerlendirme süreci başlamıştır.

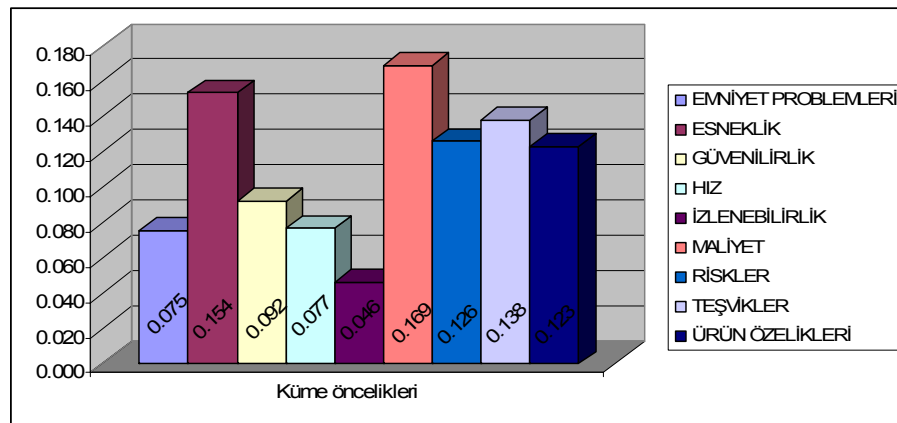


Şekil 6.4 Taşıma modları ağırlıklandırma modelinin detaylı yapısı



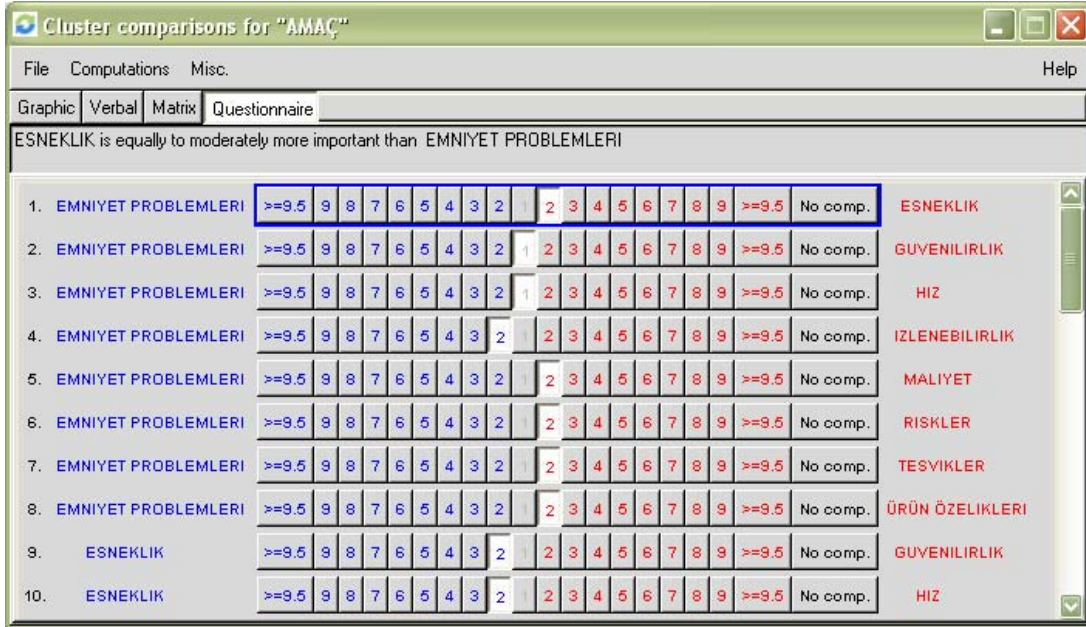
Şekil 6.5 Kriter kümeleri arası ilişkiler

Değerlendirme ikili kıyaslama matrisleri üzerinden yürütülmüştür. MS Excel ortamında hazırlanan tablolar üzerinde yapılan kıyaslamalar Super Decision programına girilmiş ve hesaplamalar burada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kriter kümeleri amaca göre kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda Şekil 6.6 elde edilmiştir. Ayrıca duyarlılığı görebilmek için kriter kümelerinin ağırlıklandırılmadığı bir durum da dikkate alınmıştır.



Şekil 6.6 Taşıma modu seçimi ile ilgili kriter kümelerinin ağırlıkları

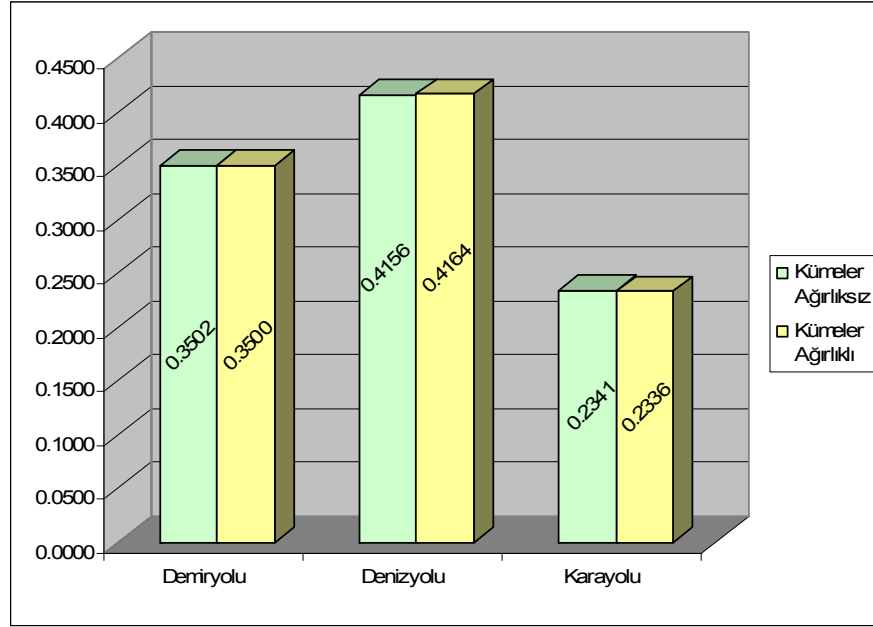
Şekil 6.6'nın elde edilmesinde kullanılan, karar vericilerden alınan kriter kümeleri ile ilgili değerlendirme sonuçlarının Super Decision programına girildiği ekran Şekil 6.7'de görülmektedir.



Şekil 6.7 Super Decision programına kriter kümeleri ile ilgili veri girişi

Ardından kriterler, önceden yapılan ilişkilendirmeler bazında birbirlerine göre kıyaslanmıştır. Son olarak ta, her bir kriter açısından alternatif taşıma modları kıyaslanmıştır. Tüm kıyaslama matrislerinin tutarlılık analizi yapılmış ve %10 tutarsızlık sınırının aşılmadığı görülmüştür. Elde edilen tüm matrisler süper matrisi oluşturacak şekilde Super Decision programında birleştirilmiştir. Bu birleştirme sonucunda elde edilen matris ağırlıklandırılmamış süper matristir. Daha sonra sütun normalizasyonu ile her bir hücrenin ağırlıkları belirlenmiş ve ağırlıklandırılmış süper matris elde edilmiştir. Bu matrisin kuvvetleri alınarak ta limit değerlere ulaşılmış ve modların ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıklandırılmamış, ağırlıklandırılmış ve limit süper matrislerin boyutları çok büyük olduğundan tez sonundaki Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'de verilmiştir. Kriter kümelerinin ağırlıklı ve ağırlıksız durumları için elde edilen sonuçlar (λ_a) Şekil 6.8'de verilmiştir. Her iki durumda da denizyolu alternatifi ilk (0.3502 / 0.3500), demiryolu alternatifi ikinci (0.4156 / 0.4164) ve karayolu alternatifi ise sonuncu sırada (0.2341 / 0.2336) bulunmaktadır. Kriter kümelerinin ve içlerindeki kriterlerin sayısının çok olması ve her bir modun farklı noktalarda üstün olmasından dolayı, hiçbir taşıma modu diğerlerine göre çok büyük üstünlük sağlayamamıştır. Fakat bu kadar fazla kriterle göre yapılan bir değerlendirmede, diğer alternatiflere göre elde edilecek küçük bir

üstünlük bile o alternatifin seçilmesi yönünde anlamlı bir fark yaratacaktır. Bununla birlikte, kriter kümeleri içindeki her bir kritere göre yapılan değerlendirmelerde farklı bir taşıma modu ön plana çıkabilmekte ve kümelerin ağırlıklandırılması durumunda da büyük farklar oluşmamaktadır. Şekil 6.8'e bakıldığında görülüyor ki, denizyolu alternatifinin ağırlığı küçük miktarlarda artmış, buna karşılık demiryolu ve karayolu alternatiflerinin ağırlığı azalmıştır.



Şekil 6.8 Taşıma modu alternatiflerinin ağırlıkları

6.3 AAS ile Marmara Bölgesi Limanlarının Seçimi

Almanya ve Türkiye arasındaki çok modlu taşıma ağının Türkiye varış limanları arasında seçim yapma konusunda da AAS metodolojisi kullanılmıştır. Bu aşamada değerlendirmeye alınan limanlar Marmara bölgesinden seçilmiştir. Bölgede bulunan limanlar arasından uygun olabilecekler, belirli bir sayıya indirilerek matematiksel modele dâhil edilmeye çalışılmıştır. Limanlar AAS ile değerlendirmeye başlanmadan önce bir ön elemeye tabi tutulmuştur. Ön eleme aşamasında limanların gümrüklü alana sahip olması, büyük gemilerin yanaşması için gerekli rıhtım derinliği ve konteyner istif alanı kapasitelerinin yeterli büyüklükte olması gibi kriterler dikkate alınmıştır. Bunun sonucunda ilk olarak 3 adet TCDD limanı ve 9 adet Türklüm üyesi liman olmak üzere aşağıdaki 12 liman kalmıştır.

- Akport Tekirdağ Liman İşletmesi A.Ş. (Tekirdağ)
- Borusan Lojistik Dağıtım Depolama Taşımacılık ve Tic. A.Ş. (Gemlik/Bursa)
- Evyap Deniz İşletmeciliği Lojistik ve İnşaat A.Ş. (Körfez/Kocaeli)

- Gemport Gemlik Liman ve Depolama İşl. (Gemlik/Bursa)
- İçdaş Çelik Enerji Tersane ve Ulaşım San. A.Ş. (Biga/Çanakkale)
- Kumport Liman Hizmetleri ve Lojistik A.Ş. (Büyükçekmece/İstanbul)
- Mardaş Marmara Deniz İşl. A.Ş. (Büyükçekmece/İstanbul)
- Marport Liman İşletmeleri San. Ve Tic. A.Ş. (Büyükçekmece/İstanbul)
- TCDD Bandırma Limanı
- TCDD Haydarpaşa limanı
- TCDD İzmit Derince Limanı
- Yılport Konteyner Terminali ve liman İşletmeleri A.Ş. (Dilovası/Gebze)

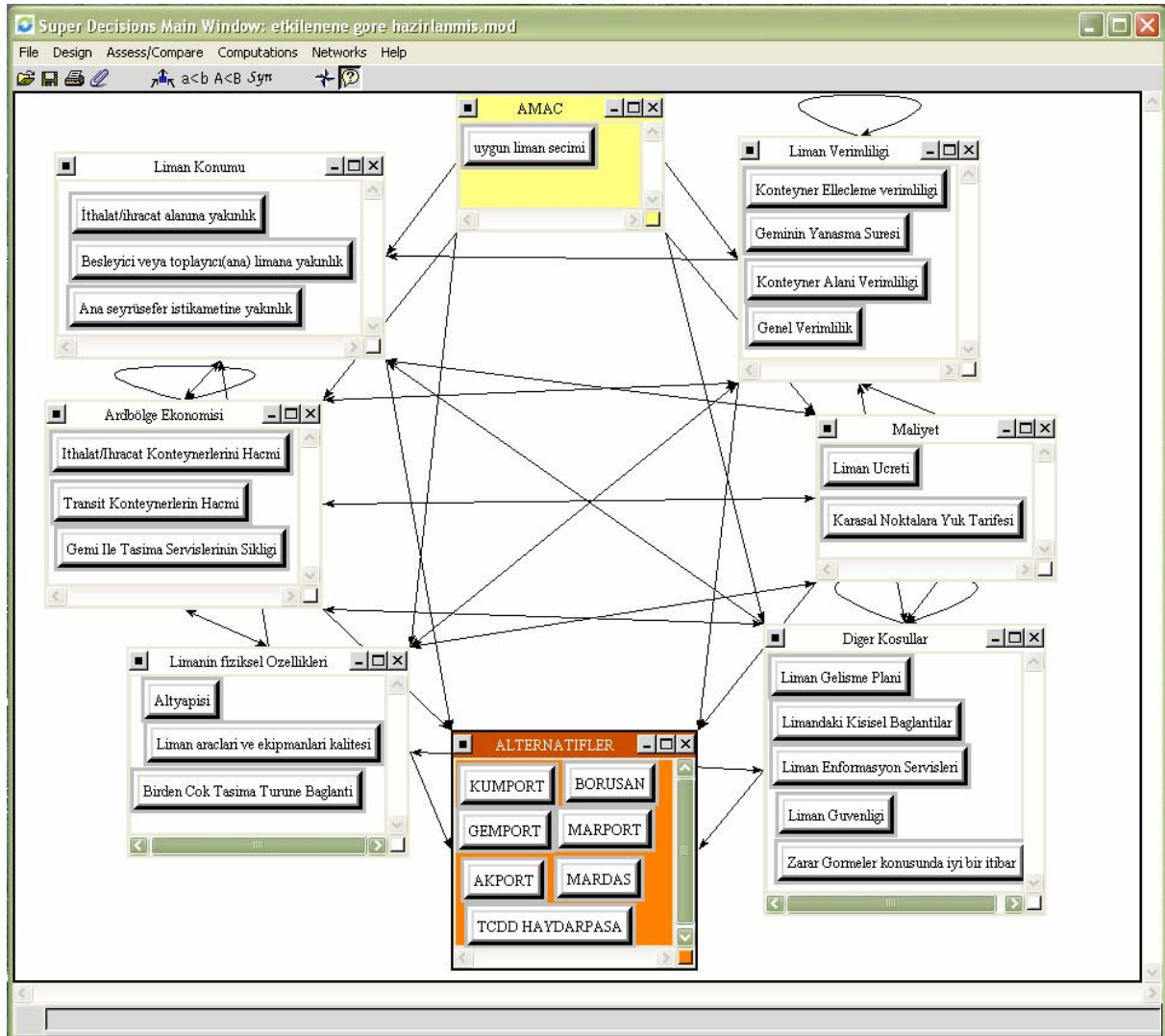
AAS ile tutarlı ve güvenilir bir değerlendirme yapılabilmesi için bu limanlar birer birer ele alınarak tekrar elenmiştir. Alternatif limanlar arasından elenenler ve bunların elenme sebepleri aşağıda verilmiştir.

1. TCDD Bandırma Limanı'nın konteyner hacmi çok düşüktür (2003'te hiç konteyner gemisi uğramamış, 2004'te ise çok az sayıda konteyner gemisi uğramıştır.), dolayısıyla değerlendirme dışıdır.
2. Derince-İzmit TCDD Limanının konteyner hacmi çok düşüktür (2004 yılında sadece 1509 konteyner elleçlenmiştir.), dolayısıyla değerlendirme dışıdır.
3. Yılport Limanı 168m den daha uzun ve 11m den daha derin rıhtımı bulunmaması, büyük gemilere uygun olmaması ve yıllık konteyner sirkülasyonun (75.000 TEU) az olması nedeni ile tercih dışıdır.
4. İçdaş Limanı konteyner kapasitesinin çok düşük olması (3000 TEU) nedeni ile değerlendirme dışı bırakılmıştır (Türkiye Liman İşletmeleri, 2005).
5. Evyap-Port 200m den daha uzun rıhtımı bulunmaması, dolayısıyla post-panamax gemilere uygun olmaması nedeni ile değerlendirme dışı bırakılmıştır.

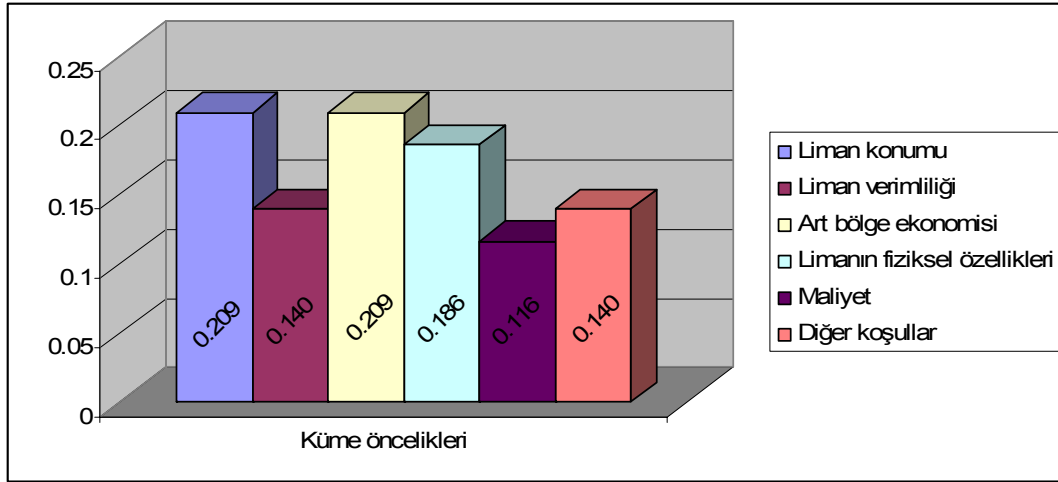
Sonuç olarak değerlendirilmek üzere geriye 7 liman kalmıştır. Bunlar kapasite değerleri ile birlikte aşağıda sıralanmıştır.

1. Marport (kapasite: 900.000 TEU/yıl)
2. Kumport (kapasite: 700.000 TEU/yıl)
3. TCDD Haydarpaşa (kapasite: 550.000 TEU/yıl)
4. Mardaş (kapasite: 250.000 TEU/yıl)
5. Gemport (kapasite: 240.000 TEU/yıl)
6. Akport (kapasite: 180.000 TEU/yıl)
7. Borusan (110.000 TEU/yıl)

Bu 7 alternatifi değerlendirerek, model içerisinde uygun olanlarının kullanılması amacı ile kurulan AAS modelinin detaylandırılmış yapısı Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Bu yapı, denizyolu taşımacılığı yapan bir işletmedeki görüş sahibi yetkililere, değerlendirilmek üzere sunulmuştur. Taşıma modu seçimi aşamasındaki AAS'nin bir benzeri bu aşamaya da uygulanmıştır. Kriterler arasındaki olası ilişkiler gözden geçirilip son hali verilmiştir. Daha sonra, sektördeki üç farklı kuruluştaki çalışan ve konu ile ilgili yetkisi ve bilgisi olan kişilerin oluşturduğu bir grupla birlikte ikili kıyaslamalara geçilmiştir. MS Excel ortamındaki değerlendirme matrislerinin doldurulmasının ardından Super Decision'a giriş yapılmış ve öncelikler hesaplanmıştır. Kıyaslamalara, kümelerin amaca göre değerlendirilmesi ile başlanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen kriter kümesi ağırlıkları Şekil 6.10'da verilmiştir.

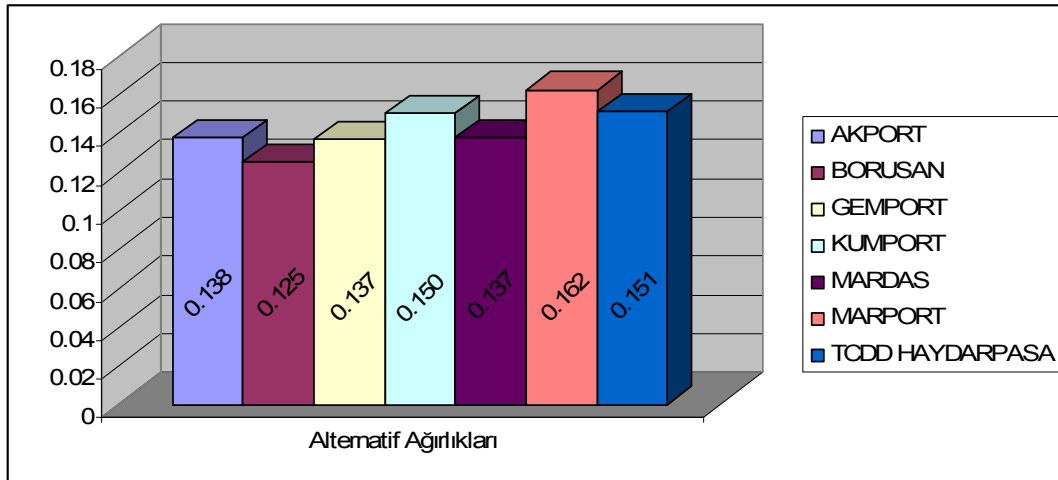


Şekil 6.9 Marmara Bölgesi'nde uygun liman seçimi modelinin detaylı yapısı



Şekil 6.10 Liman seçimi ile ilgili kriter kümelerinin ağırlıkları

Kriter kümelerinin ağırlıklarının belirlenmesi ardından her bir kriter, ilişkilendirildiği kriterlerle ve alternatiflerle kıyaslanarak yine sırasıyla ağırlıklandırılmamış süper matris, ağırlıklandırılmış süper matris ve limit süper matris elde edilmiştir. Matrisler, büyük boyutlu olmalarından dolayı Ek 4, Ek 5 ve Ek 6'da verilmiştir. Sentezlenmiş tüm değerlerin bulunduğu limit matrsten elde edilen alternatif ağırlıkları da Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Alternatif konteyner limanlarının ağırlıkları

Sonuçlara bakıldığında limanların öncelik sıralaması; Marport, Haydarpaşa, Kumport, Akport, Mardaş, Gempport ve Borusan Limanları şeklinde oluşmuştur. Bununla birlikte, alternatiflerden hiç biri diğerlerine göre çok büyük bir fark yaratamamıştır. Bu açıdan bakıldığında, daha yüksek ağırlığa sahip limanlar seçilirken, liman sonrası ulaşılacak yerel depolar ve talep noktaları düşünülerek coğrafi anlamda çeşitlilik de yaratılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, en yüksek önceliğe sahip Marport ve Haydarpaşa limanları çok modlu taşıma

ağına dahil edilmiştir. Bu limanların ardından gelen Kumport, Marport ile aynı bölgede olmasından dolayı atlanılmış ve Akport Limanı 3. liman olarak ağına eklenmiştir. 5. sırada bulunan Mardaş'da aynı sebepten dolayı atlanılmış ve aynı bölgede bulunan Gempport ve Borusan limanları arasından yüksek önceliğe sahip Gempport sonuncu liman olarak ağına eklenmiştir.

Marmara denizi içerisinde seçilmiş olan bu alternatif limanlara ek olarak, LHS işletmenin denizyolu taşımaları için Marmara denizi içerisinde kendi limanını kurması durumu göz önüne alınabilir. Böyle bir durumda kurulacak limanın yeri ile ilgili olarak çeşitli alternatifler değerlendirilebilir. Bununla birlikte "İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi"nin, Amsterdam ve Rotterdam liman ve belediyeleri yetkilileri ile yakın zamanda yürüttükleri çalışmalar sonucunda, Marmara bölgesinde kurulacak bir konteyner limanı için Tekirdağ civarının en uygun nokta olacağına karar verilmiştir. Bu kararın sebepleri arasında, İstanbul civarına gelecek yükler için şehir trafiğine girme probleminin ortadan kalkması, İstanbul içindeki limanlarda, elleçleme için gerekli ard bölgelerin olmaması, Akdeniz'de ki ana hatlara daha yakın olması sebebi ile daha büyük gemilerin uğrayabilmesi sıralanabilir. Farklı kriterler dikkate alındığında başka lokasyonların seçilmesi gündeme gelebilecektir. Bununla birlikte tez kapsamındaki örnek uygulamada yeni liman kurulumu için Tekirdağ'daki Akport limanı civarı seçilmiştir.

6.4 Uygulamada Kullanılan Verilerin Toplanması

Tez kapsamında önerilen modelin içerdiği birçok parametrik değer için doğru verilerin toplanması gerekmektedir. Model parametrelerinin büyük kısmı birim maliyet ve birim sürelerle ilişkin verileri kullanmaktadır. Diğer bir kısmı ise AAS ile elde edilen katsayıları kullanmaktadır. Örnek taşıma ağı içindeki aşamaların ve aşamalarındaki noktaların sayısının çok olması ve 3 taşıma modunun birlikte kullanılıyor olması, toplanacak verilerin miktarını da artırmaktadır. Bu verilerin çoğu, lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin ve derneklerin yetkilileri ile görüşmeler sonucu ve internet kaynaklarından faydalanılarak elde edilmiştir. Fakat özellikle maliyet verileri, işletmelerin stratejik rekabet konularından biri olduğu için kesin ve gerçekçi değerleri elde etmek mümkün olmayabilmektedir. Bununla birlikte ilgili verileri sunan işletmeler isimlerinin açıklanmasını istemeyebilmektedirler. Sonuç olarak farklı yerlerden alınan veriler bir araya getirilip düzenlenerek ve yetersiz kalan bazı noktalarda fikir alıp yaklaşık sonuçlar elde edilerek aşağıdaki çizelgeler hazırlanmış ve model çözülmüştür.

Buradaki önemli nokta, işletme bazında uygulanabilecek genel geçer bir modelin önerilmiş olmasıdır. Yapılan uygulama, belirli bir LHS işletmenin yürüttüğü taşıma projesinin verileri üzerinden ilerlemektedir. Elde edilen sonuçlar da bu projeye özel olacaktır. Model aynı noktalar arasındaki farklı bir taşımacılık projesine ya da farklı bir LHS işletmeye uygulandığında farklı sonuçlar elde edilebilecektir. Dolayısıyla buradaki uygulama sadece bir örnek teşkil etmektedir. Bu modeli kullanarak karar alacak bir LHS işletme kendi verilerini toplayarak bir sonuca varacaktır. Sonuç olarak burada kullanılan veriler de bazı işletmeler için doğru, bazı işletmeler için ise daha farklı olabilecektir.

Veriler için, yurtiçi ya da uluslararası taşımacılık yapan ve tek taşıma modu veya en az ikisini birlikte kullanan LHS işletmeler ile aktarma noktası olarak faaliyet gösteren konteyner limanlarının yetkilileri ile görüşülmüştür. Modeldeki sırasıyla, öncelikle taşıma maliyetleri ve süreleri ile ilgili veriler verilmiştir. Çizelge 6.1 Almanya'dan Türkiye'deki bölgesel depolara karayolu ile ürün bazında taşıma maliyetlerini ($Mtas_{pila}^1$) ve Çizelge 6.2 ise aynı noktalar arasında karayolu ile taşıma sürelerini ($Ttas_{pila}^1$) göstermektedir.

Çizelge 6.1 Almanya'daki üretim tesislerinden Türkiye'deki yerel depolara ürün bazında taşıma maliyeti (YTL/ürün)

Ürün	Berlin			Münih		
	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit
1	493.28	559.14	513.31	425.42	492.17	446.11
2	1183.88	1341.94	1231.94	1021.01	1181.21	1070.67
3	394.63	447.31	410.65	340.34	393.74	356.89
4	328.86	372.76	342.21	283.61	328.11	297.41
5	739.92	838.71	769.96	638.13	738.26	669.17
	Hannover			Köln		
	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit
1	554.47	621.00	575.16	554.25	620.78	574.72
2	1330.73	1490.39	1380.39	1330.19	1489.86	1379.32
3	443.58	496.80	460.13	443.40	496.62	459.77
4	369.65	414.00	383.44	369.50	413.85	383.15
5	831.71	931.50	862.74	831.37	931.16	862.08

Çizelge 6.2 Almanya'daki üretim tesislerinden Türkiye'deki yerel depolara karayolu ile taşıma süresi (saat/konteyner)

Berlin			Münih		
Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit
47.5	50.5	48	43	46.5	44
Hannover			Köln		
Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	Çerkezköy	Eskişehir	İzmit
48.5	51.5	49	48	51	49

Çizelge 6.3, Almanya'daki 4 üretim tesisinden, Almanya içindeki ve İtalya'daki liman ve demiryolu aktarma istasyonlarına ürün ve taşıma modu bazında ki taşıma maliyetlerini ($Mtas_{pija}^2$) göstermektedir. Çizelge 6.4 ise aynı noktalar arasında taşıma modu bazındaki taşıma sürelerini ($Ttas_{pija}^2$) göstermektedir.

Çizelge 6.3 Almanya'daki üretim noktalarından ilk aktarma istasyonlarına ürün bazında taşıma maliyeti (YTL/ürün)

		Berlin	Münih	Hannover	Köln	Berlin	Münih	Hannover	Köln
Ürün	Mod	Köln Demiryolu istasyonu				Hamburg limanı			
1	Demir	92.52	93.82	48.13	4.90	51.07	125.48	29.21	68.86
	Kara	127.27	129.05	64.75	4.45	64.08	175.33	33.60	94.12
2	Demir	222.04	225.17	115.52	11.75	122.57	301.14	70.10	165.26
	Kara	305.45	309.72	155.39	10.68	153.79	420.79	80.63	225.88
3	Demir	74.01	75.06	38.51	3.92	40.86	100.38	23.37	55.09
	Kara	101.82	103.24	51.80	3.56	51.26	140.26	26.88	75.29
4	Demir	61.68	62.55	32.09	3.26	34.05	83.65	19.47	45.90
	Kara	84.85	86.03	43.17	2.97	42.72	116.89	22.40	62.75
5	Demir	138.77	140.73	72.20	7.34	76.61	188.21	43.81	103.28
	Kara	190.91	193.58	97.12	6.68	96.12	263.00	50.40	141.18
		Passau Demiryolu istasyonu				Trieste Limanı			
1	Demir	104.43	30.68	106.55	108.18	176.71	86.32	178.34	180.14
	Kara	136.84	43.17	153.75	137.95	242.75	114.14	253.87	241.19
2	Demir	250.62	73.62	255.71	259.63	424.10	207.16	428.02	432.33
	Kara	328.41	103.60	368.99	331.08	582.59	273.94	609.29	578.86
3	Demir	83.54	24.54	85.24	86.54	141.37	69.05	142.67	144.11
	Kara	109.47	34.53	123.00	110.36	194.20	91.31	203.10	192.95
4	Demir	69.62	20.45	71.03	72.12	117.81	57.54	118.89	120.09
	Kara	91.23	28.78	102.50	91.97	161.83	76.10	169.25	160.79
5	Demir	156.64	46.01	159.82	162.27	265.06	129.47	267.51	270.20
	Kara	205.26	64.75	230.62	206.93	364.12	171.21	380.81	361.79

Çizelge 6.4 Almanya'daki üretim noktalarından ilk aktarma istasyonlarına taşıma süresi (saat/konteyner)

		Berlin	Münih	Hannover	Köln	Berlin	Münih	Hannover	Köln
Mod		Köln Demiryolu istasyonu				Hamburg limanı			
Demir		12	18	6	1	10	20	3	6
Kara		7.5	7.5	4	0.5	4	10	2	5.5
		Passau Demiryolu istasyonu				Trieste Limanı			
Demir		18	4	18	16	23	16	23	25
Kara		8	2.5	9	8	13	7	15	14

Çizelge 6.5, Almanya ve İtalya'daki 4 aktarma istasyonundan, Türkiye'de biri aynı zamanda demiryolu istasyonu olmak üzere 5 farklı limana ürün ve taşıma modu bazında taşıma maliyetlerini ($Mtas_{pjka}^3$) ve Çizelge 6.6 aynı noktalar arasında taşıma modu bazında taşıma sürelerini ($Ttas_{pjka}^3$) göstermektedir.

Çizelge 6.5 1. aktarma istasyonlarından 2. Aktarma istasyonlarına ürün bazında taşıma maliyetleri (YTL/ürün)

Ürün	Mod	Köln Demiryolu istasyonu					Hamburg limanı				
		Marport	Gemlik	Akport	LHS Limanı	Haydarpaşa	Marport	Gemlik	Akport	LHS Limanı	Haydarpaşa
1. ürün	Demir	Taşıma yok					Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
2. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
3. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
4. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
5. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
		Passau demiryolu istasyonu					Trieste limanı				
1. ürün	Demir	Taşıma yok					Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
2. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
3. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
4. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				
5. ürün	Demir						Taşıma yok				
	Deniz						Taşıma yok				

Çizelge 6.6 1. aktarma istasyonlarından 2. Aktarma istasyonlarına taşıma süreleri (saat)

	Marport	Gemlik	Akport	LHS Limanı	Haydarpaşa	Marport	Gemlik	Akport	LHS Limanı	Haydarpaşa
	Köln Demiryolu istasyonu					Hamburg limanı				
Demir	Taşıma yok					Taşıma yok				
Deniz						336	339	333	333	337
	Passau Demiryolu istasyonu					Trieste Limanı				
Demir	Taşıma yok					Taşıma yok				
Deniz						72	75	69	69	73

Bu aşamadan sonraki taşıma maliyet ve süreleri yurtiçi taşımlarla ilgili olarak devam etmektedir. Çizelge 6.7 içerisinde, 2. aktarma istasyonlarından talep noktalarına ($Mtas_{pkma}^4$), 2. aktarma istasyonlarından bölgesel depolara ($Mtas_{pkla}^5$) ve bölgesel depolardan talep noktalarına ($Mtas_{plma}^6$) yapılan taşımaların maliyetleri ürün ve taşıma modu bazında verilmiştir. Çizelge 6.8’de ise aynı noktalar arasındaki taşıma süreleri verilmiştir (Sırasıyla, $Ttas_{pkma}^4$, $Ttas_{pkla}^5$, $Ttas_{plma}^6$).

Çizelge 6.7 Türkiye içi karayolu ve demiryolu ile ürün bazındaki taşıma maliyetleri
(YTL/ürün)

		Bölgesel depolar			Talep noktaları								
		Ürün	Ç. Köy	E. şehir	İzmit	Ankara	Ç. kale	Bandırma	Edirne	Bolu	Afyon	Bursa	
Aktarma noktaları	Marport	1	12.00	61.50	17.70	78.93	63.00	70.88	36.75	117.60	75.25	65.10	
		2	28.80	147.60	42.48	189.42	151.20	170.10	88.20	282.24	180.60	156.24	
		3	9.60	49.20	14.16	63.14	50.40	56.70	29.40	94.08	60.20	52.08	
		4	8.00	41.00	11.80	52.62	42.00	47.25	24.50	78.40	50.17	43.40	
		5	18.00	92.25	26.55	118.39	94.50	106.31	55.13	176.40	112.88	97.65	
	Gempport	1	46.50	25.35	19.50	69.13	53.38	23.63	59.85	43.23	49.00	5.60	
		2	111.60	60.84	46.80	165.90	128.10	56.70	143.64	103.74	117.60	13.44	
		3	37.20	20.28	15.60	55.30	42.70	18.90	47.88	34.58	39.20	4.48	
		4	31.00	16.90	13.00	46.08	35.58	15.75	39.90	28.82	32.67	3.73	
		5	69.75	38.03	29.25	103.69	80.06	35.44	89.78	64.84	73.50	8.40	
	Akport	1	10.05	58.35	34.65	102.38	32.90	42.35	24.50	68.95	103.78	65.63	
		2	24.12	140.04	83.16	245.70	78.96	101.64	58.80	165.48	249.06	157.50	
		3	8.04	46.68	27.72	81.90	26.32	33.88	19.60	55.16	83.02	52.50	
		4	6.70	38.90	23.10	68.25	21.93	28.23	16.33	45.97	69.18	43.75	
		5	15.08	87.53	51.98	153.56	49.35	63.53	36.75	103.43	155.66	98.44	
	LHS Limanı	1	10.05	58.35	34.65	102.38	32.90	42.35	24.50	68.95	103.78	65.63	
		2	24.12	140.04	83.16	245.70	78.96	101.64	58.80	165.48	249.06	157.50	
		3	8.04	46.68	27.72	81.90	26.32	33.88	19.60	55.16	83.02	52.50	
		4	6.70	38.90	23.10	68.25	21.93	28.23	16.33	45.97	69.18	43.75	
		5	15.08	87.53	51.98	153.56	49.35	63.53	36.75	103.43	155.66	98.44	
	Haydarpaşa	Demiryolu	1	13.26	16.52	13.26	Taşıma yok						
			2	42.82	50.64	42.82							
			3	6.96	8.91	6.96							
			4	8.30	9.61	8.30							
			5	7.89	12.77	7.89							
		Karayolu	1	17.10	49.50	16.65	72.80	53.03	65.63	43.05	111.30	63.70	59.85
			2	41.04	118.80	39.96	174.72	127.26	157.50	103.32	267.12	152.88	143.64
			3	13.68	39.60	13.32	58.24	42.42	52.50	34.44	89.04	50.96	47.88
			4	11.40	33.00	11.10	48.53	35.35	43.75	28.70	74.20	42.47	39.90
			5	25.65	74.25	24.98	109.20	79.54	98.44	64.58	166.95	95.55	89.78
Bölgesel depolar	Çerkezköy	1	Taşıma yok			57.09	23.18	35.75	14.84	81.03	66.08	38.03	
		2				137.02	55.64	85.80	35.62	194.48	158.60	91.26	
		3				45.67	18.55	28.60	11.87	64.83	52.87	30.42	
		4				38.06	15.46	23.83	9.89	54.02	44.06	25.35	
		5				85.64	34.78	53.63	22.26	121.55	99.13	57.04	
	Eskişehir	1				25.03	45.61	27.19	52.33	45.93	14.19	15.71	
		2				60.06	109.46	65.26	125.58	110.24	34.06	37.70	
		3				20.02	36.49	21.75	41.86	36.75	11.35	12.57	
		4				16.68	30.41	18.13	34.88	30.62	9.46	10.47	
		5				37.54	68.41	40.79	78.49	68.90	21.29	23.56	
	İzmit	1				37.05	43.66	24.92	36.83	16.36	37.92	14.30	
		2				88.92	104.78	59.80	88.40	39.26	91.00	34.32	
		3				29.64	34.93	19.93	29.47	13.09	30.33	11.44	
		4				24.70	29.11	16.61	24.56	10.91	25.28	9.53	
		5				55.58	65.49	37.38	55.25	24.54	56.88	21.45	

Çizelge 6.8 Türkiye içi karayolu ve demiryolu ile taşıma süreleri (saat/konteyner)

			Bölgesel depolar			Talep noktaları						
			Ç. köy	Eskişehir	İzmit	Ankara	Ç. kale	Bandırma	Edirne	Bolu	Afyon	Bursa
Aktarma noktaları	Marport		2.00	6.00	3.00	9.00	6.00	8.00	7.00	4.50	9.00	7.50
	Gemlik		6.50	3.50	3.00	8.00	6.50	3.00	7.00	5.00	6.00	1.00
	Akport		1.50	8.00	5.00	12.00	4.00	5.00	3.00	8.00	12.00	7.50
	LHS'nin limanı		1.50	8.00	5.00	12.00	4.00	5.00	3.00	8.00	12.00	7.50
	Haydarpaşa	Demiryolu	3.00	8.00	3.00	Taşıma yok						
		Karayolu	2.50	7.00	2.50	8.50	6.00	7.50	5.00	13.00	7.50	7.00
Bölgesel depolar	Çerkezköy		Taşıma yok			11.00	4.50	7.00	3.00	15.00	12.50	7.00
	Eskişehir					5.00	8.50	5.00	10.00	8.50	3.00	3.00
	İzmit					7.00	8.00	5.00	7.00	3.00	7.00	3.00

Çizelge 6.9'da 1. aktarma istasyonları ile ilgili 3 farklı veri tipi bulunmaktadır. Bunlardan ilki üretim tesislerinden farklı modlarla taşınarak 1. aktarma istasyonuna gelen yüklerin ürün bazındaki boşaltma ($Makt_{pja}^{J,boş}$) maliyetleridir. İkincisi, boşaltılan yüklerin istasyonda kalış süresine göre oluşan ürün bazındaki depolama ($Mdepo_{pja}^J$) maliyetleridir. Son veri tipi ise 2. aktarma istasyonlarına taşınacak olan ürünlerin demiryolu veya denizyolu ile taşınmasına göre ürün bazında oluşan yükleme ($Makt_{pja}^{J,yük}$) maliyetleridir. Çizelge 6.10 ise, aynı noktalardaki taşıma moduna göre değişen boşaltma ($Takt_{pja}^{J,boş}$), depolama ($Tdepo_{pja}^J$) ve yükleme ($Takt_{pja}^{J,yük}$) süreleridir.

Çizelge 6.9 1. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün)

	Ürün	Köln Demiryolu istasyonu	Hamburg limanı	Passau Demiryolu istasyonu	Trieste Limanı
İstasyon veya limana demiryolu ile gelip boşaltma	1	6.68	11.13	5.19	10.38
	2	16.02	26.70	12.46	24.92
	3	5.34	8.90	4.15	8.31
	4	4.45	7.42	3.46	6.92
	5	10.01	16.69	7.79	15.58
İstasyon veya limana karayolu ile gelip boşaltma	1	6.68	11.13	5.19	10.38
	2	16.02	26.70	12.46	24.92
	3	5.34	8.90	4.15	8.31
	4	4.45	7.42	3.46	6.92
	5	10.01	16.69	7.79	15.58
İstasyonda bekleme (karayolu ile gelen)	1	7.42	2.97	2.97	2.97
	2	17.80	7.12	7.12	7.12
	3	5.93	2.37	2.37	2.37
	4	4.94	1.98	1.98	1.98
	5	11.13	4.45	4.45	4.45

Çizelge 6.9 1. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün) (devamı)

	Ürün	Köln Demiryolu istasyonu	Hamburg limanı	Passau Demiryolu istasyonu	Trieste Limanı
İstasyonda bekleme (demiryolu ile gelen)	1	7.42	2.97	2.97	2.97
	2	17.80	7.12	7.12	7.12
	3	5.93	2.37	2.37	2.37
	4	4.94	1.98	1.98	1.98
	5	11.13	4.45	4.45	4.45
İstasyonda demiryolu taşıması için yükleme	1	6.68	Taşıma yok	5.19	Taşıma yok
	2	16.02		12.46	
	3	5.34		4.15	
	4	4.45		3.46	
	5	10.01		7.79	
İstasyonda denizyolu taşıması için yükleme	1	Taşıma yok	20.03	Taşıma yok	17.80
	2		48.06		42.72
	3		16.02		14.24
	4		13.35		11.87
	5		30.04		26.70

Çizelge 6.10 1. aktarma istasyonlarındaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat/konteyner)

	Köln Demiryolu istasyonu	Hamburg limanı	Passau Demiryolu istasyonu	Trieste Limanı
İstasyon veya limana demiryolu ile gelip boşaltma	2	3	2	3
İstasyon veya limana karayolu ile gelip boşaltma	1	2	1	2
İstasyonda bekleme (karayolu ile gelen)	48	48	36	36
İstasyonda bekleme (demiryolu ile gelen)	48	48	36	36
İstasyonda demiryolu taşıması için yükleme	3	Taşıma yok	2.5	Taşıma yok
İstasyonda denizyolu taşıması için yükleme	Taşıma yok	6	Taşıma yok	5

Çizelge 6.11’de 1. aktarma istasyonlarından 2. aktarma istasyonlarına demiryolu ya da denizyolu ile gelen yüklerin ürün bazındaki boşaltma ($Makt_{pka}^{K,boş}$), depolama ($Mdepo_{pka}^K$) ve yükleme ($Makt_{pka}^{K,yük}$) maliyetlerini göstermektedir. Çizelge 6.12 ise aynı noktalarda oluşan boşaltma ($Takt_{pka}^{K,boş}$), depolama ($Tdepo_{pka}^K$) ve yükleme ($Takt_{pka}^{K,yük}$) sürelerini göstermektedir.

Çizelge 6.11 2. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün)

	Ürün	Marport Limanı (Ambarlı, İstanbul)	Gemlik Limanı (Bursa, İstanbul)	Akport Limanı (Tekirdağ)	LHS’nin Limanı	Haydarpaşa Limanı (İstanbul)
İstasyon veya limana demiryolu ile gelip boşaltma	1	Taşıma yok				5.93
	2					14.24
	3					4.75
	4					3.96
	5					8.90

Çizelge 6.11 2. aktarma istasyonlarındaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün) (devamı)

	Ürün	Marport Limanı (Ambarlı, İstanbul)	Gemlik Limanı (Bursa, İstanbul)	Akport Limanı (Tekirdağ)	LHS'nin Limanı	Haydarpaşa Limanı (İstanbul)
İstasyon veya limana denizyolu ile gelip boşaltma	1	14.83	16.32	17.80	12.46	17.80
	2	35.60	39.16	42.72	29.90	42.72
	3	11.87	13.05	14.24	9.97	14.24
	4	9.89	10.88	11.87	8.31	11.87
	5	22.25	24.48	26.70	18.69	26.70
İstasyonda bekleme (demiryolu ile gelen) \$10	1	Taşıma yok				2.30
	2					5.52
	3					1.84
	4					1.53
	5					3.45
İstasyonda bekleme (denizyolu ile gelen)	1	2.30	2.76	4.14	2.90	3.45
	2	5.52	6.62	9.94	6.96	8.28
	3	1.84	2.21	3.31	2.32	2.76
	4	1.53	1.84	2.76	1.93	2.30
	5	3.45	4.14	6.21	4.35	5.18
İstasyonda demiryolu taşıması için yükleme	1	Taşıma yok				5.93
	2					14.24
	3					4.75
	4					3.96
	5					8.90
İstasyonda karayolu taşıması için yükleme	1	5.93	6.68	6.68	4.67	7.42
	2	14.24	16.02	16.02	11.21	17.80
	3	4.75	5.34	5.34	3.74	5.93
	4	3.96	4.45	4.45	3.12	4.94
	5	8.90	10.01	10.01	7.01	11.13

Çizelge 6.12 2. aktarma istasyonlarındaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat/konyetner)

	Marport Limanı (Ambarlı, İstanbul)	Gemlik Limanı (Bursa, İstanbul)	Akport Limanı (Tekirdağ)	LHS'nin Limanı	Haydarpaşa Limanı (İstanbul)
İstasyon veya limana demiryolu ile gelip boşaltma	Taşıma yok				12
İstasyon veya limana denizyolu ile gelip boşaltma	1	1	1	0.7	2
İstasyonda bekleme (demiryolu ile gelen)	Taşıma yok				48
İstasyonda bekleme (denizyolu ile gelen)	48	48	72	50.4	72
İstasyonda demiryolu taşıması için yükleme	Taşıma yok				3
İstasyonda karayolu taşıması için yükleme	2	3	3	2.1	4

Çizelge 6.13, 3 yerel depoya, Almanya'daki 4 üretim noktasından ve 2. aktarma noktalarından karayolu ve demiryolu ile gelen yüklerin ürün bazındaki boşaltma $Makt_{pla}^{L,boş}$, depolama $Mdepo_{pla}^L$ ve talep noktalarına gönderilmek üzere yükleme $Makt_{pla}^{L,yük}$ maliyetlerini göstermektedir. Çizelge 6.14 ise aynı yerel depolardaki boşaltma ($Takt_{pla}^{L,boş}$), depolama

(T_{depo}^L) ve yükleme ($T_{akt}^{L,yük}$) sürelerini göstermektedir.

Çizelge 6.13 Yerel depolardaki ürün bazında boşaltma, depolama ve yükleme maliyetleri (YTL/ürün)

	Ürün	Çerkezköy Yerel Deposu	Eskişehir Yerel Deposu	İzmit Yerel Deposu
Depoya demiryolu ile gelip boşaltma	1	7.42	8.90	8.16
	2	17.80	21.36	19.58
	3	5.93	7.12	6.53
	4	4.94	5.93	5.44
	5	11.13	13.35	12.24
Depoya karayolu ile gelip boşaltma	1	4.45	5.93	5.19
	2	10.68	14.24	12.46
	3	3.56	4.75	4.15
	4	2.97	3.96	3.46
	5	6.68	8.90	7.79
Depoda bekleme (Karayolu ile gelen)	1	1.48	1.78	1.48
	2	3.56	4.27	3.56
	3	1.19	1.42	1.19
	4	0.99	1.19	0.99
	5	2.23	2.67	2.23
Depoda bekleme (Demiryolu ile gelen)	1	2.23	2.67	2.23
	2	5.34	6.41	5.34
	3	1.78	2.14	1.78
	4	1.48	1.78	1.48
	5	3.34	4.01	3.34
Depoda karayolu taşıması için yükleme	1	4.45	5.93	5.19
	2	10.68	14.24	12.46
	3	3.56	4.75	4.15
	4	2.97	3.96	3.46
	5	6.68	8.90	7.79

Çizelge 6.14 Yerel depolardaki boşaltma, depolama ve yükleme süreleri (saat)

	Çerkezköy Yerel Deposu	Eskişehir Yerel Deposu	İzmit Yerel Deposu
Depoya demiryolu ile gelip boşaltma	3	4	3
Depoya karayolu ile gelip boşaltma	2	3	2
Depoda bekleme (Karayolu ile gelen)	24	24	24
Depoda bekleme (Demiryolu ile gelen)	36	36	36
Depoda karayolu taşıması için yükleme	2	3	2

Aşamalar arasındaki taşıma maliyetleri ve süreleri dışındaki diğer bir veri tip ise talep noktalarının talep ettiği ürünlerle ilgilidir. Bu ürünlerin hacim ve ağırlık gibi özellikleri ve talep miktarları, Almanya Türkiye arasında modlar arası taşımacılık yapan bir LHS işletmenin hizmet verdiği büyük lojistik hizmet alıcıları baz alınarak yaklaşık değerler olarak belirlenmiştir. Taşınması yapılan ürünlerin otomotiv sektöründe kullanıldığı kabul edilmiş ve

konteynerlenebilen ürünler seçilmiştir. Çizelge 6.15’de ürünlerin ağırlıkları, bir konteynere yüklenebilecek miktarları ve konteyner içinde kapladıkları hacim yüzdeleri ile ilgili veriler gösterilmiştir.

Çizelge 6.15 Talep edilen ürünlerin fiziksel özellikleri

Ürün	Ağırlık (ton)	1 konteynere yüklenebilecek ürün miktarı	Konteynerde bir ürünün kapladığı hacim %'si
1	0.5	12	8
2	1.2	5	20
3	0.3	15	7
4	0.2	18	6
5	0.75	8	13

7 farklı lokasyonda bulunan talep noktalarının 5 yıl için gerçekleştirecekleri talep miktarlarının yıllık yaklaşık 8000 konteynerden toplam 40000 konteyner civarında olacağı varsayılmıştır. Bu öngörülen toplam hacmin, ürünlere göre talep noktaları arasındaki dağılımı (D_{pm}) Çizelge 6.16’daki gibidir. Çizelge 6.16’nın son sütununda talep noktasının 5 ürün tipi ile ilgili talep miktarını karşılayabilmek için gereken konteyner sayıları görülmektedir. Bu sütunun toplamı alındığında 39933 adet konteyner taşınması yapılacağı görülmektedir.

Çizelge 6.16 Talep noktalarının ürün bazında talep miktarları (adet)

Talep noktaları	1. ürün	2. ürün	3. ürün	4. ürün	5. ürün	Gerekli konteyner sayısı
Ankara	28000	6000	1200	12200	2400	4591
Çanakkale	0	10000	5600	8600	0	2851
Bandırma	18400	12000	15400	10800	0	5560
Edirne	13600	8000	0	600	10800	4117
Bolu	26000	24000	13000	20000	14400	10744
Afyon	28800	6000	13400	8400	1000	5085
Bursa	33200	14000	5400	11400	3400	6985

Bununla birlikte, her ürün farklı tesislerde üretildiğinden dolayı, talep edilen ürün tiplerinin her birini, herhangi bir üretim tesisinden elde etmek mümkün değildir. Buna göre, 1. ürün 2. ve 4. üretim tesislerinde, 2. ürün sadece 1. üretim tesisinde, 3. ürün sadece 3. üretim tesisinde, 4. ürün sadece 4. üretim tesisinden ve 5. ürün, 2. ve 3. üretim tesislerinde üretilmektedir.

Diğer bir veri grubu ise taşıma aşamalarındaki noktalarda yapılacak yatırımlarla ilgili ilk kurulum ve işletme maliyetleridir. Başlangıçtaki üretim tesisleri ve son aşamadaki talep noktaları çıkartıldığında yatırım yapılabilecek noktalar, 1. ve 2. aktarma istasyonları ile yerel depolar olarak sıralanabilir. Bu noktada sektörel uygulamalara bakılarak, örnek uygulama

açısından uygun olacağı düşünülen karar, 1. aktarma istasyonları arasında yatırım yapılmamasıdır. Türkiye’de faaliyet gösteren bir LHS işletmenin, Türkiye’de liman ya da yerel depo kurma girişiminde bulunması daha gerekçi olacaktır. Bu sebeple önceki bölümlerde anlatıldığı gibi Tekirdağ’da bir konteyner limanının kurulması uygun olacaktır. Bununla birlikte, bulundukları bölgeye ve kapasitelerine göre maliyet farkları oluşturacak Çerkezköy, Eskişehir ve İzmit yerel depoları, diğer yatırım noktaları olarak sayılabilir.

Liman kurulumu ile ilgili olarak etüd ve proje giderleri, arazi alımı, iskele ve bina yatırımları, ekipman yatırımları ve diğer öngörülmeleyen ilk yatırım maliyetleri oluşacaktır. Depo için de iskele yatırımları hariç benzer maliyet kalemlerinden oluşan ilk yatırım maliyetleri oluşacaktır. Bunlara ek olarak, liman yatırımları için personel, bakım, sigorta, amortisman, kılavuzluk, römorkaj, palamar gibi liman giderleri, genel idari giderler ve görünmeyen giderlerden oluşacak yıllık işletme giderlerine katlanılacaktır. Depo için de benzer kalemlerden oluşan işletme maliyetleri ile karşı karşıya kalınacaktır.

Türklım üyesi limanlardan Marport ve Borusan Liman işletmeleri ile yapılan görüşmeler sonucunda, derinlikten lokasyona, kullanılan ekipmandan liman bilgi sistemlerine kadar çok fazla kritere bağılı olan ilk yatırım ile ilgili olarak, yıllık kapasitesi 80000 konteyner olan bir limanın genel olarak 2 adet mobil vinç, 2 adet elleçleme istifleyicisi, 4 adet çekiciye ihtiyaç duyacağı belirlenmiştir. Bu ekipmanların yaklaşık olarak 10 milyon dolar ve arazi, etüd, bina vs. yatırımlarla birlikte yaklaşık olarak 20 milyon dolar ve yıllık işletme giderlerinin de yaklaşık 5 milyon dolar civarında olacağı kabulü yapılmıştır. Bununla birlikte, uygulama kapsamında ihtiyaç duyulacak olan yıllık 8000 ve toplamda 40000 adet konteyner kapasitesi limanın %10’luk bölümünü oluşturmaktadır. Limanın kalan kapasitesi için müşteri bulabileceğı ve bu sebeple ilk yatırım maliyeti ile işletme giderlerinin, bu projeye %10 oranında yansıtılmasının uygun olacağı varsayılmıştır. Sonuç olarak bu taşıma projesi için liman kurulum maliyeti 2 milyon dolar ve yıllık işletme giderleri 500,000 dolar olacaktır. Buna karşılık, LHS işletmenin kendi limanını işletmesi sonucunda, yükleme, boşaltma ve depolama operasyonlarını yaklaşık olarak %25 ile %30 oranında düşük maliyetlerle gerçekleştireceğı kabul edilmiştir.

Yerel depolar içinse depo tasarımı ve kurulumu konusunda danışmanlık yapan Lojitek lojistik danışmanlık işletmesi yetkilileri ile görüşüldü. Görüşme sonucunda Çerkezköy, Eskişehir ve İzmit için sırası ile 800,000 YTL, 600,000 YTL ve 700,000 YTL ilk yatırım maliyetleri ile 170,000 YTL, 145,000 YTL ve 155,000 YTL işletme maliyetlerine gereksinim duyulacağı sonucuna varılmıştır.

Son veri grubu ise, 1. ve 2. aşama istasyonlarının ve yerel depoların kapasite kısıtları ile ilgilidir. Bu noktalarda LHS'nın belirli anlaşmalar yaptığı ve kendisine Çizelge 6.17'de belirtilen miktarlarda konteyner kapasitesi ayrıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 6.17 Aşamalardaki noktaların konteyner kapasiteleri

1. aktarma istasyonları	Konteyner kapasitesi	2. aktarma istasyonları	Konteyner kapasitesi	Yerel depolar	Konteyner kapasitesi
Köln	22000	Marport	30000	Çerkezköy	27000
Hamburg	20000	Gemlik	27000	Eskişehir	28000
Avusturya	35000	Akport	28000	İzmit	22000
Trieste	28000	Haydarpaşa	35000		
		LHS'nın limanı	40000		

6.5 Modelin Geçerliliğinin Doğrulanması

Modelin geçerliliğinin doğrulanması, çözümlenen modelin beklenen yönde sonuçlar verip vermediğinin belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu aşamada modelin sonucunu olumlu ya da olumsuz yönde etkileyecek parametre değişiklikleri yapılarak sonuçlarda da aynı yönde iyileşme ya da kötüleşme olup olmadığı kontrolü yapılabilir. Diğer bir yaklaşım ise aynı kısıt ve parametreleri kullanırken farklı maksimizasyon ve minimizasyon amaçlarının verdiği sonuçların birbirleri ile kıyaslanması olabilir. Parametrik değerlere ve amaç fonksiyonlarının özelliklerine göre modelin hangi karar değişkenlerine daha yüksek değer ve hangilerine daha düşük değer atayacağını önceden kestirmek mümkündür. Eğer model de beklentiler paralelinde tutarlı ve doğru sonuçlar veriyorsa geçerlilik test edilmiş olacaktır. Aşağıda, bir sonraki bölümde çözümlenmiş modellerden beklenen sonuçlar sıralanmış ve çıkan sonuçlarla paralel olduğu ispatlanmıştır.

1. amaç, AAS sonucunda etkinliği daha yüksek olarak seçilmiş modlarla taşınan miktarların daha yüksek olmasını sağlamalıdır. Bu durumda taşımalar, en yüksek öncelik değerine sahip denizyolu, eğer aşamalar arasında denizyolu yoksa demiryolu ve o da yoksa karayolu kullanılarak yapılmalıdır.
2. amaç, taşıma maliyeti düşük modları, aktarma ve depolama maliyeti düşük aktarma noktalarını seçerek, eğer bu iki maliyette daha büyük oranda artış sağlamıyorsa yatırım maliyetlerini minimize etmeye çalışmalıdır.
3. amaç, gerekirse yatırım, aktarma ve depolama maliyetlerinin yükselmesi pahasına sadece taşıma maliyetlerini minimize etmeye çalışmalıdır.
4. amaç, gerekirse taşıma ve yatırım maliyetlerinin yükselmesi pahasına aktarma ve depolama

maliyetlerini minimize etmeye çalışmalıdır. Eğer mümkünse aktarma yapmadan yada mümkün olan en az sayıda aktarma ile taşımalar gerçekleştirilmelidir.

5. amaç, gerekirse taşıma, aktarma ve depolama maliyetlerinin yükselmesi pahasına yatırım maliyetlerini minimize etmeye çalışmalıdır. Eğer mümkünse hiç yatırım yapmadan bu maliyet sıfıra eşitlenmelidir.

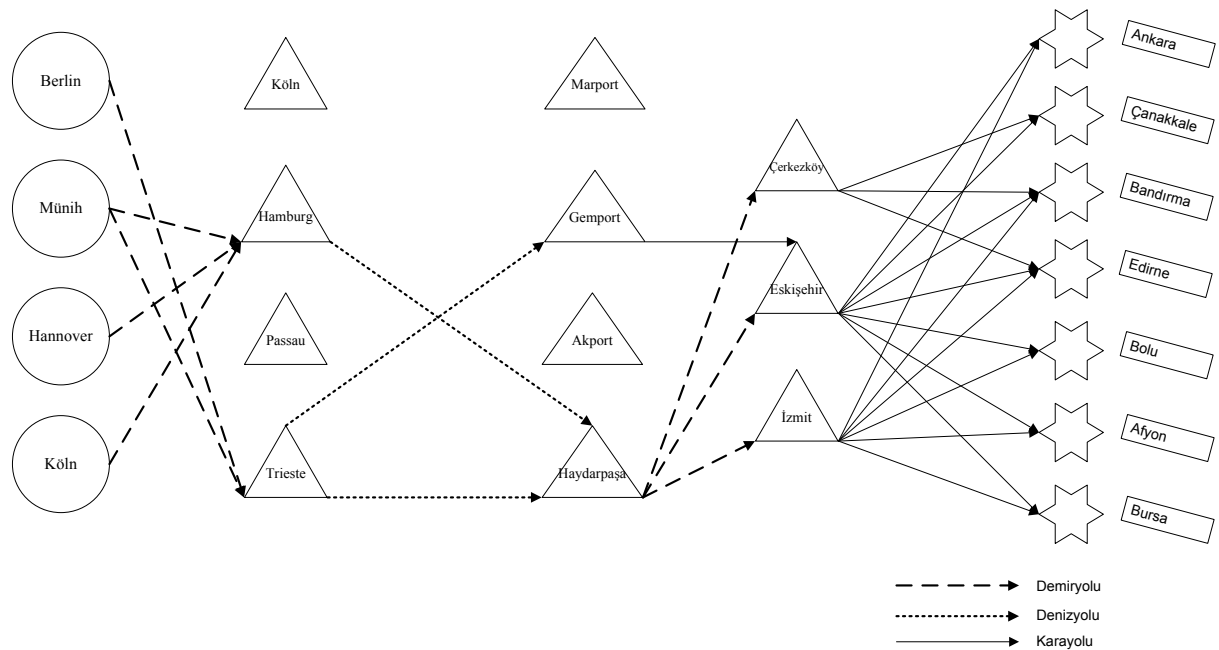
6. amaç, hem taşıma hızının yüksek olduğu modları seçmeli, hem de aktarmasız taşıma yapmayı sağlamalıdır. Aktarmasız taşıma mümkün değilse daha kısa yükleme, depolama ve boşaltma sürelerine sahip olan noktaları seçmelidir.

7. amaç, gerekirse aktarma noktalarında fazla zaman harcamaya katlanarak taşıma sürelerini minimize etmeye çalışmalıdır.

8. amaç ise, gerekirse daha yavaş taşıma modlarını seçmek pahasına aktarmasız taşıma yapmaya çalışmalıdır. Eğer aktarmasız taşıma mümkün değilse en az yükleme, depolama ve boşaltma sürelerine sahip olan noktaları seçmelidir.

6.6 Modelin Farklı Amaç Fonksiyonları İçin Çözdürülmesi

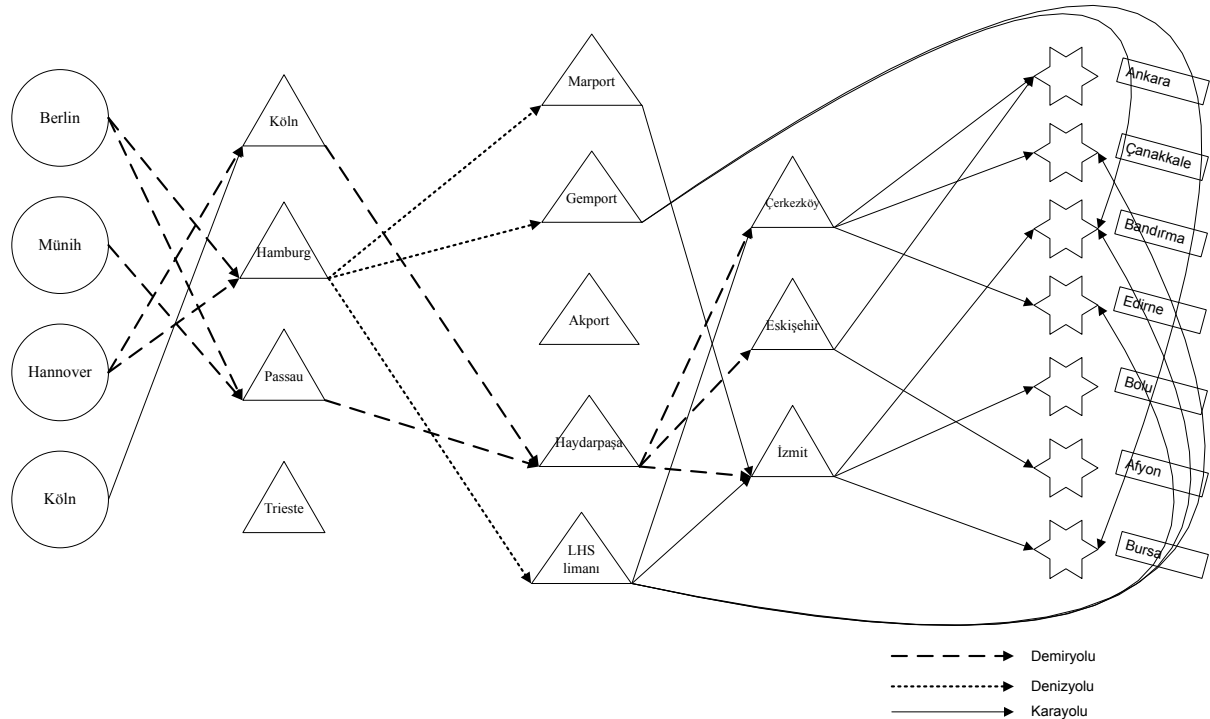
1. amaç fonksiyonuna göre çözümde, üretim tesislerinden 1. aktarma istasyonlarına giderken, sonrasında denizyolu ile devam edebilme şansını veren Hamburg ve Trieste Limanları seçilmiş ve bu aşamadaki taşımalarda demiryolu, karayoluna tercih edilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Taşıma modu etkinliği maksimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

2. Aktarma istasyonlarından Haydarpaşa tam kapasite ile çalışmakta, kalan miktar ise Gempport'a gitmektedir. Buradan da direkt olarak talep noktalarına taşınmak yerine, Haydarpaşa'dan demiryoluyla ve Gempport'tan karayoluyla her üç yerel depoya da taşıma yapılarak talep noktalarının talepleri karşılanmaktadır. Bu çözümdeki mümkün olan her aşamada, önem derecesi en büyük olan denizyolu ve ardından demiryolu alternatifleri kullanılmaya, karayolu ise mecbur kalınmadıkça kullanılmamaya çalışılmıştır.

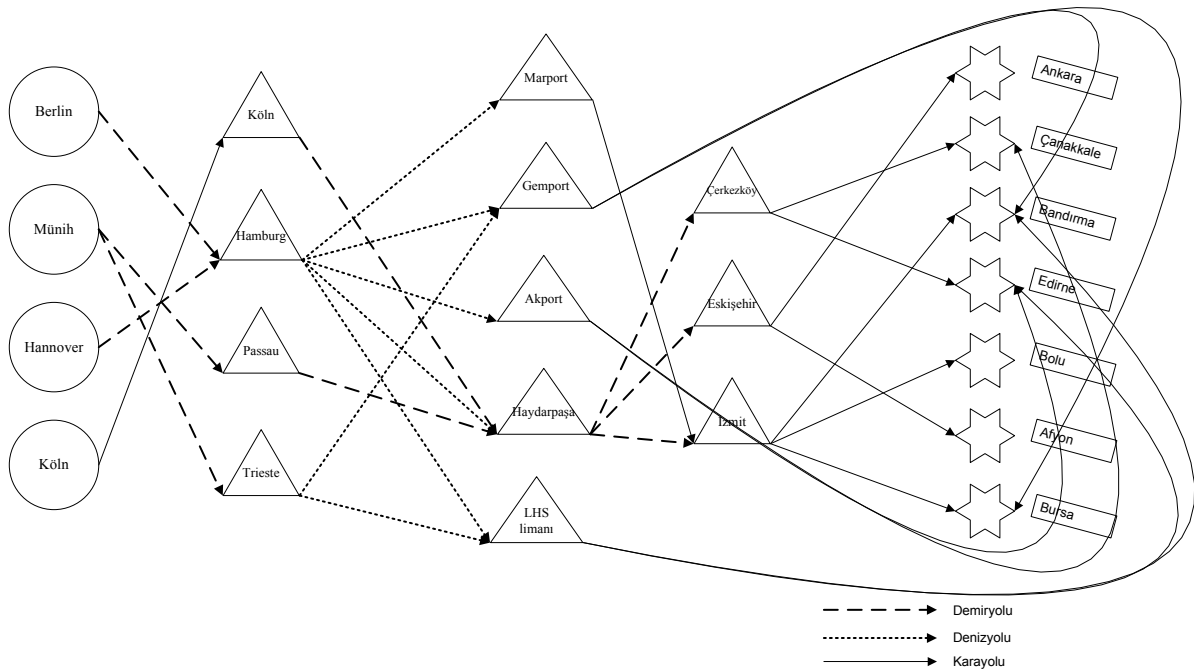
2. amaç fonksiyonuna göre çözümde, üretim tesislerinden, Trieste limanı hariç tüm 1. aktarma istasyonlarına taşıma gerçekleştirilmektedir (Şekil 6.13). Köln'deki üretim tesisinden Köln demiryolu istasyonuna karayolu ile diğerlerine ise demiryolu ile taşınmalar yapılmaktadır. Buna karşılık üretim tesislerinden yerel depolara, diğer modlara göre daha maliyetli olan karayolu ile direk taşıma yapılmamaktadır. Köln ve Passau'daki demiryolu istasyonlarından Haydarpaşa'ya demiryoluyla ve Hamburg'dan da Marport, Gempport ve LHS'nın Tekirdağ'da açacağı kendi limanına denizyoluyla taşımalar gerçekleştirilmektedir. Gempport'tan talep noktalarına direkt ve diğer 2. aktarma istasyonlarından talep noktalarına yerel depoları kullanarak taşımalar yapılmaktadır. Yatırım maliyetleri açısından bakıldığında taşıma ağı içerisindeki tüm noktalar açılmaktadır.



Şekil 6.13 Toplam maliyetlerin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

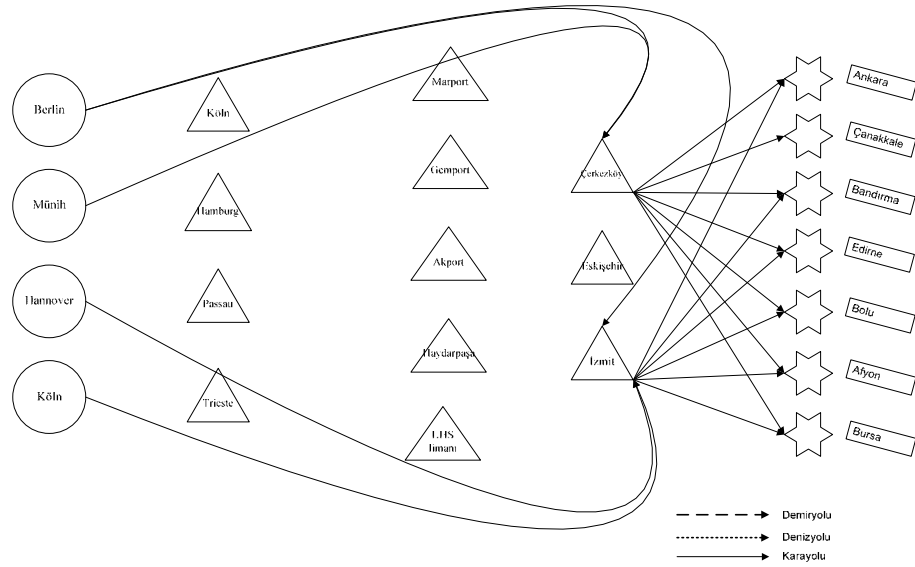
Model, sadece taşıma maliyetlerini dikkate alan 3. amaç fonksiyonuna göre çözdürüldüğünde,

üretim tesislerinden çıkan yükler yine sadece Köln üretim tesisi ile Köln demiryolu istasyonu arasında karayoluyla ve diğer noktalardan demiryoluyla olmak üzere tüm 1. aktarma istasyonlarına taşınmaktadır (Şekil 6.14). Üretim tesislerinden yerel depolara karayolu ile direkt taşıma yapılmamaktadır. 2. aktarma istasyonlarından Haydarpaşa'ya Köln ve Passau'dan, demiryoluyla ve diğer limanlara ise Hamburg ve Trieste limanlarının en az birinden denizyolu ile taşıma yapılmaktadır. Gemlik, Akport ve LHS işletmenin Tekirdağ limanından direkt ve diğerlerinden yapılan taşımalarda yerel depolar kullanılarak talep noktalarının talepleri karşılanmıştır. Bu amaca göre oluşturulan ağ içerisinde de olabilecek tüm noktalarda yatırımlar gerçekleştirilmektedir.



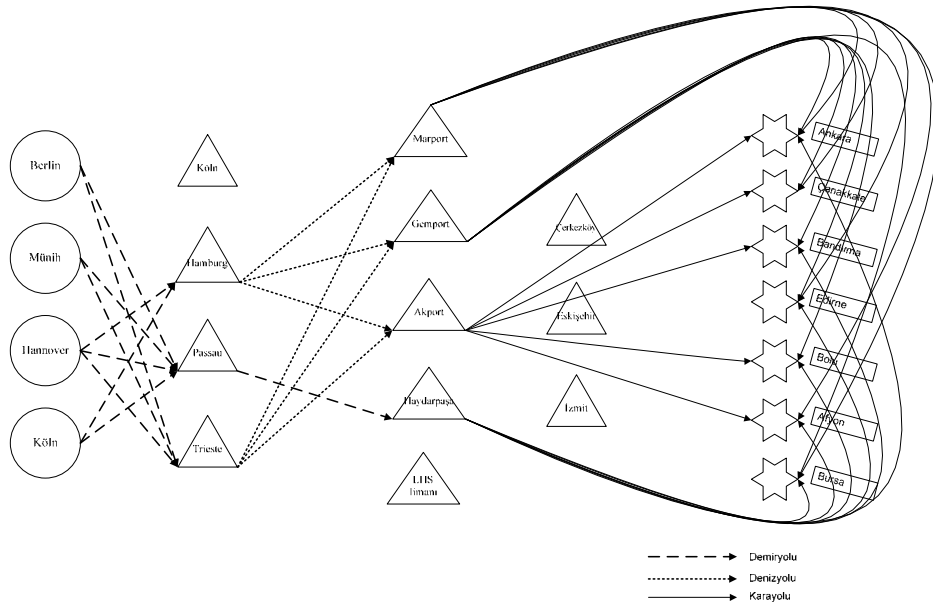
Şekil 6.14 Taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Sadece aktarma ve depolama maliyetlerini minimize eden 4. amaç fonksiyonunda tüm ağ iki aşamada geçilmektedir (Şekil 6.15). Tamamen karayolu kullanılarak üretim tesislerinden yerel depolara ve oradan da talep noktalarına taşımalar yapılmaktadır. Dolayısıyla 2. aktarma noktaları arasında yeni bir liman yatırımı yapılamamakta ve yerel depolardan da sadece Çerkezköy ve İzmit'tekiler açılmaktadır. Bu durum taşıma maliyetlerini yükseltse de aktarma sayısını ve aktarma ve depolama maliyetlerini minimize etmektedir.



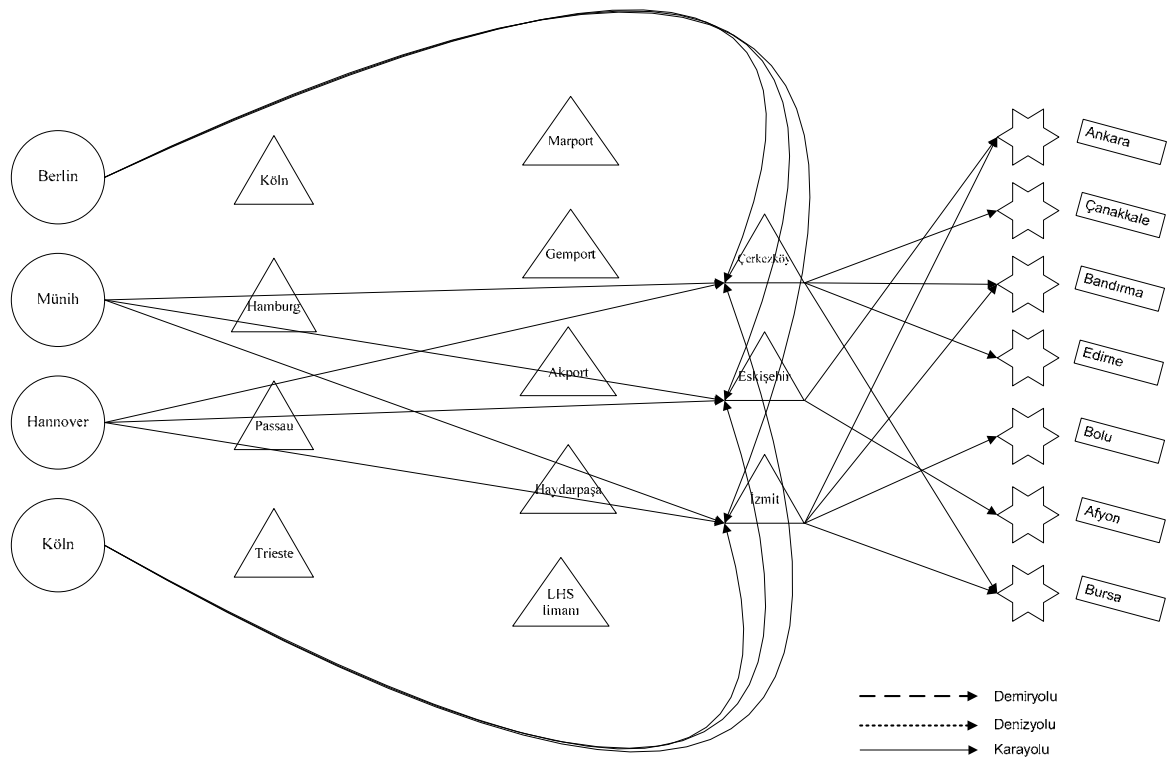
Şekil 6.15 Aktarma ve depolama maliyetlerinin minimize edilmesiyle gerçekleşen taşımalar

Yatırım ve işletme maliyetlerini minimize eden 5. amaca göre çözümde, liman veya yerel depo yatırımları yapmadan mevcut durumdaki ağın kullanılması sonucu çıkmaktadır (Şekil 6.16). Yatırım ve işletme maliyetlerinin toplamı sıfır olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre 2. aktarma istasyonlarından hali hazırda kurulu olanlar kullanılmakta ve yine yerel depo açmak yerine talep noktalarına 2. aktarma istasyonlarından direkt karayolu taşıması yapılmaktadır. Amaç, sadece yatırım maliyetlerini minimize etmek olduğundan, taşıma maliyetlerini düşüren yerel depo yatırımlarının gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır.



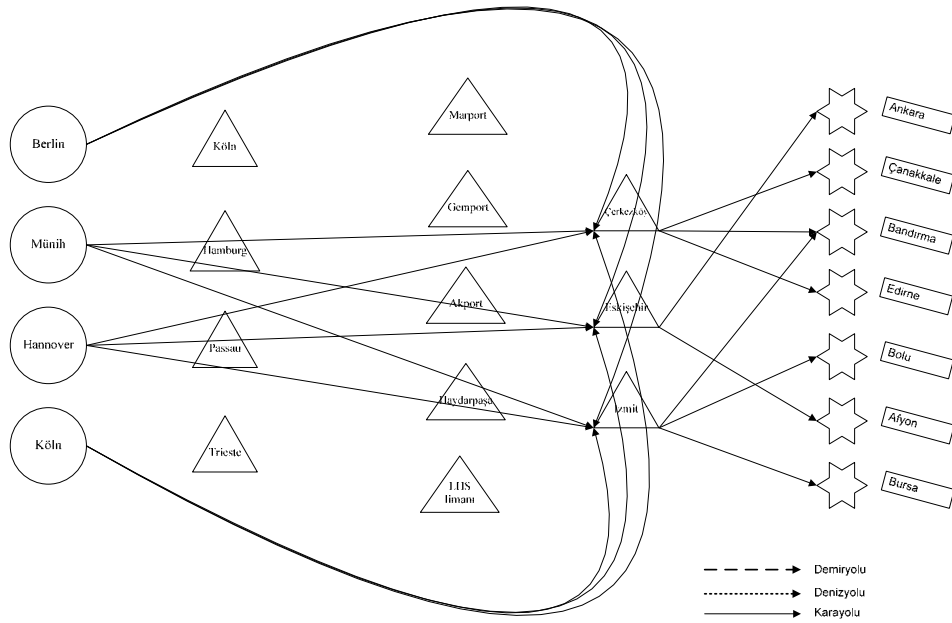
Şekil 6.16 Yatırım ve işletme maliyetlerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Taşıma, aktarma ve depolama sürelerinin tamamını minimize eden 6. amaca göre çözümde, aktarma ve depolama maliyetlerinin minimizasyonu amacının çözümüne benzer bir sonuçla karşılaşılmaktadır (Şekil 6.17). Buna göre, 4 üretim tesisinin her birinden yerel depoların her birine karayolu ile direkt taşımalar gerçekleşmekte ve yerel depolardan da talep noktalarına yine karayolu ile taşımaya devam edilmektedir. Sonuç olarak taşıma ağı içerisindeki taşımalar 2 aşamada tamamlanmaktadır. 2. aşama aktarma noktaları arasında liman yatırımı yapılmamakta, buna karşılık yerel depoların her üçü de kullanıma açılmaktadır.



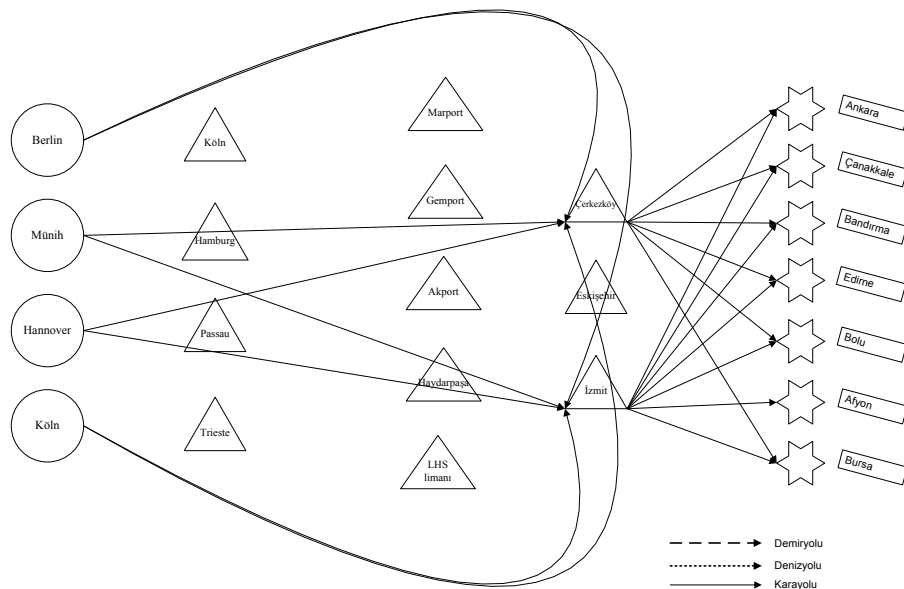
Şekil 6.17 Toplam sürenin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Sadece taşıma maliyetlerini minimize etmeye çalışan 7. amacın çözümü sonucundaki taşıma ağının yapısı, 6. amaçtaki gibi iki aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 6.18). Bununla birlikte aktarma ve depolama sürelerinin uzunluğu ile ilgilenilmediğinden, bu sürelerinin artması pahasına taşıma süreleri minimuma inecek şekilde taşıma miktarlarında değişiklik gerçekleşmektedir. Bu amaca göre de tüm yerel depolar açılmakta fakat liman yatırımı yapılmamaktadır.



Şekil 6.18 Taşıma sürelerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Son amaç fonksiyonu olan aktarma ve depolama sürelerinin minimizasyonuna göre model çözdürüldüğünde ise taşıma sürelerinin ve dolayısı ile toplam sürenin artmasına karşılık aktarma ve depolama sürelerinde, diğer durumlara göre düşüş görülmektedir (Şekil 6.19). Aktarma sayısı da minimuma indirilerek üretim tesislerinden yerel depolara ve oradan da talep noktalarına taşımalar gerçekleştirilmektedir. Yine liman açılmamakta, fakat yerel depoların tamamı açılmaktadır.



Şekil 6.19 Aktarma ve depolama sürelerinin minimize edilmesi sonucu gerçekleşen taşımlar

6.7 Çok Seviyeli Modelin Bulanık Programlama ile Çözülmesi

Amaç fonksiyonlarının ayrı ayrı çözdürülmesinin ardından, modelin çok seviyeli bulanık programlama yaklaşımı ile çözümü aşamasına geçilebilir. Öncelikle, her amacın üyelik fonksiyonlarını oluşturabilmek için amaç fonksiyonlarının alabileceği en iyi ve en kötü değerleri belirlemek gerekmektedir. Bu sebeple, her amaç fonksiyonunun çözülmesi ile elde edilen karar değişkeni değerleri diğer fonksiyonlarda yerine konularak Çizelge 6.18 elde edilir.

Çizelge 6.18 Farklı karar değişkenleri değerleri için amaç fonksiyonlarının aldıkları değerler

		Amaç Fonk. 1	Amaç Fonk. 2	Amaç Fonk. 3	Amaç Fonk. 4
Amaç Fonk 1	Mod etkinliği	518,131.80	465,213.36	449,097.84	180,339.20
Amaç Fonk 2	Toplam maliyet	263,932,994.93	227,104,058.88	228,187,951.37	269,793,897.89
Amaç Fonk 3	Taşıma maliyetleri toplamı	222,234,097.96	196,343,431.64	194,722,537.97	258,626,772.56
Amaç Fonk 4	Aktarma ve depolama maliyetleri toplamı	35,728,896.98	24,790,627.25	27,495,413.39	5,197,125.33
Amaç Fonk 5	Tesis açma maliyetleri toplamı	5,970,000.00	5,970,000.00	5,970,000.00	5,970,000.00
Amaç Fonk 6	Toplam süre	140,562,750.00	126,132,540.00	128,325,000.00	31,702,400.00
Amaç Fonk 7	Taşıma süreleri toplamı	76,680,750.00	71,893,500.00	75,726,500.00	20,894,400.00
Amaç Fonk 8	Aktarma ve istifleme süreleri toplamı	63,882,000.00	54,239,040.00	52,598,500.00	10,808,000.00
		Amaç Fonk. 5	Amaç Fonk. 6	Amaç Fonk. 7	Amaç Fonk. 8
Amaç Fonk 1	Mod etkinliği	380,040.40	180,339.20	180,339.20	180,339.20
Amaç Fonk 2	Toplam maliyet	250,496,246.20	260,499,677.23	262,363,968.83	265,983,512.77
Amaç Fonk 3	Taşıma maliyetleri toplamı	226,681,286.84	248,918,413.14	250,650,082.87	254,730,492.54
Amaç Fonk 4	Aktarma ve depolama maliyetleri toplamı	23,814,959.36	5,611,264.09	5,743,885.96	5,283,020.22
Amaç Fonk 5	Tesis açma maliyetleri toplamı	0.00	5,970,000.00	5,970,000.00	5,970,000.00
Amaç Fonk 6	Toplam süre	103,960,900.00	30,525,190.00	30,587,350.00	31,606,100.00
Amaç Fonk 7	Taşıma süreleri toplamı	63,184,100.00	19,589,990.00	19,564,550.00	20,798,100.00
Amaç Fonk 8	Aktarma ve istifleme süreleri toplamı	40,776,800.00	10,935,200.00	11,022,800.00	10,808,000.00

Çizelge 6.18'in satırlarında bulunan kalın yazılmış değerler, karşılık gelen amaç fonksiyonunun optimum değerini göstermektedir. Bu optimum değerlerle her bir satırın en kötü değeri arasındaki fark üzerinden amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. İlk aşamada karar değişkenleri için ayrıca tolerans değerleri belirlemeden ve herhangi bir dengeleme operatörü kullanmadan maks-min operatörü ile çözüm aranmıştır. Modelin kodlanması ve çözümü GAMS 21.6 paket programı ile yapılmıştır. Program kodları Ek 7'de verilmiştir.

Elde edilen çözümde, tüm üretim tesislerinden, Köln hariç tüm 1. aktarma noktalarına demiryolu taşıması yapılmaktadır (Çizelge 6.19). 1. 3. ve 4. tip ürünlerin tamamı ve 5. tip ürünün bir kısmı Trieste Limanına ve 2. tip üründe Hamburg Limanı ile Passau Demiryolu istasyonuna taşınmaktadır.

Çizelge 6.19 Üretim tesisleri ile 1. aktarma noktaları arasındaki taşımlar

Üretim Tesisi	Ürün	Taşıma modu	1. Aktarma noktaları				Toplam
			Köln	Hamburg	Passau	Trieste	
(1) Berlin	2	Kara	0	0	0	0	0
		Demir	0	8401.108	20107.714	0	28508.822
(2) Münih	1	Kara	0	0	0	0	0
		Demir	0	0	0	111560	111560
	5	Kara	0	0	0	0	0
		Demir	0	0	17800	14200	32000
(3) Hannover	3	Kara	0	0	0	0	0
		Demir	0	0	0	54000	54000
(4) Köln	4	Kara	0	0	0	0	0
		Demir	0	0	0	72000	72000
Toplam			0	8401.108	37907.714	251760	298.068.82

Ayrıca 1. ve 2. tesislerden İzmit yerel deposuna karayolu ile direkt taşımlar gerçekleştirilmektedir. Fakat Çizelge 6.20’den de görüldüğü gibi buradaki miktarlar toplam taşımların küçük bir kısmını oluşturmaktadır.

Çizelge 6.20 Üretim tesisleri ile yerel depolar arasındaki taşımlar

Üretim Tesis	Ürün	Taşıma modu	Yerel Depolar			Toplam
			Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	
(1) Berlin	2	Kara	0	0	51491.178	51491.18
(2) Münih	1	Kara	0	0	36443.071	36443.07
Toplam			0	0	87934.249	87934.25

2. aşama aktarma noktalarından biri olan Haydarpaşa’ya, Avusturya’dan demiryoluyla taşıma ve Hamburg ve Trieste’den ise Gempport ve Marport’a denizyoluyla taşımlar yapılmaktadır (Çizelge 6.21).

Çizelge 6.21 1. aktarma noktaları ile 2. aktarma noktaları arasındaki taşımlar

1. Aktarma noktaları	Ürün	Taşıma modu	2. Altarma noktaları					Toplam
			Marport	Gemlik	Akport	Haydarpaşa	LHS Limanı	
(2)Hamburg Limanı	2	Demir	0	0	0	0	0	0
		Deniz	0	8401.108	0	0	0	8401.108
(3) Passau Demiryolu İst.	2	Demir	0	0	0	20107.714	0	20107.71
		Deniz	0	0	0	0	0	0
	5	Demir	0	0	0	17800	0	17800
		Deniz	0	0	0	0	0	0
(4) Trieste limanı	1	Demir	0	0	0	0	0	0
		Deniz	33453.984	78102.946	0	0	0	111556.9
	3	Demir	0	0	0	0	0	0
		Deniz	33200	20800	0	0	0	54000
	4	Demir	0	0	0	0	0	0
		Deniz	49800	22200	0	0	0	72000
	5	Demir	0	0	0	0	0	0
		Deniz	10800	3400	0	0	0	14200
		Toplam	127253.984	132904.054	0	37907.714	0	298065.8

LHS işletmenin Tekirdağ'da kendi liman yatırımını gerçekleştirmesi fizibil olarak bulunmamıştır. Sadece İzmit'te bir yerel deponun açılması ve 2. aktarma istasyonlarından taşınacak yüklerin bir kısmının bu depo üzerinden (Çizelge 6.22) ve diğer kısmının ise direkt olarak talep noktalarına (Çizelge 6.23) karayolu ile gönderilmesi uygun görülmüştür. İzmit'teki yerel depodan talep noktalarına yapılan taşımalar da Çizelge 6.24'de gösterilmiştir. Tüm bu taşımalar Şekil 6.20'de mod bazında ayrılarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.22 2. aktarma noktaları ile yerel depolar arasındaki taşımalar

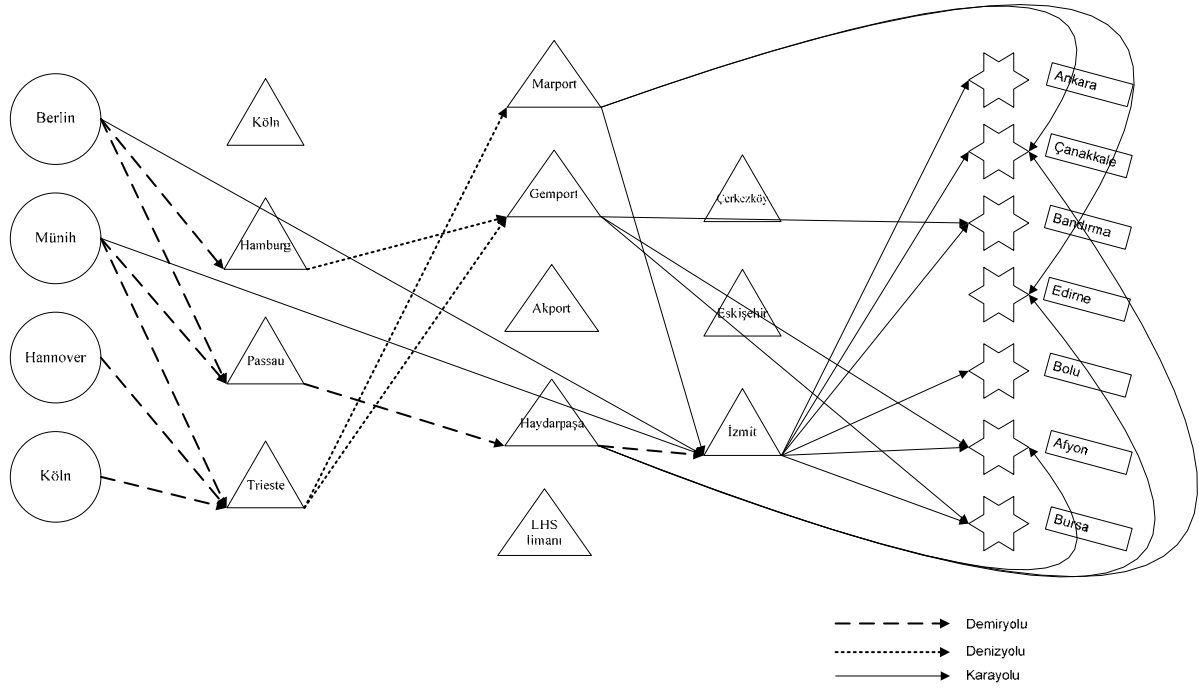
2. Aktarma noktaları	Ürün	Taşıma modu	Yerel Depolar			Toplam
			Çerkezköy	Eskişehir	İzmit	
Marport	1	Kara	0	0	19853.984	19853.98
	3	Kara	0	0	27600	27600
	4	Kara	0	0	49200	49200
Haydarpaşa	5	Kara	0	0	0	0
		Demir	0	0	17800	17800
		Toplam	0	0	114453.984	114454

Çizelge 6.23 2. aktarma noktaları ile talep noktaları arasındaki taşımalar

2. Aktarma noktaları	Ürün	Taşıma modu	Talep Noktaları							Toplam
			Ankara	Çanakkale	Bandırma	Edirne	Bolu	Afyon	Bursa	
Marport	1.ürün	Kara	0	0	0	13600	0	0	0	13600
	3.ürün	Kara	0	5600	0	0	0	0	0	5600
	4.ürün	Kara	0	0	0	600	0	0	0	600
	5.ürün	Kara	0	0	0	10800	0	0	0	10800
Gemlik	1.ürün	Kara	0	0	18400	0	0	26502.946	33200	78102.95
	2.ürün	Kara	0	0	0	0	0	0	8401.108	8401.108
	3.ürün	Kara	0	0	15400	0	0	0	5400	20800
	4.ürün	Kara	0	0	10800	0	0	0	11400	22200
	5.ürün	Kara	0	0	0	0	0	0	3400	3400
Haydarpaşa	2.ürün	Kara	0	10000	0	8000	0	2107.714	0	20107.71
Toplam			0	15600	44600	33000	0	28610.66	61801.108	183611.8

Çizelge 6.24 Yerel depolar ile talep noktaları arasındaki taşımalar

Yerel depolar	Ürün	Taşıma modu	Talep Noktaları							Toplam
			Ankara	Çanakkale	Bandırma	Edirne	Bolu	Afyon	Bursa	
İzmit	1.ürün	Kara	28000	0	0	0	26000	2297.054	0	56297.054
	2.ürün	Kara	6000	0	12000	0	24000	3892.286	5598.892	51491.178
	3.ürün	Kara	1200	0	0	0	13000	13400	0	27600
	4.ürün	Kara	12200	8600	0	0	20000	8400	0	49200
	5.ürün	Kara	2400	0	0	0	14400	1000	0	17800
Toplam			49800	8600	12000	0	97400	28989.34	5598.892	202388.232



Şekil 6.20 Taşımacılık ağı probleminin bulanık programlama ile çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Elde edilen çözümdeki genel tatmin seviyesi 0.548 olarak bulunmuş ve amaç fonksiyonlarının aldıkları değerler ve tatmin seviyeleri Çizelge 6.25’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.25 Maks-min operatörü ile çok seviyeli modelin çözümü

	Amaç fonksiyonunun aldığı değer	Tatmin seviyesi %
Amaç Fonk 1	365440	0.548
Amaç Fonk 2	243460000	0.617
Amaç Fonk 3	223610000	0.548
Amaç Fonk 4	18998000	0.548
Amaç Fonk 5	855000	0.857
Amaç Fonk 6	69768000	0.643
Amaç Fonk 7	34969000	0.730
Amaç Fonk 8	34799000	0.548

6.8 Çok Seviyeli Bulanık Modelin Dengeleme Operatörü Kullanılarak Çözülmesi

Genel tatmin seviyesi baz alınarak, en az seviyede tatmin olan amaç fonksiyonunun maksimize edilmesi üzerinde duran çözümün bazı sakıncalarını ortadan kaldırmak için dengeleyici bütünleştirme operatörü kullanılarak, model tekrar çözdürülmüştür. Bu aşamada çözüm yaklaşımı bölümünde detayları anlatılmış olan Werner’in μ_{ve} operatörü kullanılmıştır. Bu operatörün kullanılması ile birlikte hem en kötü durumdaki amaç fonksiyonu hem de tüm

amaç fonksiyonları kendi kendilerine daha dengeli şekilde tatmin olmaya çalışmaktadırlar. μ_{ve} ve μ_{veya} operatörleri ile elde edilen bütünleştirilmiş amaç fonksiyonlarının değerleri iki ayrı uç noktayı temsil etmektedir. Bununla birlikte, bu operatörlerin içinde bulunan γ operatörünün alacağı değerlere göre bulunan sonuçlar da farklılık gösterecektir. γ 'nın 1'e yaklaştığı değerlerde serbestlik azalacak ve tüm amaçlar içinde en az tatmin olanının yukarı çekilebilmesi adına diğer amaçların tatmin seviyesinden ödün verilecektir. γ 'nın 0'a yaklaştığı durumlarda ise tüm amaçların tatmin seviyelerinin ortalamasının yükseltilmesi ağırlık kazanacak ve gerekirse içlerinden bir veya bir kısmının tatmin düzeyini 0'a indirmek pahasına ortalama tatmin seviyesi maksimize edilecektir.

Taşımacılık ağı uygulaması açısından bakılacak olursa, bir önceki bölümde bulunan 0.548'lik tatmin seviyesi aslında, mod etkinliği, taşıma maliyetleri, aktarma maliyetleri ve aktarma sürelerinin de tatmin seviyesidir. Fakat bazı amaçların elde edeceği tatmin seviyesinin 0.548'in altına düşmesine izin verilerek, diğer amaçlarda daha büyük oranda tatmin seviyesi artışı sağlanabilir. Bu sebeple, Werner'in dengeleme operatörü kullanılarak ve γ 'ya 0 ile 1 arasında değerler verilerek Çizelge 6.26'da görülen sonuçlar elde edilmiştir.

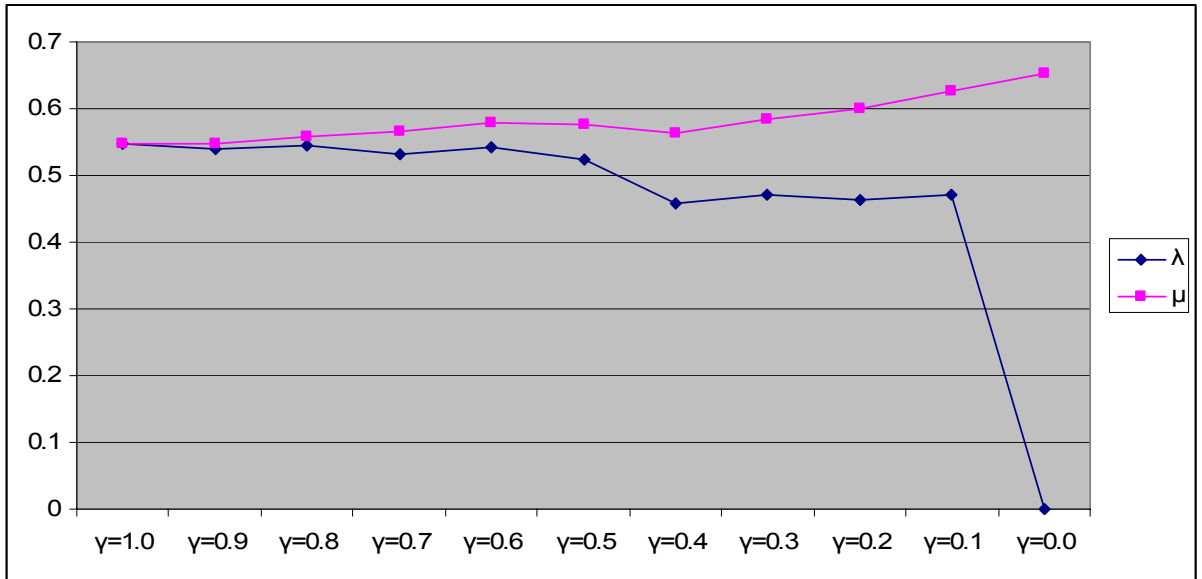
Çizelge 6.26 Werner'in μ_{ve} operatöründe farklı γ değerleri ile elde edilen sonuçlar

	$\gamma=0$	$\gamma=0.1$	$\gamma=0.2$	$\gamma=0.3$	$\gamma=0.4$
Amaç fonk. 1	212,890.00	375,180.00	369,760.00	376,280.00	372,240.00
Amaç fonk. 2	250,440,000.00	237,740,000.00	238,740,000.00	241,020,000.00	238,500,000.00
Amaç fonk. 3	241,630,000.00	216,360,000.00	218,800,000.00	219,650,000.00	217,530,000.00
Amaç fonk. 4	6,981,200.00	21,381,000.00	19,942,000.00	21,373,000.00	20,975,000.00
Amaç fonk. 5	1,825,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amaç fonk. 6	38,760,000.00	78,153,000.00	80,459,000.00	77,077,000.00	80,165,000.00
Amaç fonk. 7	23,308,000.00	39,353,000.00	41,132,000.00	38,777,000.00	40,547,000.00
Amaç fonk. 8	15,452,000.00	38,800,000.00	39,327,000.00	38,300,000.00	39,618,000.00
μ_1	0.096	0.577	0.561	0.58	0.568
μ_2	0.453	0.751	0.727	0.674	0.733
μ_3	0.266	0.661	0.623	0.61	0.643
μ_4	0.942	0.47	0.517	0.47	0.483
μ_5	0.694	1	1	1	1
μ_6	0.925	0.567	0.546	0.577	0.549
μ_7	0.934	0.654	0.622	0.664	0.633
μ_8	0.912	0.473	0.463	0.482	0.457
λ	0	0.47	0.463	0.47	0.457
μ_{ve}	0.653	0.627	0.599	0.584	0.563

Çizelge 6.26 Werner'in μ_{ve} operatöründe farklı γ değerleri ile elde edilen sonuçlar (devamı)

	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 1	357,350.00	362,990.00	360,100.00	364,130.00	362,320.00
Amaç fonk. 2	243,160,000.00	243,230,000.00	241,710,000.00	244,800,000.00	244,340,000.00
Amaç fonk. 3	222,580,000.00	223,510,000.00	221,370,000.00	223,860,000.00	224,200,000.00
Amaç fonk. 4	19,729,000.00	18,870,000.00	19,481,000.00	19,117,000.00	19,281,000.00
Amaç fonk. 5	855,000.00	855,000.00	855,000.00	1,825,000.00	855,000.00
Amaç fonk. 6	68,589,000.00	68,919,000.00	67,653,000.00	65,382,000.00	70,008,000.00
Amaç fonk. 7	33,809,000.00	33,735,000.00	33,088,000.00	31,207,000.00	34,718,000.00
Amaç fonk. 8	34,780,000.00	35,184,000.00	34,565,000.00	34,176,000.00	35,289,000.00
μ_1	0.524	0.541	0.532	0.544	0.539
μ_2	0.624	0.622	0.658	0.585	0.596
μ_3	0.564	0.55	0.583	0.544	0.539
μ_4	0.524	0.552	0.532	0.544	0.539
μ_5	0.857	0.857	0.857	0.694	0.857
μ_6	0.654	0.651	0.663	0.683	0.641
μ_7	0.751	0.752	0.763	0.796	0.735
μ_8	0.548	0.541	0.552	0.56	0.539
λ	0.524	0.541	0.532	0.544	0.539
μ_{ve}	0.577	0.578	0.565	0.559	0.547

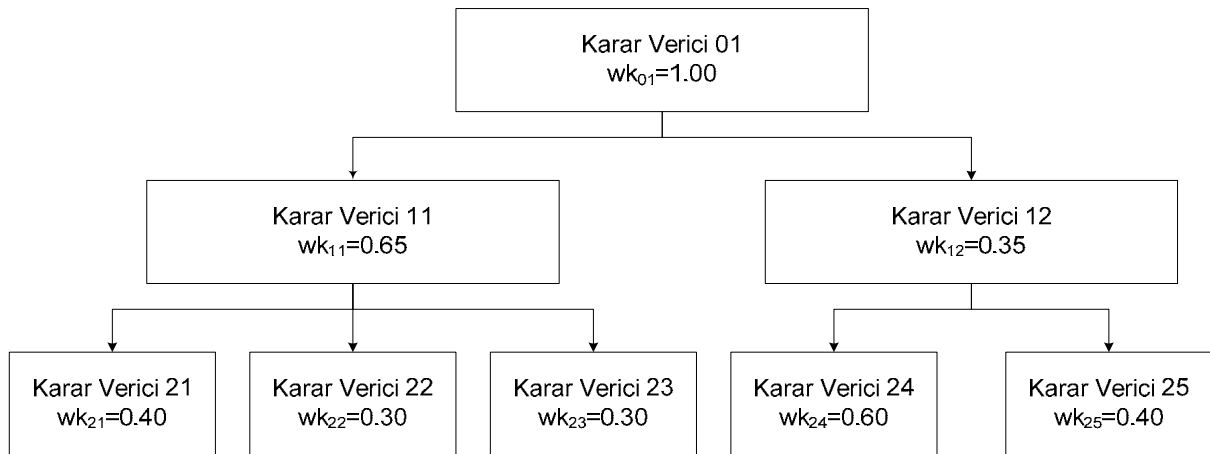
γ 'nın tam 1 değerini alması durumunda tüm amaçların ve karar değişkenlerinin aldıkları değerler, maks-min operatörüne göre elde edilen sonuçlarla aynı olduğundan tabloya eklenmemiştir. Şekil 6.21'de görüldüğü gibi γ 'nın azalmasıyla, genel olarak μ_{ve} değerinde artış ve λ değerinde ise azalış görülmektedir.

Şekil 6.21 γ 'daki değişim sonucu λ ve μ_{ve} 'nin aldığı değerlerdeki değişim

Bu noktada, LHS işletmedeki karar verici veya karar vericilerin inisiyatifine kalan farklı çözüm alternatifleri elde edilmiştir. Belirli oranlarda tatmin olmuş farklı amaç fonksiyonlarına sahip karar vericiler bir araya gelerek fikirlerini ortaya koyabilirler. Sonuç olarak organizasyon içerisinde hiyerarşik olarak üst seviyelerde bulunan karar vericiler kendi amaçlarının tatmin düzeyinden ve hiyerarşik olarak kendi altlarında bulunan karar vericilerin amaçları ile ilgili tatmin düzeyinden genel olarak memnun oldukları bir çözüm üzerinde uzlaşabiliyorlarsa sonuca ulaşılmış demektir. Fakat herhangi bir çözümün en uygun çözüm olduğu üzerinde anlaşılamiyorsa bu durumda her karar vericinin hiyerarşik olarak kendi altında bulunan karar vericilerin amaçlarını ağırlıklandığı etkileşimli aşamaya geçilir. Tez kapsamında sunulan bu uygulamada da tarafların anlaşamadığı ve bir sonraki aşamaya geçildiği kabul edilmiştir.

6.9 Çok Seviyeli Bulanık Modelin Çözümüne Etkileşimli Yaklaşım

Bu aşamada, organizasyon hiyerarşisinin en üstünde bulunan ve taşıma modlarından maliyet ve sürelerle birlikte birçok kriter açısından en uygununun kullanımına teşvik eden karar verici bir alt kademesindeki karar vericilerin amaçlarını ağırlıklandırmaktadır. Bu seviyede de tüm maliyetleri minimize etmeye çalışan operasyonel işlerden sorumlu karar verici ve müşteriye yükünü en kısa zamanda ulaştırmayı hedefleyen pazarlama işlerinden sorumlu kişi bulunmaktadır. Bu iki karar verici de kendilerine bağlı olarak çalışan sırasıyla 3 ve 2 adet karar vericinin amaçlarını ağırlıklandırmaktadır. Bu aşamada AHS ya da benzer bir “çok kriterli karar verme” aracı kullanılabilir. Her bir karar vericinin bir alt seviyesi için verdiği ağırlıklar (w_k) Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22 Organizasyondaki karar vericilerin amaçlar için belirledikleri ağırlıklar

Her bir amacın genel ağırlıkları, karar vericilerin atadıkları ağırlıkların kendi üzerindeki amaçların ağırlıkları ile çarpımı sonucunda belirlenir. Buna göre; $wk_{01}=1.0$, $wk_{11}=1.0*0.65$, $wk_{12}=1.0*0.35$, $wk_{21}=0.65*0.40=0.26$, $wk_{22}=0.65*0.30=0.195$, $wk_{23}=0.65*0.30=0.195$, $wk_{24}=0.35*0.60=0.21$ ve $wk_{25}=0.35*0.40=0.14$ değerleri bulunur. Bu ağırlıklar her bir amaçla ilgili üyelik fonksiyonlarında sağ tarafa çarpan olarak eklenir (6.1). Bu sayede ağırlığı düşük olan amaçlarının sağlanması gereken üyelik değeri daha düşük, ağırlığı yüksek olanların üyelik değeri ise daha yüksek olmalıdır.

$$[f_{ij}(\bar{x}) - f_{ij}^A] / [f_{ij}^U - f_{ij}^A] \geq wk_{ij}(\lambda + \lambda_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \quad (6.1)$$

Üyelik fonksiyonlarına eklenen wk_{ij} katsayısı, modelin bütünlüğünü bozmamak ve doğru sonuçlar elde edebilmek için (6.2) kısıtları da eklenmelidir.

$$wk_{ij}(\lambda + \lambda_{ij}) \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \quad (6.2)$$

Bu koşullar altında model tekrar çözdürüldüğünde Çizelge 6.27'deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 6.27 Farklı γ dengeleme değerleri için ağırlıklandırılmış çok amaçlı model sonuçları

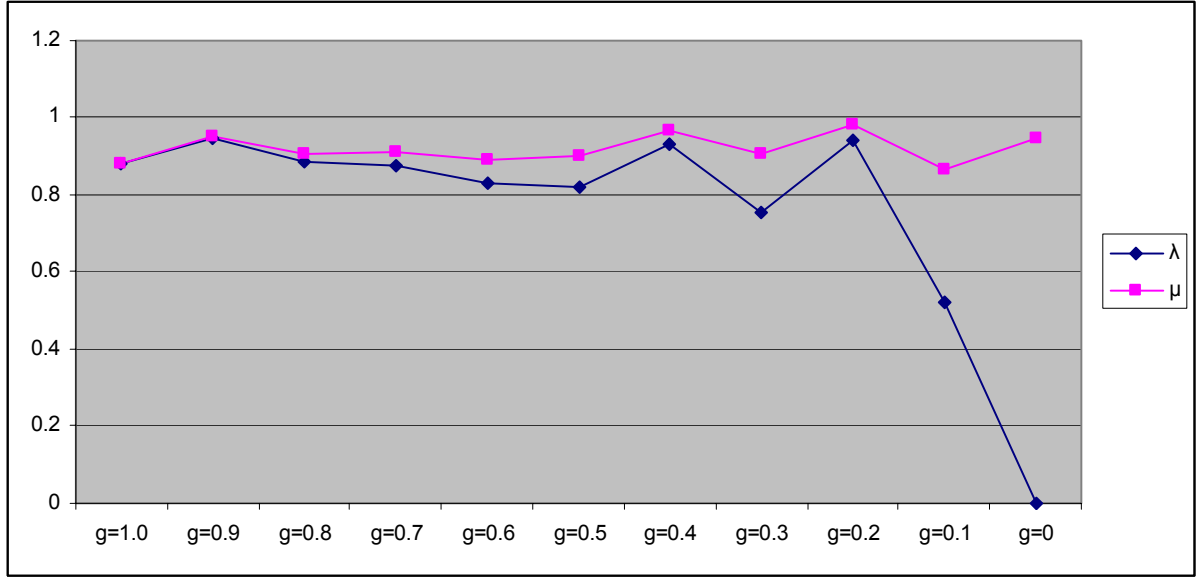
	$\gamma=0$	$\gamma=0.1$	$\gamma=0.2$	$\gamma=0.3$	$\gamma=0.4$
Amaç fonk. 1	371,790.00	356,240.00	498,900.00	434,910.00	495,190.00
Amaç fonk. 2	242,050,000.00	250,090,000.00	242,050,000.00	242,050,000.00	242,050,000.00
Amaç fonk. 3	215,950,000.00	224,880,000.00	215,990,000.00	214,700,000.00	213,580,000.00
Amaç fonk. 4	26,091,000.00	25,210,000.00	24,234,000.00	26,487,000.00	26,637,000.00
Amaç fonk. 5	0.00	0.00	1,825,000.00	855,000.00	1,825,000.00
Amaç fonk. 6	105,040,000.00	105,610,000.00	97,020,000.00	104,620,000.00	119,110,000.00
Amaç fonk. 7	64,686,000.00	62,855,000.00	40,909,000.00	56,170,000.00	63,045,000.00
Amaç fonk. 8	40,352,000.00	42,750,000.00	56,111,000.00	48,446,000.00	56,061,000.00
μ_1	0.567	0.521	0.943	0.754	0.932
μ_2	0.65	0.462	0.65	0.65	0.65
μ_3	0.668	0.528	0.667	0.687	0.705
μ_4	0.316	0.345	0.377	0.303	0.298
μ_5	1	1	0.694	0.857	0.694
μ_6	0.323	0.318	0.396	0.327	0.195
μ_7	0.21	0.242	0.626	0.359	0.239
μ_8	0.443	0.398	0.146	0.291	0.147
λ	0	0.521	0.943	0.754	0.932
μ_{ve}	0.946	0.866	0.983	0.905	0.968

Çizelge 6.27 Farklı γ dengeleme değerleri için ağırlıklandırılmış çok amaçlı model sonuçları
(devamı)

	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 1	457,750.00	460,410.00	476,890.00	479,620.00	500,340.00
Amaç fonk. 2	237,860,000.00	240,790,000.00	242,050,000.00	239,740,000.00	243,510,000.00
Amaç fonk. 3	212,340,000.00	212,560,000.00	213,400,000.00	210,860,000.00	214,380,000.00
Amaç fonk. 4	24,666,000.00	27,368,000.00	27,791,000.00	28,023,000.00	27,297,000.00
Amaç fonk. 5	855,000.00	855,000.00	855,000.00	855,000.00	1,825,000.00
Amaç fonk. 6	112,520,000.00	102,270,000.00	119,110,000.00	118,790,000.00	109,130,000.00
Amaç fonk. 7	60,186,000.00	49,588,000.00	62,880,000.00	61,904,000.00	52,290,000.00
Amaç fonk. 8	52,337,000.00	52,679,000.00	56,225,000.00	56,882,000.00	56,843,000.00
μ_1	0.821	0.829	0.878	0.886	0.947
μ_2	0.748	0.679	0.65	0.704	0.616
μ_3	0.724	0.721	0.708	0.747	0.692
μ_4	0.362	0.274	0.26	0.252	0.276
μ_5	0.857	0.857	0.857	0.857	0.694
μ_6	0.255	0.348	0.195	0.198	0.286
μ_7	0.289	0.474	0.242	0.259	0.427
μ_8	0.218	0.211	0.144	0.132	0.133
λ	0.821	0.829	0.878	0.886	0.947
μ_{ve}	0.899	0.889	0.91	0.904	0.951

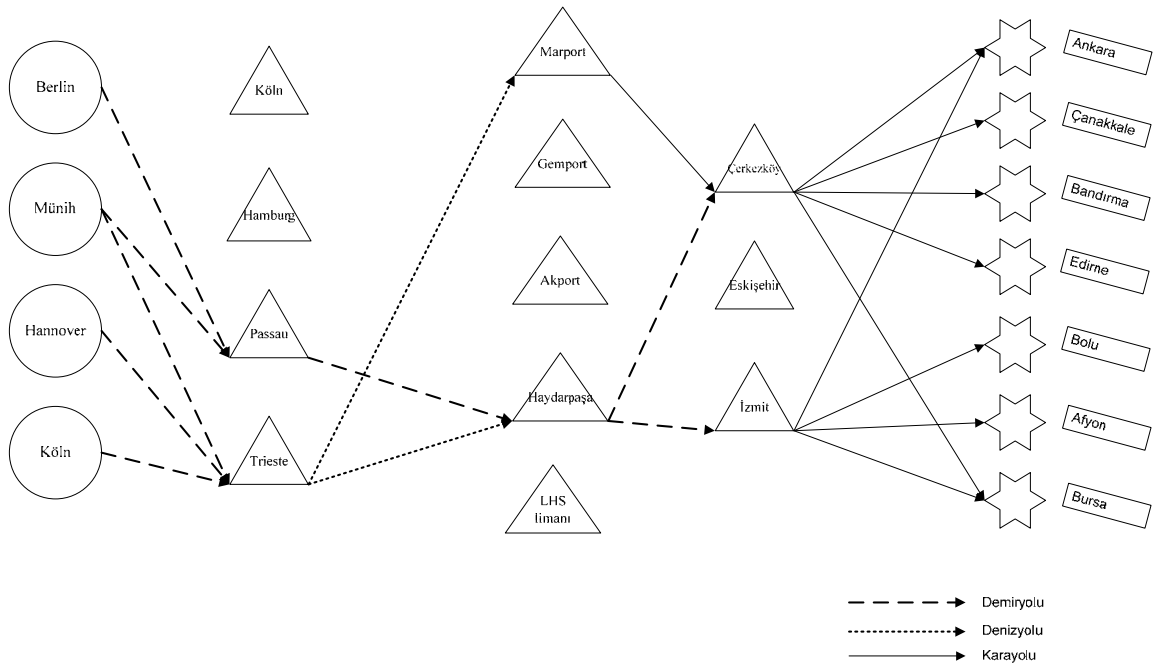
Modelin bu halinde ağırlığı fazla olan amaçların tatmin seviyesi de aynı oranda artırılmaya çalışılacaktır. Dolayısıyla üst düzey karar vericilerin tatmin seviyesi alt düzey karar vericilere göre daha yüksek olacaktır. Bununla birlikte karar değişkenlerinin aldıkları değerler sonucunda alt seviyelerdeki amaçların bazılarının tatmin seviyeleri genel ortalamayı daha fazla artırıyorsa, üst amaçlardan daha fazla bir tatmin seviyesine ulaşabilirler.

Şekil 6.23’de görüldüğü gibi tüm amaç fonksiyonları için genel tatmin düzeyi, $\gamma=0.2$ değerini aldığı durumda 0.983 ile maksimum düzeye ulaşmaktadır. γ ’nın farklı değerlerine bakıldığında da genel tatmin düzeyinin yüksek olduğu ve 0.86’nın altına düşülmediği görülmektedir. Bunun sebebi ise amaçların bir kısmının ağırlığı düştüğünden sonuç üzerindeki etkisinin de düşmesi ve sonucun ağırlığı yüksek ve daha az sayıdaki amaç tarafından yönlendirilmesidir. Bu yüksek ağırlıklı amaçlar tatmin olduğunda, modelin genel tatmin düzeyi de yükselmektedir.



Şekil 6.23 γ 'daki değişim sonucu ağırlıklandırılmış modelin λ ve μ_{ve} değerlerindeki değişim

Genel tatmin düzeyi γ 'nın 0.2'ye eşit olduğu durumda, taşımaların ilk aşaması üretim tesislerinden Passau ve Trieste aktarma noktalarına demiryolu ile gerçekleştirilmektedir. Ancak 214040 adetle taşımaların yarısından fazlası, devamında yine demiryolu ile Haydarpaşa'ya taşınmak üzere Passau'ya ve kalanı ise devamında denizyolu ile Marport ve Haydarpaşa'ya taşınmak üzere Trieste'ye gönderilmektedir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 Taşımacılık ağı probleminin ağırlıklandırılmış bulanık programlama ile çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

2. aktarma istasyonları arasında da en yüksek oranlı taşımalar yaklaşık 320000 adet ürün ile Haydarpaşa'dan, kalan miktar ise Marport üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu aşama için LHS işletmenin liman kurulumu olurlu çıkmamıştır. Yerel depolardan ise Çerkezköy ve İzmit bölgelerindeki iki deponun kurulumu kararı çıkmış ve talep noktalarına yapılacak taşımaların tamamının bu yerel depolar üzerinden karayolu ile yapılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

6.10 Etkileşimli Yaklaşım ile Uzlaşımçı Sonuca Varılması ve Prosedürün Sonlandırılması

Amaçların ağırlıklandırılmasıyla bir aşama daha ilerletilmiş olan çözüm prosedürü ile elde edilmiş sonuçlar yine karar vericilere sunulur ve sonuçlar arasında uzlaşımçı bir karara varılmaya çalışılır. Karar vericiler hala bir çözüm üzerinde karara varamamışlar ise, amaçların tekrar ağırlıklandırılması istenir. Bu etkileşimli prosedürün belirli sayıda tekrarı ile uzlaşımçı sonuca ulaşılması beklenir. Fakat bazı istisnai durumlarda karar vericilerin uzlaşamaması söz konusu olabilir. Bu takdirde prosedürün sonlandırılması adına (6.3) ya da (6.4) denklemlerinde gösterildiği gibi o ana kadar karar vericilerin m defa atadıkları ağırlıkların aritmetik veya geometrik ortalaması alınarak bulunan sonuçlar tüm karar vericiler tarafından kabul edilir.

$$wk_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m wk_{ij}^k \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \quad (6.3)$$

$$wk_{ij} = \left[\prod_{k=1}^m wk_{ij}^k \right]^{\frac{1}{m}} \quad i = 1, 2, \dots, b; \quad j = 1, 2, \dots, N_j \quad (6.4)$$

Tez kapsamında önerilen ve amaçların ağırlıkları ile orantılı üyelik fonksiyonlarına sahip modelle ilk aşamada bulunan sonuçların karar vericiler tarafından kabul edildiği varsayılmıştır. Prosedürü, farklı ağırlıklar verip yukarıda anlatıldığı gibi tekrarlamak yerine bazı senaryolar üzerinden çözümlerin genişletilmesine devam edilmiştir.

Önerilen modelin ağırlıklandırılmış hali mevcut durum ile kıyaslanacak olursa, yüklerin mevcut durumda üretim tesislerinden karayolu ile toplanarak Köln'e taşınması yerine demiryolu ile toplanarak Avusturya sınırındaki Passau demiryolu istasyonuna veya İtalya'daki Trieste Limanına getirilmesi tavsiye edilmektedir. Yine model, mevcut durumdaki Köln demiryolu istasyonu ile Türkiye'ye yapılan demiryolu taşımaya paralel bir sonuç vererek Passau Haydarpaşa arasını demiryolu ile taşımayı önermektedir. Bununla birlikte, modelin sonuçları Trieste'den denizyolu ile Türkiye'ye taşımaların da diğer bir alternatif

olarak dikkate alınmasını belirtmektedir. Türkiye içinde ise LHS işletmenin liman yatırımına gereksinim duymayacağı fakat iki farklı noktada yerel depo kurarak buralara demiryolu ile depolardan talep noktalarına ise karayolu ile taşımaların yapılması uygun olacaktır.

Eğer taşımalar mevcut durumda LHS'nin yaptığı gibi gerçekleştirilseydi, tüm üretim tesislerinden karayolu ile taşınan yükler Köln demiryolu istasyonuna taşınacaktı. Buradan da demiryolu uzun taşıması ile Haydarpaşa demiryolu istasyonuna getirileceklerdi. Son olarak, yükler karayolu ile talep noktalarına ulaştırılarak taşıma gerçekleştirilmiş olacaktı. Bu durumda amaçlar açısından oluşacak tatmin düzeyleri Çizelge 6.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.28 LHS'nin mevcut uygulamasına göre amaç fonksiyonları değerleri ve tatmin düzeyleri

LHS'nin mevcut uygulamasına göre amaç fonksiyonu değerleri	Amaçların tek çözümlerinden elde edilen optimum sonuçlar	Tatmin Seviyesi
405,375.20	518,131.80	0.782
1,000,402,600.90	227,104,058.88	0.227
969,733,678.10	194,722,537.97	0.201
28,843,922.80	5,197,125.33	0.180
1,825,000.00	0.00	0.000
143,196,060.00	30,525,190.00	0.213
82,884,920.00	19,564,550.00	0.236
60,311,140.00	10,808,000.00	0.179

Görüldüğü gibi tüm amaç fonksiyonlarının tatmin seviyeleri oldukça düşük düzeyde kalmakta ve ortalama tatmin seviyesi 0.252 olmaktadır. Tez içerisinde modelin farklı çözümlerinde ise bu tatmin seviyesi hiçbir zaman %54.8'in altına düşmemiştir. Dengeleme operatörü ve ağırlıklandırmalar yapıldığında tatmin seviyesi %90'ların üzerine çıkmıştır. Sonuç olarak, modelin etkin ve tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu tarz bir taşımacılık projesinde önerilen amaçlar dikkate alınır ise mevcut uygulamada değişiklikler yapılmalıdır.

6.11 Senaryo Analizleri

Önerilen model gerçek uygulamalarda karşılaşılabilecek farklı durumlara uyarlanabilir. Burada birkaç farklı durum ele alınarak modelin verdiği sonuçlar analiz edilmiştir. Bunlardan ilki amaç hiyerarşisinin en üstünde bulunan taşıma modu etkinliği amacının göz ardı edilmesidir. Bu amaç içerisinde taşıma modları birçok kalitatif ve kantitatif kritere göre değerlendirilmekteydi. Stratejik planlar çerçevesinde bunun gerekli olmasına rağmen, çoğu zaman sadece maliyet ve taşıma süreleri ile elde edilen optimizasyonlar dikkate alınabilmektedir. İlk senaryo ile bu durum dikkate alınmaktadır. İkinci senaryo ise model

içerisinde çeşitli aşamalarda bulunan kapasite kısıtlarının olmadığı varsayımına dayanmaktadır. Bu analizle, eğer kapasite problemleri olmasaydı taşımacılar için en uygun modların hangileri olacağı belirlenmektedir. Son senaryo ise aşamalar arasında özellikle uzun taşımalarda tercih edilen demiryolu modunun ülkeler arasındaki politik, askeri veya doğa ile ilgili herhangi bir sebepten dolayı gerçekleştirilemiyor olması durumunda nasıl bir sonucun ortaya çıkacağı ile ilgilidir.

6.11.1 Senaryo 1: Taşıma Modu Etkinliği Amacının Olmaması Durumu

Bu senaryo, dengeleme operatörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmamış modele uygulanmıştır. γ operatörünün 0 ile 1 değerleri arasında artırılması ile amaç fonksiyonlarının ve üyelik fonksiyonlarının aldıkları değerler Çizelge 6.29’da verilmiştir.

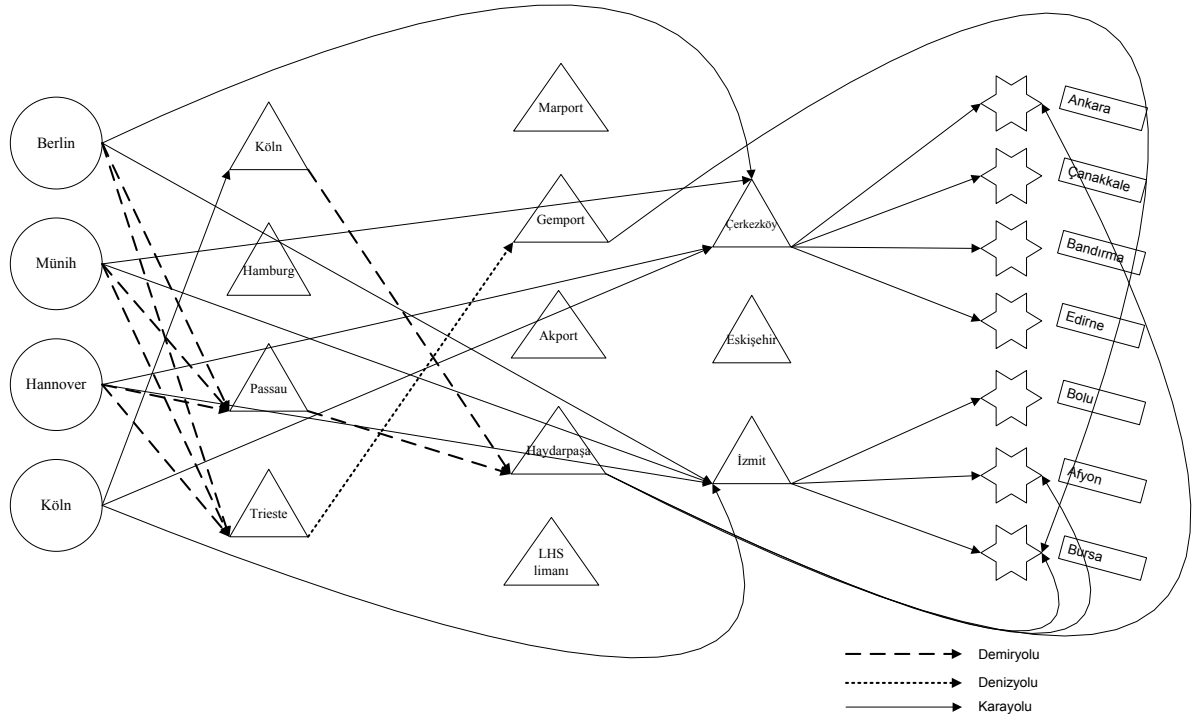
Çizelge 6.29 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 1’in sonuçları

	$\gamma=0$	$\gamma=0.1$	$\gamma=0.2$	$\gamma=0.3$	$\gamma=0.4$
Amaç fonk. 2	247,480,000.00	236,850,000.00	241,080,000.00	238,330,000.00	235,340,000.00
Amaç fonk. 3	237,060,000.00	221,560,000.00	224,880,000.00	223,070,000.00	220,350,000.00
Amaç fonk. 4	8,597,000.00	14,431,000.00	15,234,000.00	14,296,000.00	14,139,000.00
Amaç fonk. 5	1,825,000.00	855,000.00	970,000.00	970,000.00	855,000.00
Amaç fonk. 6	42,312,000.00	66,577,000.00	64,660,000.00	73,336,000.00	73,855,000.00
Amaç fonk. 7	25,026,000.00	35,188,000.00	34,782,000.00	44,732,000.00	41,765,000.00
Amaç fonk. 8	17,286,000.00	31,389,000.00	29,879,000.00	28,605,000.00	32,090,000.00
μ_2	0.523	0.772	0.673	0.737	0.807
μ_3	0.337	0.58	0.528	0.556	0.599
μ_4	0.848	0.586	0.55	0.592	0.599
μ_5	0.694	0.857	0.838	0.838	0.857
μ_6	0.893	0.672	0.69	0.611	0.606
μ_7	0.904	0.726	0.734	0.559	0.611
μ_8	0.878	0.612	0.641	0.665	0.599
λ	0.337	0.58	0.528	0.556	0.599
μ_{ve}	0.677	0.664	0.624	0.614	0.635
	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 2	235,880,000.00	234,940,000.00	238,270,000.00	235,770,000.00	235,110,000.00
Amaç fonk. 3	220,970,000.00	220,050,000.00	223,100,000.00	220,660,000.00	220,170,000.00
Amaç fonk. 4	14,052,000.00	14,036,000.00	14,196,000.00	14,249,000.00	14,078,000.00
Amaç fonk. 5	855,000.00	855,000.00	970,000.00	855,000.00	855,000.00
Amaç fonk. 6	73,845,000.00	74,049,000.00	73,733,000.00	75,068,000.00	73,229,000.00
Amaç fonk. 7	41,236,000.00	42,204,000.00	44,931,000.00	42,750,000.00	42,313,000.00
Amaç fonk. 8	32,609,000.00	31,845,000.00	28,803,000.00	32,317,000.00	30,916,000.00

Çizelge 6.29 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 1'in sonuçları (devamı)

	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
μ_2	0.794	0.816	0.738	0.797	0.813
μ_3	0.589	0.604	0.556	0.594	0.602
μ_4	0.603	0.604	0.596	0.594	0.602
μ_5	0.857	0.857	0.838	0.857	0.857
μ_6	0.606	0.604	0.607	0.595	0.612
μ_7	0.621	0.604	0.556	0.594	0.602
μ_8	0.589	0.604	0.661	0.595	0.621
λ	0.589	0.604	0.556	0.594	0.602
μ_{ve}	0.623	0.627	0.581	0.606	0.608

Sonuçlar göstermektedir ki, 1. amaç fonksiyonunun modelden çıkarılması genel tatmin seviyesi üzerinde rahatlatıcı bir etki sağlamıştır. En yüksek genel tatmin seviyesi olan 0.677 değerine (μ_{ve}), $\gamma=0$ iken ulaşılmıştır. 1. amacın da modelde bulunduğu normal çözümde bu tatmin seviyesi 0.653 idi. Bir amaç fonksiyonunun çıkarılması ile model üzerinde kendi açısından yaptığı olumlu, fakat diğer amaçlar açısından olumsuz olan etki ortadan kalkacaktır. Bu durumda da, kalan amaç fonksiyonları arasındaki genel tatmin seviyesinin artması doğal bir durum olacaktır.



Şekil 6.25 Taşımacılık ağı probleminin 1. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Çıkan sonuçlar açısından bakıldığında ise daha çok denizyolu ve demiryolu'nu kullanmaya teşvik eden 1. amaç kalktığında karayolu ile taşımaların miktarı artmakta ve üretim tesislerinden yerel depolara karayolu ile daha çok taşıma gerçekleşmektedir (Şekil 6.25).

6.11.2 Senaryo 2: Kapasite Kısıtlarının Olmadığı Durum

Dengeleme operatörü kullanılmış fakat ağırlıklandırılmamış modele uygulanan 2. senaryo ise 1. aktarma istasyonları, 2. aktarma istasyonları ve yerel depolar üzerinden taşınabilecek maksimum konteyner kapasiteleri kısıtının kaldırılmasıdır. Gerçek uygulamalarda, yerel depoların boyutları gereği ve aktarma istasyonları ile yapılan anlaşmalar gereği belirli kapasitelerin üzerine çıkmak mümkün olmayabilir. Buna karşın, model sonuçlarının eğer bu kısıtlama olmasaydı hangi aşamada hangi taşıma modunu kullanmaya meyilli olduğunu belirlemek adına bu senaryo hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.30 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 2'nin sonuçları

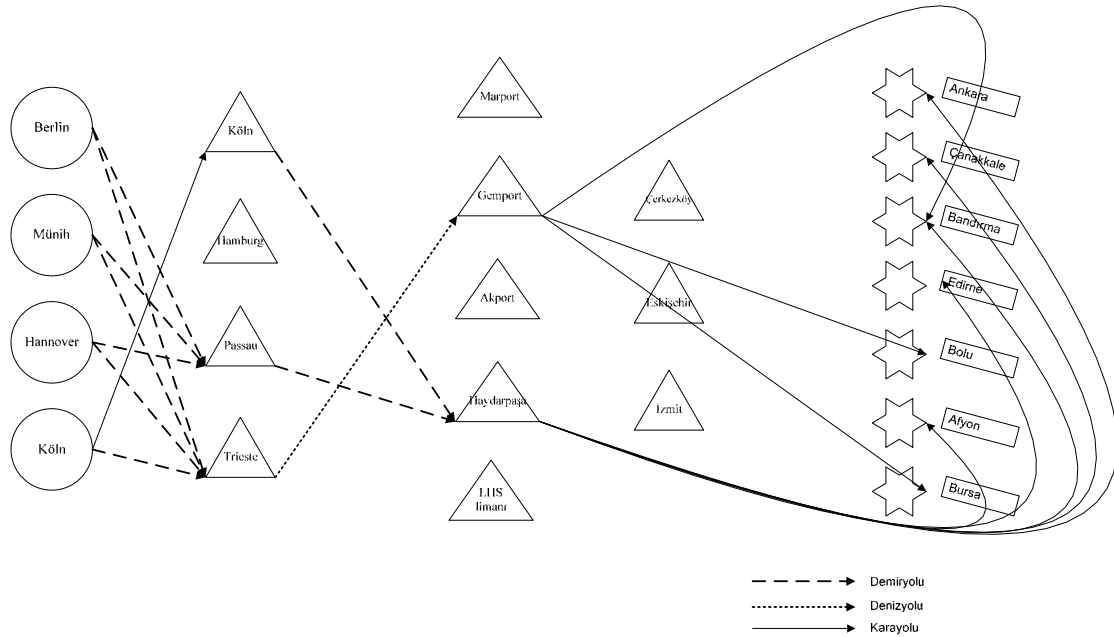
	$\gamma=0$	$\gamma=0.1$	$\gamma=0.2$	$\gamma=0.3$	$\gamma=0.4$
Amaç fonk. 1	360,250.00	374,270.00	332,430.00	378,900.00	375,080.00
Amaç fonk. 2	244,580,000.00	237,370,000.00	246,730,000.00	247,700,000.00	238,900,000.00
Amaç fonk. 3	222,170,000.00	216,330,000.00	227,800,000.00	225,710,000.00	217,800,000.00
Amaç fonk. 4	22,406,000.00	21,038,000.00	17,967,000.00	21,993,000.00	21,096,000.00
Amaç fonk. 5	0.00	0.00	970,000.00	0.00	0.00
Amaç fonk. 6	75,990,000.00	78,595,000.00	63,257,000.00	76,058,000.00	77,200,000.00
Amaç fonk. 7	38,004,000.00	39,666,000.00	32,213,000.00	37,536,000.00	38,759,000.00
Amaç fonk. 8	37,986,000.00	38,930,000.00	31,043,000.00	38,522,000.00	38,441,000.00
μ_1	0.533	0.574	0.45	0.588	0.577
μ_2	0.591	0.759	0.54	0.518	0.724
μ_3	0.57	0.662	0.482	0.515	0.639
μ_4	0.436	0.481	0.582	0.45	0.479
μ_5	1	1	0.838	1	1
μ_6	0.587	0.563	0.703	0.586	0.576
μ_7	0.677	0.648	0.779	0.685	0.664
μ_8	0.488	0.47	0.619	0.478	0.479
λ	0.436	0.47	0.45	0.45	0.479
μ_{ve}	0.681	0.672	0.589	0.557	0.577
	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 1	375,030.00	376,740.00	378,480.00	376,510.00	377,120.00
Amaç fonk. 2	240,420,000.00	240,500,000.00	243,220,000.00	248,060,000.00	247,790,000.00
Amaç fonk. 3	219,320,000.00	219,540,000.00	222,390,000.00	227,300,000.00	227,120,000.00
Amaç fonk. 4	21,097,000.00	20,962,000.00	20,827,000.00	20,761,000.00	20,674,000.00
Amaç fonk. 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 6.30 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 2'nin sonuçları (devamı)

	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 6	77,538,000.00	76,460,000.00	76,047,000.00	75,908,000.00	75,452,000.00
Amaç fonk. 7	39,090,000.00	38,247,000.00	38,070,000.00	38,045,000.00	37,751,000.00
Amaç fonk. 8	38,447,000.00	38,212,000.00	37,977,000.00	37,863,000.00	37,701,000.00
μ_1	0.576	0.581	0.587	0.581	0.583
μ_2	0.688	0.686	0.622	0.509	0.515
μ_3	0.615	0.612	0.567	0.49	0.493
μ_4	0.479	0.484	0.488	0.49	0.493
μ_5	1	1	1	1	1
μ_6	0.573	0.583	0.586	0.588	0.592
μ_7	0.658	0.673	0.676	0.676	0.682
μ_8	0.479	0.484	0.488	0.49	0.493
λ	0.479	0.484	0.488	0.49	0.493
μ_{ve}	0.556	0.545	0.53	0.513	0.504

Çıkan sonuçlara bakıldığında, $\gamma=0$ iken genel tatmin seviyesi (μ_{ve}) 0.681'e ulaşmıştır.

Gerçekleşen taşımalar açısından bakıldığında, dengeleme operatörü kullanılmayan duruma göre 1. aktarma noktalarından yine, Passau ve Trieste kullanılmakta fakat Passau'dan geçen miktar biraz daha artmaktadır. Buna karşılık 2. aktarma istasyonlarından da yine en çok Gemlik ve Haydarpaşa kullanılmakta, fakat her ikisinin de kullanım miktarı biraz düşmektedir.



Şekil 6.26 Taşımacılık ağı probleminin 2. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımalar

Dengeleme operatörünün kullanıldığı ve $\gamma=0$ değerini aldığı durumda ise, zaten aktarmalar minimum düzeyde tutularak üretim tesislerinden direk olarak Çerkezköy ve İzmit yerel depolarına karayolu taşıması yapılmaktadır. Buna karşın senaryo 2’de yerel depoları açmak yerine 2. aktarma noktalarından talep noktalarına direkt taşıma yapmak uygun bulunmaktadır (Şekil 6.26).

6.11.3 Senaryo 3: Demiryolu Modunun Kullanılmadığı Durum

Son senaryo analizinde ise demiryolu taşımalarına müsaade edilmemesi durumu dikkate alınarak, dengeleme operatörünün kullanıldığı ağırlıklandırılmamış model üzerinde çalışılmıştır. Mevcut durumda özellikle, uzun mesafeli taşımanın yapıldığı 1. ve 2. aktarma noktaları arasında kullanılan demiryolu modunun herhangi bir sebepten dolayı iptal olması durumunda hangi taşıma modunun tercih edileceği üzerinde durulmuştur. Çıkan sonuçlar Çizelge 6.31’de gösterilmiştir.

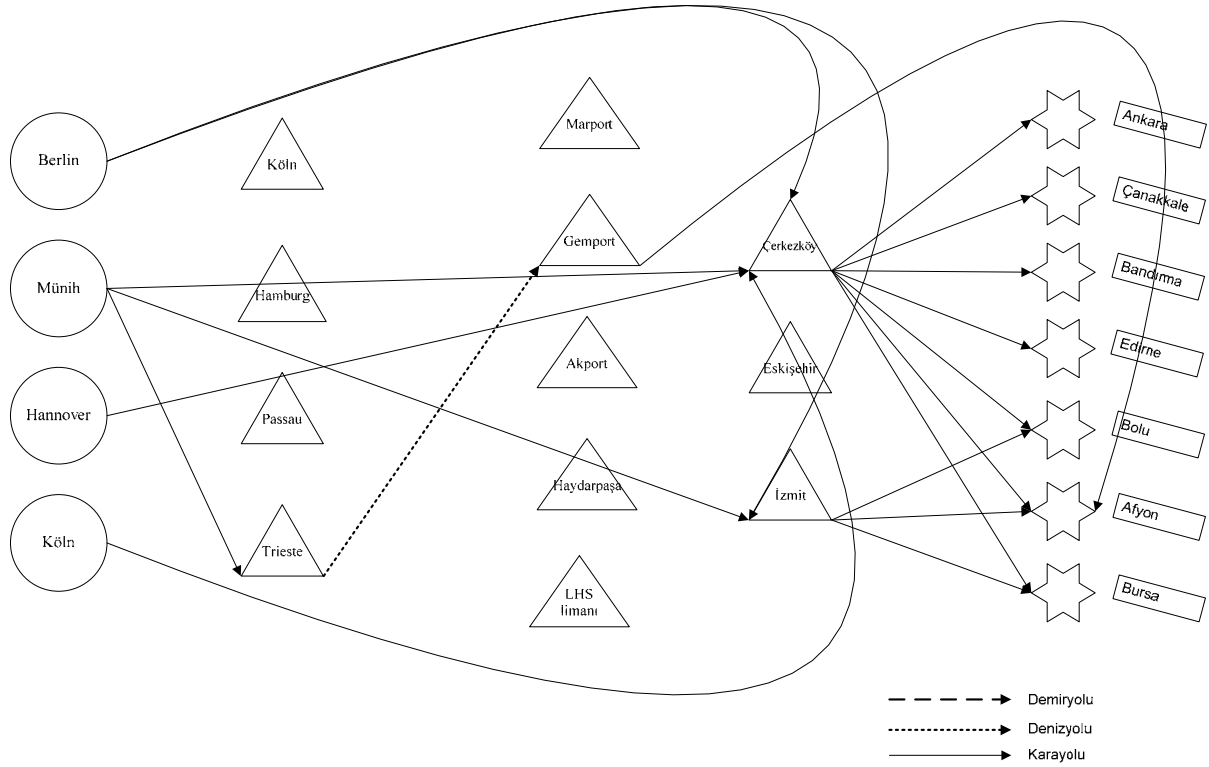
Çizelge 6.31 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 3’ün sonuçları

	$\gamma=0$	$\gamma=0.1$	$\gamma=0.2$	$\gamma=0.3$	$\gamma=0.4$
Amaç fonk. 1	180,760.00	180,340.00	291,140.00	341,070.00	305,260.00
Amaç fonk. 2	255,420,000.00	255,520,000.00	248,620,000.00	254,250,000.00	254,010,000.00
Amaç fonk. 3	248,210,000.00	248,410,000.00	227,550,000.00	226,640,000.00	232,510,000.00
Amaç fonk. 4	5,384,900.00	5,279,100.00	20,214,000.00	27,612,000.00	19,669,000.00
Amaç fonk. 5	1,825,000.00	1,825,000.00	855,000.00	0.00	1,825,000.00
Amaç fonk. 6	31,243,000.00	31,124,000.00	75,217,000.00	93,212,000.00	71,350,000.00
Amaç fonk. 7	20,368,000.00	20,316,000.00	44,579,000.00	54,650,000.00	41,022,000.00
Amaç fonk. 8	10,875,000.00	10,808,000.00	30,638,000.00	38,563,000.00	30,328,000.00
μ_1	0.001	0	0.328	0.476	0.37
μ_2	0.337	0.334	0.496	0.364	0.37
μ_3	0.163	0.16	0.486	0.501	0.409
μ_4	0.994	0.997	0.508	0.266	0.526
μ_5	0.694	0.694	0.857	1	0.694
μ_6	0.993	0.995	0.594	0.43	0.629
μ_7	0.986	0.987	0.562	0.386	0.624
μ_8	0.999	1	0.626	0.477	0.632
λ	0	0	0.328	0.266	0.37
μ_{ve}	0.646	0.581	0.511	0.421	0.467
	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 1	309,640.00	332,240.00	333,930.00	337,800.00	336,190.00
Amaç fonk. 2	246,980,000.00	250,600,000.00	250,380,000.00	249,920,000.00	250,100,000.00
Amaç fonk. 3	226,570,000.00	227,630,000.00	227,680,000.00	227,550,000.00	227,680,000.00
Amaç fonk. 4	19,558,000.00	21,999,000.00	21,846,000.00	21,515,000.00	21,565,000.00

Çizelge 6.31 Farklı γ dengeleme dereceleri için senaryo 3'ün sonuçları (devamı)

	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.6$	$\gamma=0.7$	$\gamma=0.8$	$\gamma=0.9$
Amaç fonk. 5	855,000.00	970,000.00	855,000.00	855,000.00	855,000.00
Amaç fonk. 6	84,528,000.00	86,439,000.00	84,986,000.00	89,265,000.00	87,703,000.00
Amaç fonk. 7	51,261,000.00	48,848,000.00	48,673,000.00	50,091,000.00	50,329,000.00
Amaç fonk. 8	33,267,000.00	37,592,000.00	36,313,000.00	39,174,000.00	37,374,000.00
μ_1	0.383	0.45	0.455	0.466	0.461
μ_2	0.534	0.45	0.455	0.466	0.461
μ_3	0.502	0.485	0.484	0.486	0.484
μ_4	0.53	0.45	0.455	0.466	0.464
μ_5	0.857	0.838	0.857	0.857	0.857
μ_6	0.509	0.492	0.505	0.466	0.48
μ_7	0.445	0.487	0.49	0.466	0.461
μ_8	0.577	0.495	0.519	0.466	0.499
λ	0.383	0.45	0.455	0.466	0.461
μ_{ve}	0.462	0.477	0.477	0.476	0.467

3. senaryo analizi sonuçlarına bakılırsa yine en yüksek tatmin seviyesi 0.646 ile $\gamma=0$ iken elde edilmiştir. Fakat normal durumda birçok aşamada kullanılan demiryolu iptal edilince, genel tatmin seviyesinde bir miktar azalma olmuştur.



Şekil 6.27 Taşımacılık ağı probleminin 3. senaryoya göre çözülmesi sonucu gerçekleşen taşımacılar

Bununla birlikte iki uç noktadan biri olan γ 'nın 0'a eşit olması durumunda taşımaların tamamı üretim tesislerinden yerel depolara karayolu ile yapılmaktadır. Yani demiryolu'nun yerini karayolu almaktadır. γ 'nın 1'e eşit olması durumunda ise taşımaların çok büyük bir kısmı aktarma noktaları arasında denizyolu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yani bu durumda da demiryolu alternatifinin yerini denizyolu almaktadır. Şekil 6.27 ilk durum ile ilgili senaryoyu göstermektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye açısından çok önemli ve gelişmekte olan taşımacılık sektörünün geleceğine yön verecek bir konu olan çok modlu taşımacılık ağlarının oluşturulmasındaki kritik faktörler üzerinde durulmuştur. Bu faktörler olabildiğince geniş çaplı tutularak, yapılan modelleme çalışmasına dahil edilmiştir. Böyle bir stratejik konuda, sadece düşük maliyet ya da sadece hızlı taşımalar gerçekleştirmek gibi amaçların tek başına yeterli olmayacağı, göz ardı edilen diğer kalitatif ve kantitatif faktörlerinde önem dereceleri ile orantılı olarak modele dahil edilmesi gerekliliği belirtilmiştir.

Özellikle, coğrafi açıdan geniş, karmaşık ve uzun mesafeli taşımaların gerçekleştirildiği uluslararası taşımacılıkta, farklı tipteki birçok ürün konteynerler ile birleştirilmekte ve çoğu zaman varış noktasına ulaşana kadar farklı aşamalardan geçmektedir. Bu aşamalarda da çeşitli kriterlere bağlı olarak farklı taşıma modları kullanılmaktadır. LHS işletmeler içinde de böylesine karmaşık bir konu ile ilgilen çok sayıda ve farklı yetkilere sahip karar verici bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının temelinde, olabildiğince fazla faktörün model bileşeni olarak kapsanması hedeflenmekle birlikte, buna doğru orantılı olarak da kararlarla ilgilenen kişi ya da mercilerin sayısında artma olacağı belirtilmiştir. Uygulamalarda sıkça rastlanıldığı gibi böyle bir stratejik kararı sadece üst yönetimin tek başına vermesi yerine, farklı seviyelerde ve alanlarda çalışan tüm karar vericilerin karar sürecine katılması çok daha tatmin edici kararlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı çok modlu taşımacılık ağlarının planlanmasında, merkezi olmayan çok seviyeli programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde, farklı ve aynı hiyerarşide bulunan karar vericilerin amaçları eş zamanlı olarak farklı şekillerde optimize edilmeye çalışılmıştır. Problemlere en geniş açıdan bakma durumunda olan üst yönetim çok sayıda kriteri dikkate alarak ilgili taşıma projesine özel olarak uygun taşıma modlarını belirlemektedir. Üst yönetimin taşıma modu tercihleri model içerisine mod ağırlığı ya da önceliği olarak katılır ve üst amacı oluşturur. Bununla birlikte, olaylara üst yönetim kadar geniş bakamayan daha spesifik amaçlar güden birim yetkilileri de LHS'lerin organizasyonlarında önemli yere sahiptir. Model kapsamında operasyonel işlerden sorumlu yetkilinin maliyet odaklı olacağı ve müşteri hizmetlerinin kalitesi ile ilgilenen pazarlama biriminin ise süre odaklı olacağı düşünülerek iki amaçlı bir alt seviye oluşturulmuştur. Model tasarımı bölümünde detayları verildiği gibi bu iki karar vericiye bağlı çalışan üçüncü seviye karar vericiler bulunmaktadır. Sonuç olarak, birbiri ile çelişen ya da kısmen örtüşen toplam 8 farklı amaç fonksiyonuna sahip çok seviyeli bir model oluşturulmuştur.

Modelin uygulaması, Almanya Türkiye arasında uzun taşımayı demiryolu, kısa taşımaları ise karayolu ile yaparak modlar arası taşımacılık gerçekleştiren bir işletmenin örneği üzerinde çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Hem mevcut durumdaki ağın aşama sayısı, hem de aşamalarındaki lokasyon alternatifleri genişletilmiştir. Ayrıca, seçilecek taşıma modları dikkate alınarak, bu noktalarda LHS işletmenin kendi yatırımlarını yapmasının olurluluğu araştırılmıştır. Model çözdürüldüğünde, hangi tip yüklerin, hangi taşıma modunu ve hangi aşamada hangi lokasyonu kullanarak talep noktasına ulaştırılacağı ve hangi istasyon ya da depo yatırımlarının gerçekleştirileceği sorularına cevap bulunmaktadır.

GAMS paket programının verdiği raporla belirlenen 880 adet değişken ve büyük kısmı kısıt olarak düşünülebilecek 37275 adet eşitlikten oluşan çok seviyeli modele klasik yöntemle çözüm getirmek mümkün olmayacağından, bulanık yaklaşımla çözüm aranmıştır. Maks-min operatörünü kullanan ilk çözümün ardından dengeleme özelliği olan bütünleştirme operatörü kullanarak tatmin seviyesi daha yüksek alternatif çözümlere ulaşılmıştır. Daha sonra çözüm prosedürü bir adım daha ilerletilerek, her seviyedeki karar vericinin bir alt seviyesini ağırlıklandığı etkileşimli ve uzlaşımçı aşamaya geçilmiştir. Son olarak ta, gerçek uygulamalarda karşılaşılabilecek muhtemel olan bazı durumlar senaryolaştırılarak, modelin vereceği sonuçlar analiz edilmiştir. Farklı çözümlerle elde edilen sonuçlar, gerçek uygulama sonuçları ile kıyaslanarak modelin üstün özellikleri ortaya konulmuştur.

Öncelikle taşınacak ürünün cinsinin, hangi noktalar arasında taşınacağını, talep miktarlarının vb. durumların netleştirildiği bir durum için hangi taşıma modunu kullanmanın uygun olacağı noktasında, literatürdeki çalışmaların birçoğuna göre çok fazla sayıda kriter AAS ile değerlendirilmek üzere bir araya getirilmiştir. Farklı karar vericilerin amaçları, organizasyondaki hiyerarşik yapı da dikkate alınarak en uygun şekilde modele katılmıştır. Tüm karar vericilerin ortak sonuç üzerinde anlaşabildikleri ve belirli oranlarda tatmin edilebilmelerine kadar devam eden bir prosedür uygulanmıştır. Gerçek uygulamalarda kullanılabilirlik açısından bakıldığında da geniş çaplı ağların çözümünde hesaplama zorluğu çekmeden çözüm üretilmesi önerilen modelin önemli bir noktasıdır.

Türkiye'deki LHS işletmelerin uygulamalarında karşılaştıkları aşılması güç problemlerin baştan önlenmesi için henüz kuruluş aşamasındayken böyle bir metodolojinin uygulanması önem taşımaktadır. Özellikle Avrupa ülkeleri ile yapılan ticarete, çoğu ülkenin yavaş yavaş teşvik ve hatta zorunluluk haline getirdiği taşımacılık kuralları bulunmaktadır. Özellikle uzun mesafeli taşımalarda karayoluna alternatif olabilecek modlar özendirilmektedir. Dolayısıyla sadece tecrübe ve görüşlere dayanan stratejik kararların

alınması ve örneğin sadece süreden dolayı karayolunun ya da sadece maliyetten dolayı denizyolunun seçilmesi ve sadece bu yönde yatırımlar yapılması zaman içinde çok verimsiz sonuçlar doğurabilir. Buna karşın, önerilen metodoloji ile yapılacak planlamalarda olası alternatifler, tecrübelerin ve basit hesaplamaların yetemeyeceği boyutta ilişkileri ve kısıtları dikkate alarak doğru sonuçlara ulaştırır.

Önerilen model esnek bir yapıdadır. Bu tez kapsamındaki uygulamada bir LHS'nin özelleştirilmiş problemine çözüm aranmıştır. Bununla birlikte, aynı model başka bir işletme için kullanılırken amaç, değişken ve kısıt sayılarında değişiklikler yapılabilecektir. Bu bağlamda doktora çalışması sonrasında yapılması planlananlar aşağıdaki gibi sıralanabilir. İlk akla gelen öneri, LHS'nin yatırım ve işletme giderlerine ayırabileceği bütçeye bir üst değer getirilebileceğidir. Böylece daha kısıtlı ve çözüm uzayı daralmış bir problem ortaya çıkacaktır. Diğer bir önemli öneri de model kısıtlarında ve amaç fonksiyonlarında kullanılan parametrelerle ilgili belirsizliklerin de modele katılmasıdır. Bu aşamada, veriler işletmelerden direkt olarak elde edildiğinden, modele de aynı şekilde aktarılmıştır. Bununla beraber, özellikle uzun vadeli kararların alındığı durumlarda, kullanılan parametrelerde değişiklikler olabileceği unutulmamalıdır. Bu belirsizlikleri modele dâhil etmenin en iyi yolu da, parametreleri bulanık sayılarla ifade etmek olacaktır. Model içerisinde özellikle denizyolu ve demiryolu taşımalarında ve aktarma sürelerinde değişkenlik görülebilmektedir. Karayolunda ise çift şoför, çok çekici durumuna göre süre değişebilmektedir. Sonuç olarak model, süre ile ilgili parametrelere karşı duyarlıdır ve bu değişkenlik bulanık rakamlarla modele ileride dâhil edilebilir. Diğer bir gelecek çalışma konusu ise, aynı modelin farklı yöntemlerle çözülmesi olabilir. Birçok probleme etkin çözümler üreten meta sezgiseller ya da evrimsel algoritmalar bu alanda denenmelidir. Örneğin, çok seviyeli programlama da genellikle küçük boyutlu problemler için kullanılan genetik algoritmalarda kurulacak etkin kromozom yapıları ve uygun mutasyon ve çaprazlama yöntemleri ile bu boyuttaki problemlere çözüm getirilmesi olasıdır. Son bir nokta da, çalışmada kullanılan karar verme tekniklerinin ve sayısal modeli çözen CPLEX algoritmalarının yazılım ortamında entegre edilerek, yaklaşımın bir KDS'ne dönüştürülmesi olabilir. Kullanıcıların ilgili verileri gireceği bir arayüz kullanılarak modelin çözdürülmesi, parametrelerin duyarlılıklarının ölçülmesi ve senaryo analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan bir sistem oluşturulabilir. Bu sayede yaklaşımın kullanımı kolaylaşacak ve karar vericilerin daha hızlı ve etkin karar vermeleri sağlanacaktır. Bu öneriler ışığında gelecekte yapılacak çalışmalarla daha etkin sonuçlara ulaşılması beklenen bir durumdur.

KAYNAKLAR

- Abacoumkin, C. ve Ballis, A., (2004), "Development of an expert system for the evaluation of conventional and innovative technologies in the intermodal transport area", *European Journal of Operational Research*, 152:410-419.
- Abass, S.A., (2005), "Bilevel Programming Approach Applied to the Flow Shop Scheduling Problem under Fuzziness", *Computational Management Science*, 2:279-293.
- Abd El-Waheda, W.F. ve Lee, S.M., (2006), "Interactive fuzzy goal programming for multi-objective transportation problems", *Omega*, 34:158-166.
- Abdelghany, K.F.S., (2001), "Stochastic Dynamic Traffic Assignment for Intermodal Transportation Networks with Consistent Information Supply Strategies", The University of Texas at Austin.
- Alattar, M.A., (2003), "Multiobjective Optimization for Intermodal Container Freight Terminals: Mathematical Modeling of Transport and Operations", University of Southern California.
- Alberto, P., (2000), "The logistics of industrial location decisions an application of the AHP methodology", *International Journal of Logistics*, 3(3):273-289.
- Alicke, K., (2002), "Modeling and optimization of the intermodal terminal mega hub", *OR Spectrum*, 24:1-17.
- Anandalingam, G., (1988), "A mathematical programming model of decentralized multi-level systems", *Journal of Operational Research Society*, 39:1021-1033.
- Arampatzis, G., Kiranoudis, C.T., Scaloubacas, P. ve Assimacopoulos, D., (2004), "A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies", *European Journal of Operational Research*, 152:465-475.
- Arnold, P., Peeters, D. ve Thomas, I., (2004), "Modelling a rail/road intermodal transportation system", *Transportation Research Part E*, 40:255-270.
- Ballis, A. ve Golias, J., (2004), "Towards the improvement of a combined transport chain performance", *European Journal of Operational Research*, 152:420-436.
- Banomyong, R. ve Beresford, A.K.C., (2001), "Multimodal transport: The case of Laotian garment exporters", *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, 31(9):663-685.
- Bard, J.F. ve Moore, J.T., (1990), "A Branch and Bound Algorithm for the Bi-Level Programming Problem", *SIAM, Journal on Scientific and Statistical Computing*, 11:281-292.
- Bard, J.F., (1983), "An Efficient Point Algorithm For a Linear Two-Stage Optimization Problem", *Operation Research*, 31:670-684.
- Barnhart, C., Krishnan, N., Kim, D. ve Ware, K., (2002), "Network design for express shipment delivery", *Computational Optimization and Applications*, 53:48-60.
- Barthel, F. ve Woxenius, J., (2004), "Developing intermodal transport for small flows over short distances", *Transportation Planning and Technology*, 27(5):403-424.
- Bayazit, O. ve Karpak, B., (2007), "An Analytical Network Process-Based Framework for Succesful Total Quality Management (TQM): An Assessment of Turkish Manufacturing

- Industry”, *International Journal of Production Economics*, 105(1):79-96.
- Bialas, W.F. ve Karwan, M.H., (1982), “On Two-Level Optimization”, *IEEE Transaction on Automated Control*, AC-27:211-214.
- Bialas, W.F. ve Karwan, M.H., (1984), “Two-Level Linear Programming”, *Management Science*, 30:1004-1020.
- Blauwens, G., Vandaele, N., Voorde, E., Vernimmen, B. Ve Witlox, F., (2006), “Towards a modal shift in freight transport”, *Transport Reviews*, 26(2):239–251.
- Bontekoning, Y.M., Macharis, C. ve Trip, J.J., (2004), “Is a new applied transportation research field emerging?—A review of intermodal rail-truck freight transport literature”, *Transportation Research Part A*, 38:1-34.
- Bontekoning, Y.M., ve Priemus, H., (2004), "Breakthrough innovations in intermodal freight transport", *Transportation Planning and Technology*, 27(5):335-345.
- Bookbinder, J.H. ve Fox, N.S., (1998), “Intermodal routing of Canada-Mexico shipments under NAFTA”, *Transportation Res.-E (Logistics and Transpn Rev.)*, 34(4):289-303.
- Brander, J.R.G., (2000), “The Future of Intermodal Freight Transport within the Province of New Brunswick”, The University of New Brunswick.
- Bubbico, R., Maschio, G., Mazzarotta, B., Milazzo, M.F. ve Parisi, E., (2006), “Risk management of road and rail transport of hazardous materials in Sicily”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19:32–38.
- Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C. ve Ruan, D., (2004), “Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach”, *International Journal of Intelligent Systems*, 19(5):443-461.
- Cao, D. ve Chen, M., (2006), “Capacitated Plant Selection in A Decentralized Manufacturing Environment: A Bilevel Optimization Approach”, *European Journal of Operation Research*, 169:97-110.
- Chang, E.J., (2004), “Time-Varying Intermodal Person Trip Assignment”, Northwestern University.
- Chen, H.K. ve Chou, H.W., (1996), “Solving multiobjective linear programming problems – a generic approach”, *Fuzzy Sets and Systems* 82:35-38.
- Cheng E.W.L. ve Li, H., (2007), “Application of ANP in Process Models: An Example of Strategic Partnering”, *Building and Environmental*, 42(1):278-287.
- Cheng E.W.L., Li, H. ve Yu, L., (2005), “The Analytic Network Process (ANP) Approach to Location Selection: A Shopping Mall Illustration”, *Construction Innovation*, 5:83-97.
- Cheng, S., Chan, C.W. ve Huang, G.H., (2002), Using Multiple Criteria Decision Analysis for Supporting Decisions of Solid Waste Management”, *Journal of Environmental Science & Healthy*, 37(6):975-990.
- Chiou, S.W., (2005), “Bilevel Programming for the Continuous Transport Network Design Problem”, *Transport Research Part B*, 39:361-383.
- Choong, S.T., Cole, M.H. ve Kutanoglu, E., (2002), “Empty container management for intermodal transportation networks”, *Transportation Research Part E*, 38:423-438.

- Chou, C., (2007), "A fuzzy MCDM method for solving marine transshipment container port selection problems", *Applied Mathematics and Computation*, 186 (1):435-444.
- Chowdhury, M.S., (2000), "Intermodal Transit System Coordination With Dynamic Vehicle Dispatching", New Jersey Institute of Technology.
- Chowdhury, S.M. ve Chien, S.I., (2002), "Intermodal transit system coordination", *Transportation Planning and Technology*, 25:257-287.
- Chung, S.H., Lee, A.H.L. ve Pearn, W.L., (2005), "Product Mix Optimization for Semiconductor Manufacturing Based on AHP and ANP Analysis", *International Journal of Manufacturing Technology*, 25:1144-1156.
- Colson, B., Marcotte, P. ve Savard, G., (2005), "Bilevel Programming: A Survey", *4OR (A Quarterly Journal of Operation Research)*, 3:87-107.
- Combesa, P.P. ve Linnemerb, L., (2000), "Intermodal competition and regional inequalities", *Regional Science and Urban Economics*, 30:131-84.
- Corry, P. ve Kozan, E., (2006), "An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains", *Computer & Operation Research* 33:1-17.
- Crainic, T.G, Gendreau, M. ve Farvolden, J.M., (2000), "A simplex-based tabu search method for capacitated network design", *Journal on Computing*, 12(3):223-236.
- Crainic, T.G., (2000), "Service network design in freight transportation", *European Journal Of Operational Research*, 122:272-288.
- Crainic, T.G., (2002), "A survey of optimization models for long-haul freight transportation", *Handbook of Transportation Science*, R.W. Hall (Ed.), 2nd Edition, Kluwer, Kanada.
- Cruz, J.B., (1978), "Leader-follower strategies for multi-level systems", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 23:245-255.
- Çalışkan, N., (2006), "A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives", *European Journal of Operational Research*, 175(3):1696-1704.
- Çancı, M. ve Erdal, M., (2003), "Lojistik yönetimi: Freight forwarder el kitabı 1", UTİKAD – Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği Yayınları, İstanbul.
- D’Este, G., (1996), "An event-based approach to modeling intermodal freight systems", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 26(6): 4-15.
- Dall’Orto, L.C., Crainic, T.G., Powell, W.B. ve Leal, J.E., (2004), "The single-node dynamic service scheduling and dispatching problem", *European Journal of Operational Research*, 170(1):1-23.
- Demirtaş, E.A. ve Üstün, Ö., (2008), "An Integrated Multiobjective Decision Making Process for Supplier Selection and Order Allocation", *Omega*, 36(1):76-90.
- Dixon, K.K., Sarasua, W.A., Daniel, J. ve Mazur, G.D., (2001), "Tool for rural and statewide multimodal transportation planning", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(4):275-283.
- Duan, P., (2006), "An Integrated Modeling Framework for Intermodal Freight Operations in Hub Cities", Northwestern University.

- Erdoğan, Ş., Aras, H. ve Koç, E., (2006), "Evaluation of Alternative Fuels for Residential Heating in Turkey Using Analytic Network Process (ANP) with Group Decision-Making", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 10:269-279.
- Erera, A.L., Morales, J.C. ve Savelsbergh, M., (2005), "Global intermodal tank container management for the chemical industry", *Transportation Research Part E*, 41:551-566.
- Erlebacher, S.J. ve Meller, R.D., (2000), "The interaction of location and inventory in designing distribution systems", *IIE Transactions*, 32:155-166.
- Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S. ve Tew, J.D., (2005), "Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers", *European Journal of Operational Research*, 165:182-206.
- European Conference of Ministers of Transportation, ECMT, (2003), "Glossary for Transportation Statistics- 3rd Edition", United Nations.
- Feng, C.M. ve Wen, C.C., (2005), "A Fuzzy Bi-Level and Multi-Objective Model to Control Traffic Flow into the Disaster Area Post Earthquake", *Journal of The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6:4253-4268.
- Fernandez, J.E., de Cea, J. ve Soto, A., (2003), "A multi-modal supply-demand equilibrium model for predicting intercity freight flows", *Transportation Research Part B*, 37:615-640.
- Gambardella, L.M., Mastrolilli, M., Rizzoli, A.E. ve Zaffalon, M., (2001), "An optimization methodology for intermodal terminal management", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12:521-534.
- Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E. ve Funk, P., (2002), "Agent-based planning and simulation of combined rail/road transport", *Simulation*, 78(5):293-303.
- Gao, Z., Wu, J. ve Sun, H., (2005), "Solution Algorithm for The Bi-Level Discrete Network Design Problem", *Transportation Research Part B*, 39:479-495.
- Gayialis, S.P. ve Tatsiopoulos, I.P., (2004), "Design of an IT-driven decision support system for vehicle routing and scheduling", *European Journal of Operational Research*, 152:382-398.
- Gencer, C. ve Gürpınar, D., (2007), "Analytic Network Process in Supplier Selection: A Case Study in An Electronic Firm", *Applied Mathematical Modelling*, 31(11):2475-2486.
- Gorman, M.F., (2001), "Intermodal Pricing Model Creates a Network Pricing Perspective at BNSF", *Interfaces*, 31:37-49.
- Gorman, M.F., (1998), "An application of genetic and tabu searches to the freight railroad operating plan problem", *Annals Of Operations Research*, 78:51 – 69.
- Graham, D.W., (1999), "Concepts in Modeling Intermodal Transportation Systems", Mississippi State University.
- Guu, S.M. ve Wu, Y.K., (1997), "Weighted coefficients in two-phase approach for solving the multiple objective programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 85:45-48.
- Guu, S.M. ve Wu, Y.K., (1999), "Two-phase approach for solving the fuzzy linear programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 107:191-195.
- Hameri, A.P., Paatela, A., (1995), "Multidimensional simulation as a tool for strategic logistics planning", *Computers in Industry*, 27:273-285

- Hansen, P., Jaumard, B. ve Savard, G., (1992), "New Branch and Bound Rules for Linear Bi-Level Programming", SIAM, Journal on Scientific and Statistical Computing, 13:1194-1217.
- Hayuth, Y., (1994), "Overweight container problem and international intermodal transportation", Transportation Journal, 34(2):18-28.
- Hejazi, S.R., Memariani, A., Jahanshahloo, G. ve Sepehri, M.M., (2002), "linear Bilevel Programming Solution By Genetic Algorithm", Computers & Operation Research, 29:1913-1925.
- Hendren, P.G., (2003), Evaluating the Link Between Resource Allocation Decisions and Transportation Performance Measures: Seventeen Years of Spending on Our Roads", University of California, Davis.
- Jansen, B., Swinkels, P.C.J., Teeuwen, G.J.A, Fluiter, B.A. ve Fleuren, H.A., (2004), "Operational planning of a large scale multi-modal transportation system", European Journal of Operational Research, 156:41-53.
- Jauernig, C. ve Roe, M., (2000), "International freight transport in Lithuania", Transport Reviews, 20(4):447-468.
- Judice, J.J. ve Faustino, A.M., (1992), "A Sequential LCP Method for Bilevel Linear Programming", Annals Operation Research, 34:89-106.
- Kahraman, C., Ertay, T. ve Büyüközkan, G., (2006), "A Fuzzy Optimization Model for QFD Planning Process Using Analytic Network Approach", 171:390-411.
- Karsak, E.E., Sozer, S. ve Alptekin, S.E., (2002), "Product Planning in Quality Function Deployment Using a Combined Analytic Network Process and Goal Programming Approach", Computers & Industrial Engineering, 44:171-190.
- Kelleher, G., El-Rhalibi, A. ve Arshad, F., (2003), "Scheduling for intermodal transport", Logistics Information Management, 16(5):363-372.
- Kengpol, A., (2004), "Design of a Decision Support System to Evaluate The Investment in a New Distribution Centre", International Journal of Production Economics, 90:59-70.
- Kim, D., Barnhart, C., Ware, K., ve Reinhardt, G., (1999), "Multimodal express package delivery: A service network design application", Transportation Science, 33(4):391-407.
- Lai, Y.J. ve Hwang, C.L., (1996), "Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications, Springer, Berlin.
- Lee, E.S., (2001), "Fuzzy multiple level programming", Applied Mathematics and Computation, 120:79-90.
- Levinson, M.D., (1995), "An evolutionary transportation planning model structure and application", Transportation Research Record, 1493:64-73.
- Li, L. ve Tayur, S., (2005), "Medium-term pricing and operations planning in intermodal transportation", Transportation Science, 39(1):73-86.
- Lo, H.K., Yip, C.W. ve Wan, Q.K., (2004), "Modeling competitive multi-modal transit services: A nested logit approach", Transportation Research Part C, 12:251-272.
- Lu, C.S., (2003), "Market Segment Evaluation and International Distribution Centers", Transportation Research Part E, 39:49-60.

- Marin, A. ve Garcia, R., (2005), "Network equilibrium with combined modes models and solution algorithms", *Transportation Research*, 39:223-254.
- Martinez, F.M., Gutierrez, I.G., Oliveira, A.O. ve Bedia, L.M.A., (2004), "Gantry crane operations to transfer containers between trains: A simulation study of a Spanish terminal", *Transportation Planning and Technology*, 27(4):261-284.
- Mathieu, R., Pittard, L. ve Anandalingam, G., (1994), "Genetic algorithm based approach to bilevel linear programming", *Operations Research*, 28(1):1-21.
- Mccalla, R.J., Slack, B. ve Comtois, C., (2001), "Intermodal freight terminals: locality and industrial linkages", *Canadian Geographer*, 45(3):404-413.
- Meade, L.M. ve Presley, A., (2002), "R&D Project Selection Using The Analytic Network Process", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(2):171-176.
- Mika, M., Waligora, G. ve Wezglarz, J., (2005), "Simulated annealing and tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling", *European Journal of Operational Research*, 164:639-668.
- Minoux, M., (2002), "Discrete cost multi-commodity network optimization problems and exact solution methods", *Annals of Operations Research*, 106:19-46.
- Mohanty, R.P., Agarwal, R., Choudhury, A.K. ve Tiwari, M.K., (2005), "A Fuzzy ANP-Based Approach to R&D Project Selection: A Case Study", *International Journal of Production Research*, 43(24):5199-5216.
- Mokkhamakul, T., (2003), "An Analysis of Intermodal Transportation Mode Selection Considering Stochastic System Parameters", University of Missouri-Rolla.
- Nakagawa, T. ve Sekitani, K., (2004), "A Use of Analytic Network Process for Supply Chain Management", *Asia Pacific Management Review*, 9(5):783-800.
- Nash, E., Cope, A., James, P. ve Parker, D., (2005), "Cycle network planning: Towards a holistic approach using temporal topology", *Transportation Planning and Technology*, 28(4):251-271.
- Newman, A.M. ve Araiyo, C., (2000), "Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting", *Transportation Science*, 34(3):256-270.
- Newman, A.M., (1998), "Optimizing Intermodal Rail Operations", University of California, Berkeley.
- Newman, A.M., ve Yano, C.A., (2000), "Centralized and decentralized train scheduling for intermodal operations", *IIE Transactions*, 32:743-754.
- Ohnell, S. ve Woxenius, J., (2003), "An industry analysis of express freight from a European railway perspective", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(8):735-751.
- Osman, M.S., Abo-Sinna, M.A., Amer, A.H. ve Emam, O.E., (2004), "A multi-level non-linear multi-objective decision-making under fuzziness", *Applied Mathematics and Computation*, 153:239-252.
- Oum, T.H. ve Park, J.H., (2004), "Multinational firms location preference for regional distribution centers focus on the Northeast", *Transportation Research*, 40:101-121.

- Panayides, P.M., (2002), "Economic organization of intermodal transport", *Transport Reviews*, 22(4):401-414.
- Papavassilopoulos, G.P., (1982), Algorithms for static Stackelberg games with linear costs and polyhedra constant", *Proceedings of the 21th IEEE Conference on Decision and Control*, 647-652.
- Parola, F. ve Sciomachen, A., (2005), "Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation models", *International Journal of Production Economics*, 97:75-88.
- Peric, K., (2006), "Bi-Level Model for Transit Vehicle Allocation in Intermodal Transportation Networks", The State University of New Jersey.
- Peter, W., (2006), "Port competition and selection in contestable hinterlands; the case of Austria", *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 7(1):1-14
- Plant, J.F., (2002), "Railroad policy and intermodalism: policy choices after deregulation", *The Review of Policy Research*, 19(2):13-32.
- Poh, K.L., Choo, K.W. ve Wong, C.G., (2005), "A heuristic approach to the multi-period multi-commodity transportation problem", *Journal of the Operational Research Society*, 56:708-718.
- Racunica, I. ve Wynter, L., (2005), "Optimal location of intermodal freight hubs", *Transportation Research*, 39:453-477.
- Racunica, I. ve Wynter, L., (2005), "Optimal location of intermodal freight hubs", *Transportation Research Part B*, 39(5):453-477.
- Regan, A.C. ve Golob, T.F., (2000), "Trucking industry perceptions of congestion problems and potential solutions in maritime intermodal operations in Calif", *Transportation Research*, 34:587-605.
- Roghanian, E., Sadjadi, S.J. ve Aryanezhad, M.B., (2007), "A probabilistic bi-level linear multi-objective programming problem to supply chain planning", *Applied Mathematics and Computation*, 188(1):786-800.
- Rondinelli, D. ve Berry, M., (2000), "Multimodal transportation, logistics, and the environment", *European Management Journal*, 18(4):398-410.
- Rotter, H., (2004), "New operating concepts for intermodal transport the mega hub in Hanover Lehnrt in Germany", *Transportation Planning and Technology*, 27(5):347-365.
- Ryu, J.H., Dua, V. ve Pistikopoulos, E.N., (2004), "A Bilevel Programming Framework for Enterprise-Wide Process Networks under Uncertainty", *Computers & Chemical Engineering*, 28:1121-1129.
- Saaty, T.L., (1994), "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process", PWS Publication, Pittsburg.
- Saaty, T.L. (1998), "Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process", PWS Publication, Pittsburg.
- Saaty, T.L., (1980), "The Analytic Hierarchy Process", NY: McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L., (1996), "Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytical

Network Process”, PA: RWS Publications, Pittsburgh.

Sahin, K.H. ve Ciric, A.R., (1998), “A Dual Temperature Simulated Annealing Approach for Solving Bilevel Programming Problems”, *Computers and Chemical Engineering*, 23:11-25.

Sakawa, M., (1993), “Fuzzy Sets and Interactive Multi-Objective Optimization, Plenum Press, New York.

Sakawa, M., Nishizaki, I. ve Uemura, Y., (2000), “Interactive fuzzy programming for multi-level linear programming problems with fuzzy parameters”, *Fuzzy Sets and Systems*, 109:3-19.

Schatz, G.L. Ve Shashikumar, N., (2000), “The impact of US regulatory changes on international intermodal movements”, *Transportation Journal*, 5-14.

Shang, J.S., Tjader, Y. ve Ding, Y., (2004), “A Unified Framework for Multicriteria Evaluation of Transportation Projects”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(3):300-313.

Shee, D.Y., Tang, T.I. ve Tzeng, G.H., (2000), “Modeling the Supply – Demand Interaction in Electronic Commerce: A Bi-Level Programming Approach”, *Journal of Electronic Commerce Research*, 1(2):79-93.

Shi, X. ve Xia, H., (1997), “Interactive bi-level multi-objective decision-making”, *Journal of Operational Research Society*, 48:943-949.

Shih, H.S. ve Lee, E.S., (2000), “Compensatory fuzzy multiple level decision making”, *Fuzzy Sets and Systems*, 114:71-87.

Shih, H.S., Lai, Y.J. ve Lee, E.S., (1983), “Fuzzy approach for multi-level programming problems”, *Computers & Operations Research*, 23(1):773-791.

Silva, E.R., (2005), “Ports Hierarchy: Structure and new demands”, Teaching Note, Mexico.

Song, H., (2005), “Dynamic Flow Management Problems in Logistics Networks”, The Hong Kong University of Science and Technology.

Southworth, F. ve Peterson, B.E., (2000), “Intermodal and international freight network modeling”, *Transportation Research Part C*, 8:147-166.

Taylor, B.D. ve Schweitzerb, L., (2005), “Assessing the experience of mandated collaborative inter-jurisdictional transport planning in the United States”, *Transport Policy*, 12:500-511.

Taylor, G.D. ve Whicker, G.L., (2002), “Optimization and heuristic methods supporting distributed manufacturing”, *Production Planning & Control*, 13(6):517-528.

Taylor, G.D., Broadstreet, F., Meinert, T.S. ve Usher, J.S., (2002), “An analysis of intermodal ramp selection methods”, *Transportation Research Part E*, 38:117-134.

Teo, C.P. ve Shu, J., (2004), “Warehouse-retailer network design problem”, *Operations Research*, 52(3):396–408.

Tiryaki, F., (2006), “Interactive Compensatory Fuzzy Programming for Decentralized Multi-Level Linear Programming (DMLLP) Problems”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157:3072-3090.

Tsamboulas, D., Vrenken ve H., Lekaa, A., (2007), “Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale”, *Transport Research Part A*, 41 715-

733.

Tsamboulas, D.A. ve Dimitropoulos, I., (1999), "Appraisal of investments in European nodal centres for goods - freight villages: A comparative analysis", *Transportation*, 26:381-398.

Tuna, O., (2001), "Türkiye için lojistik ve denizcilik stratejileri uluslararası belirleyiciler", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2):208-226.

Türkiye Liman İşletmecileri Derneği, "TÜRKİYE LİMANCILIK SEKTÖRÜ RAPORU", Yayın No:1, 2006

Ulutaş, B.H., (2005) "Determination of the Appropriate Energy Policy for Turkey", *Energy*, 30:1146-1161.

Veras, J.H. ve Thorson, E., (2003), "Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model", *Transportation Research Part B*, 37:129-148.

Walter, C.K., ve Poist, R.F., (2004), "North American inland port development international vs domestic shipper preferences", *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, 34(7):579-597.

Wang, X., (2001), "Algorithms and Strategies for Dynamic Carrier Fleet Operations: Applications to Local Trucking", University of California, Irvine.

Wang, Y., (2002), "A Bi-Level Programming Approach For The Shipper - Carrier Network Problem", New Jersey Institute of Technology.

Warsing, D.P., Souza, G.C. ve Greis, N.P., (2001), "Determining the value of dedicated multimodal cargo facilities in a multi-region distribution network", *European Journal of Operational Research*, 133:81-93.

Waters, D., (2002), *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*, Palgrave Macmillan, New York.

Werner, B.M., (1988), "Aggregation models in mathematical programming", *Mathematical Models dor Decision Support*, Springer, Berlin, 295-305.

White, D.J. ve Anandalingam, G., (1993), "A penalty function approach for solving bi-level linear programs", *Journal of Global optimization*, 35:1170-1173.

Wiegman, B.W., Nijkamp, P. ve Masurel, E., (2001), "Intermodal freight terminals: marketing channels and telecommunication networks", *Transport Reviews*, 21(4):399-413.

Perreault, W.D. ve McCarthy, E.J., (2003), *Essentials of Marketing: A Global-Managerial Approach*, McGraw-Hill, 9th Edition.

Wu, Y.K. ve Guu, S.M., (1997), "A compromise model for solving fuzzy multiple objective problems", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 18(5):87-93.

Xu, J. ve Hancock, K.L., (2004), "Enterprise-wide freight simulation in an integrated logistics and transportation system", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5(4):342-346.

Yüksel, İ. ve Dağdeviren, M., (2007), "Using the Analytic Network Process (ANP) in A SWOT Analysis – A Case Study for A Textile Firm", *Information Sciences*, 177(16):3364-3382.

- Zhang, C., Liu, J., Wan, Y., Murty, K.G. ve Linn, R.J., (2003), "Storage space allocation in container terminals", *Transportation Research*, 37:883–903.
- Ziliaskopoulos, A. ve Wardell, W., (2000), "An intermodal optimum path algorithm for multimodal networks with dynamic arc travel times and switching delays", *European Journal of Operational Research*, 125:486-502.
- Zimmermann, H.J., (1978), "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 1:45-55.
- Zimmermann, H.J., (1993), "Fuzzy Set Theory and its Applications", Second Revised Ver., Kluwer Academic Publishers, Boston.

EKLER

Ek 1	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisi
Ek 2	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmış Süper Matrisi
Ek 3	Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Limit Süper Matrisi
Ek 4	Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisi
Ek 5	Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmış Süper Matrisi
Ek 6	Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Limit Süper Matrisi
Ek 7	Çok Seviyeli Bulanık Modelin Çözümü İçin Kullanılan Programın Kodları

Ek 1 Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmamış Süper Matris

[illegible]

Ek 2 Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmış Süper Matris

[illegible]

Ek 3 Taşıma Modu Ağırlıklandırma Amaçlı AAS'nin Limit Süper Matrisi

[illegible]

Ek 4 Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmamış Süper Matrisi

		Amaç	Limanın Konumu			İç Bölge ekonomisi			Limanın Fiziksel Özellikleri			Liman Verimliliği				Maliyet		Diğer Koşullar					Alternatifler						
			LK1	LK2	LK3	ARD1	ARD2	ARD3	LFO1	LFO2	LFO3	LV 1	LV2	LV3	LV4	M1	M2	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Amaç		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Limanın Konumu	LK1	0.32	0	0	0	0	0.090909	0.090904	0	0.090909	0	0	0	0	0.125	0.090909	0	0	0.307694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK2	0.32	0	0	0	0.5	0.090909	0.818189	0	0.090909	0	0	0	0	0.125	0.090909	0	0	0.346152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK3	0.36	0	0	0	0.5	0.818182	0.090907	0	0.818182	0	0	0	0	0.75	0.818182	0	0	0.346154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ArdBölge ekonomisi	ARD1	0.29167	0	0	0	0	0	0	0.333333	0.294113	0.333333	0.777778	0	0.333333	0.363641	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD2	0.374997	0	0	0	0.5	0	0	0.333333	0.352946	0.333333	0.111111	0	0.333333	0.318178	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD3	0.333334	0	0	0	0.5	0	0	0.333333	0.352941	0.333333	0.111111	0	0.333333	0.318182	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limanın Fiziksel Özellikleri	LFO1	0.391304	0	0	0	0.388892	0.111113	0	0	0	0	0.529412	0	0.1	0.437507	0.090904	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO2	0.391304	0	0	0	0.33333	0.777752	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.818189	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO3	0.217391	0	0	0	0.277778	0.111119	0	0	0	0	0.470588	0	0.8	0.562493	0.090907	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liman Verimliliği	LV 1	0.136366	0	0	0	0.416672	0	0	0	0	0.111111	0	0	0.125	0	0	0.206897	0.090909	0.466667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV2	0.318177	0	0	0	0	0.333329	0.333329	0	0	0.111111	0	0	0.125	0	0	0.275862	0.090909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV3	0.318183	0	0	0	0	0.400005	0.400005	0	0	0.666666	0	0	0	0	0	0.241379	0.090909	0.533333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV4	0.227273	0	0	0	0.583328	0.266666	0.266666	0	0	0.111111	0	0	0.75	0	0	0.275862	0.727273	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maliyet	M1	0.428571	0	0	0	0.249981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M2	0.571429	0	0	0	0.750019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diğer Koşullar	DK1	0.166665	0	0	0	0	0.083333	0.083333	0	0.100006	0.076921	0	0	0.08333	0.076921	0	0.16129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK2	0.291669	0	0	0	0	0.666667	0.666667	0	0.599988	0.692313	0	0	0.750006	0.692313	0	0.258064	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK3	0.208333	0	0	0	0	0.083333	0.083333	0	0.100002	0.076922	0	0	0.083332	0.076922	0	0.193548	0.083333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK4	0.125	0	0	0	0	0.083333	0.083333	0	0.100002	0.076922	0	0	0.083332	0.076922	0	0.225806	0.083333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK5	0.208333	0	0	0	0	0.083333	0.083333	0	0.100002	0.076922	0	0	0	0.076922	0	0.16129	0.083333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alternatifler	A1	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.095238	0.142857	0.142857	0.093023	0.152175	0.095238	0.142857	0.142857	0.108696	0.095238	0.24516	0.142857	0.1	0.205882	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.071429	0.142857	0.142857	0.093023	0.130434	0.071429	0.142857	0.142857	0.043478	0.095238	0.030262	0.142857	0.125	0.058824	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.119048	0.142857	0.142857	0.116279	0.130435	0.119048	0.142857	0.142857	0.195652	0.119048	0.030262	0.142857	0.125	0.088235	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.166667	0.142857	0.142857	0.162791	0.130435	0.166667	0.142857	0.142857	0.152174	0.166667	0.140654	0.142857	0.175	0.205882	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A5	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.119048	0.142857	0.142857	0.116279	0.130435	0.119048	0.142857	0.142857	0.108696	0.119048	0.140654	0.142857	0.125	0.147059	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A6	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.214286	0.142857	0.142857	0.209302	0.130435	0.214286	0.142857	0.142857	0.195652	0.214286	0.140654	0.142857	0.225	0.264706	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A7	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.214286	0.142857	0.142857	0.209302	0.195652	0.214286	0.142857	0.142857	0.195652	0.190476	0.272356	0.142857	0.125	0.029412	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0

Ek 5 Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Ağırlıklandırılmış Süper Matrisi

		Amaç	Limanın Konumu			İç Bölge ekonomisi			Limanın Fiziksel Özellikleri			Liman Verimliliği				Maliyet		Diğer Koşullar					Alternatifler						
			LK1	LK2	LK3	ARD1	ARD2	ARD3	LFO1	LFO2	LFO3	LV 1	LV2	LV3	LV4	M1	M2	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Amaç		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limanın Konumu	LK1	0.066977	0	0	0	0	0.018182	0.022726	0	0.022727	0	0	0	0	0.025	0.022727	0	0	0.061539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK2	0.066977	0	0	0	0	0.083333	0.018182	0.204547	0	0.022727	0	0	0	0	0.025	0.022727	0	0	0.06923	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK3	0.075349	0	0	0	0	0.083333	0.163636	0.022727	0	0.204545	0	0	0	0	0.15	0.204545	0	0	0.069231	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ArdBölge ekonomisi	ARD1	0.061047	0	0	0	0	0	0	0.166667	0.073528	0.083333	0.259259	0	0.066667	0.072728	0.083333	0.066667	0.083333	0.066667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD2	0.078488	0	0	0	0	0.083333	0	0	0.166667	0.088236	0.083333	0.037037	0	0.066667	0.063636	0.083333	0.066667	0.083333	0.066667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD3	0.069767	0	0	0	0	0.083333	0	0	0.166667	0.088235	0.083333	0.037037	0	0.066667	0.063636	0.083333	0.066667	0.083333	0.066667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limanın Fiziksel Özellikleri	LFO1	0.072801	0	0	0	0.064815	0.022226	0	0	0	0	0.176471	0	0.02	0.087501	0.022726	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO2	0.072801	0	0	0	0.055555	0.15555	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0.204547	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO3	0.040445	0	0	0	0.046296	0.022224	0	0	0	0	0.156863	0	0.16	0.112499	0.022727	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liman Verimliliği	LV 1	0.019028	0	0	0	0.069445	0	0	0	0	0.027778	0	0	0.025	0	0	0.041379	0.022727	0.093333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV2	0.044397	0	0	0	0	0.066666	0.083332	0	0	0.027778	0	0	0.025	0	0	0.055172	0.022727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV3	0.044398	0	0	0	0	0.080001	0.100001	0	0	0.166667	0	0	0	0	0	0.048276	0.022727	0.106667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV4	0.031713	0	0	0	0.097221	0.053333	0.066667	0	0	0.027778	0	0	0.15	0	0	0.055172	0.181818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maliyet	M1	0.049834	0	0	0	0.041664	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M2	0.066445	0	0	0	0.125003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diğer Koşullar	DK1	0.023256	0	0	0	0	0.016667	0.020833	0	0.025002	0.01923	0	0	0.016666	0.015384	0	0.032258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK2	0.040698	0	0	0	0	0.133333	0.166667	0	0.149997	0.173078	0	0	0.150001	0.138463	0	0.051613	0.1875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK3	0.02907	0	0	0	0	0.016667	0.020833	0	0.025001	0.019231	0	0	0.016666	0.015384	0	0.03871	0.020833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK4	0.017442	0	0	0	0	0.016667	0.020833	0	0.025001	0.019231	0	0	0.016666	0.015384	0	0.045161	0.020833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK5	0.02907	0	0	0	0	0.016667	0.020833	0	0.025001	0.019231	0	0	0	0.015384	0	0.032258	0.020833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alternatifler	A1	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.015873	0.028571	0.035714	0.046512	0.038044	0.023809	0.047619	0.142857	0.021739	0.019048	0.06129	0.028571	0.025	0.041176	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.011905	0.028571	0.035714	0.046512	0.032609	0.017857	0.047619	0.142857	0.008696	0.019048	0.007565	0.028571	0.03125	0.011765	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.019841	0.028571	0.035714	0.05814	0.032609	0.029762	0.047619	0.142857	0.03913	0.02381	0.007565	0.028571	0.03125	0.017647	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.027778	0.028571	0.035714	0.081395	0.032609	0.041667	0.047619	0.142857	0.030435	0.033333	0.035163	0.028571	0.04375	0.041176	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A5	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.019841	0.028571	0.035714	0.05814	0.032609	0.029762	0.047619	0.142857	0.021739	0.02381	0.035163	0.028571	0.03125	0.029412	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A6	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.035714	0.028571	0.035714	0.104651	0.032609	0.053571	0.047619	0.142857	0.03913	0.042857	0.035163	0.028571	0.05625	0.052941	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0
	A7	0	0.142857	0.142857	0.142857	0.035714	0.028571	0.035714	0.104651	0.048913	0.053571	0.047619	0.142857	0.03913	0.038095	0.068089	0.028571	0.03125	0.005882	0.142857	0.142857	0.142857	0	0	0	0	0	0	0

Ek 6 Uygun Liman Seçimi Amaçlı AAS'nin Limit Süper Matris

		T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE KLİMA BAKANLIĞI																											
		Amaç		Limanın Konumu			İç Bölge ekonomisi			Limanın Fiziksel Özellikleri			Liman Verimliliği				Maliyet		Diğer Koşullar					Alternatifler					
			LK1	LK2	LK3	ARD1	ARD2	ARD3	LFO1	LFO2	LFO3	LV 1	LV2	LV3	LV4	M1	M2	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Amaç		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limanın Konumu	LK1	0.013444	0	0	0	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0.013444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK2	0.036617	0	0	0	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0.036617	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LK3	0.052458	0	0	0	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0.052458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ArdBölge ekonomisi	ARD1	0.048001	0	0	0	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0.048001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD2	0.047104	0	0	0	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ARD3	0.047104	0	0	0	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0.047104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limanın Fiziksel Özellikleri	LFO1	0.034087	0	0	0	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0.034087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO2	0.031903	0	0	0	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0.031903	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LFO3	0.031104	0	0	0	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0.031104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liman Verimliliği	LV1	0.021014	0	0	0	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0.021014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV2	0.017114	0	0	0	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0.017114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV3	0.037797	0	0	0	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0.037797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LV4	0.033593	0	0	0	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0.033593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maliyet	M1	0.003547	0	0	0	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0.003547	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M2	0.010642	0	0	0	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0.010642	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diğer Koşullar	DK1	0.008251	0	0	0	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0.008251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK2	0.065122	0	0	0	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0.065122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK3	0.008678	0	0	0	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0.008678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK4	0.0088	0	0	0	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DK5	0.007439	0	0	0	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0.007439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alternatifler	A1	0.060039	0	0	0	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0.060039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0.054547	0	0	0	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0.054547	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A3	0.059586	0	0	0	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0.059586	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0.065383	0	0	0	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0.065383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A5	0.059953	0	0	0	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0.059953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A6	0.070814	0	0	0	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0.070814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A7	0.065859	0	0	0	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0.065859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ek 7 Çok Seviyeli Bulanık Modelin Çözümü İçin Kullanılan Programın Kodları

```
* *****TÜM AMAÇLARIN OPTİMİZASYONU(TEK LAMDA)*****
* *****11/06/2007*****
* *****UMUT RIFAT TUZKAYA*****
```

```
sets i tesisler / tes1, tes2, tes3, tes4 /
j ilk aktarma noktaları / akt11, akt12, akt13, akt14 /
k ikinci aktarma noktaları / akt21,akt22, akt23, akt24, akt25 /
l yerel depolar / yd1, yd2, yd3 /
m talep noktaları / tn1, tn2, tn3, tn4, tn5, tn6, tn7 /;
```

```
sets
p ürün tipleri /p1, p2, p3, p4, p5/
a taşıma modları /kara, demir, deniz/;
```

```
sets a1(a) a setinin 1. altseti /kara/
a2(a) a setinin 2. altseti /kara, demir/
a3(a) a setinin 3. altseti /demir, deniz/
a4(a) a setinin 4. altseti /kara/
a5(a) a setinin 5. altseti /kara, demir/
a6(a) a setinin 6. altseti /kara /;
```

```
scalar Z1kotu / 180339.20 /
Z2kotu / 269793897.89 /
Z3kotu / 258626772.56 /
Z4kotu / 35728896.98 /
Z5kotu / 5970000.00 /
Z6kotu / 140562750.00 /
Z7kotu / 76680750.00 /
Z8kotu / 63882000.00 /

Z1iyi / 518131.80 /
Z2iyi / 227104058.88 /
Z3iyi / 194722537.97 /
Z4iyi / 5197125.33 /
Z5iyi / 0.00 /
Z6iyi / 30525190.00 /
Z7iyi / 19564550.00 /
Z8iyi / 10808000.00 /;
```

```
$Include parametre_Mtas
$Include parametre_Ttas
$Include parametre_Makt
$Include parametre_Takt
$Include parametre_Tdepo
$Include parametre_Mdepo
$Include parametre_diger
```

Variables

$X1(p,i,l,a1)$ i tesisinden l bölgesel deposuna a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$X2(p,i,j,a2)$ i tesisinden j aktarma noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$X3(p,j,k,a3)$ j aktarma noktasından k aktarma noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$X4(p,k,m,a4)$ k aktarma noktasından m talep noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$X5(p,k,l,a5)$ k aktarma noktasından l bölgesel deposuna a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$X6(p,l,m,a6)$ l bölgesel deposundan m talep noktasına a taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarı

$Yj(j)$ j bölgesinde aktarma noktası açmak ile ilgili karar değişkeni (0 - 1)

$Yk(k)$ k bölgesinde aktarma noktası açmak ile ilgili karar değişkeni (0 - 1)

$Yl(l)$ l bölgesinde aktarma noktası açmak ile ilgili karar değişkeni (0 - 1)

Z1 toplam mod etkinliği

Z2 taşıma maliyetleri toplamı

Z3 aktarma maliyetleri toplamı

Z4 tesis açma maliyetleri toplamı

Z5 taşıma süreleri toplamı

Z6 aktarma ve istifleme süreleri toplamı

Z7 tüm maliyetlerin toplamı

Z8 tüm sürelerin toplamı

uyelik1 1. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik2 2. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik3 3. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik4 4. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik5 5. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik6 6. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik7 7. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

uyelik8 8. amaç fonksiyonunun tatmin olma seviyesi

Memnuniyet tüm amaçların tatmin edilmesi

lamda genel tatmin seviyesi;

Positive variable $X1, X2, X3, X4, X5, X6$;

Positive variable $Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8$;

Positive variable $uyelik1, uyelik2, uyelik3, uyelik4, uyelik5, uyelik6, uyelik7, uyelik8$;

Binary variables Yj, Yk, Yl ;

Equations

Ana_amac tüm amaçların memnuniyetinin maksimizasyonu

Amac1 toplam mod etkinliği maks

Amac2 tüm maliyetlerin toplamı min

Amac3 taşıma maliyetleri toplamı min

Amac4 aktarma maliyetleri toplamı min

Amac5 tesis açma maliyetleri toplamı min

Amac6 tüm sürelerin toplamı min

Amac7 taşıma süreleri toplamı min
Amac8 aktarma ve istifleme süreleri toplamı min

EQ1 1. amacın üyelik derecesi
EQ2 2. amacın üyelik derecesi
EQ3 3. amacın üyelik derecesi
EQ4 4. amacın üyelik derecesi
EQ5 5. amacın üyelik derecesi
EQ6 6. amacın üyelik derecesi
EQ7 7. amacın üyelik derecesi
EQ8 8. amacın üyelik derecesi

Amac1_kisiti 1. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac2_kisiti 2. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac3_kisiti 3. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac4_kisiti 4. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac5_kisiti 5. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac6_kisiti 6. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac7_kisiti 7. amacın üyelik derecesi kısıtı
Amac8_kisiti 8. amacın üyelik derecesi kısıtı

Talep(p,m) talep noktalarının taleplerinin karşılanması kısıtı

Denklik2_3(p,j) j aktarma noktasına gelen p ürünü miktarının k aktarma noktasına gönderilecek p ürünü miktarından büyük yada eşit olması koşulu

Denklik3_54(p,k) k aktarma noktasına gelen p ürünü miktarının l yerel deposuna ve m talep noktasına gönderilecek p ürünleri toplamından büyük yada eşit olması koşulu

Denklik15_6(p,l) l yerel deposuna i tesisinden ve k aktarma noktasından gelen p ürünü miktarının m talep noktasına gönderilen p ürünü miktarından fazla olması koşulu

KapasiteJ(j) j seviyesindeki aktarma istasyonlarının kapasitelerinin aşılmaması koşulu
KapasiteK(k) k seviyesindeki aktarma istasyonlarının kapasitelerinin aşılmaması koşulu
KapasiteL(l) l seviyesindeki aktarma istasyonlarının kapasitelerinin aşılmaması koşulu

*Berlindeki 1. tesisin sadece 2. ürün üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit1(l,a1)
Tesiskisit2(l,a1)
Tesiskisit3(l,a1)
Tesiskisit4(l,a1)
Tesiskisit5(j,a2)
Tesiskisit6(j,a2)
Tesiskisit7(j,a2)
Tesiskisit8(j,a2)

*Münihdeki 2. tesisin sadece 1. ve 5. ürünleri üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit9(l,a1)
Tesiskisit10(l,a1)
Tesiskisit11(l,a1)
Tesiskisit12(j,a2)
Tesiskisit13(j,a2)
Tesiskisit14(j,a2)

*Hannoverdeki 3. tesisin sadece 3. ve 5. ürünleri üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit15(l,a1)
 Tesiskisit16(l,a1)
 Tesiskisit17(l,a1)
 Tesiskisit18(j,a2)
 Tesiskisit19(j,a2)
 Tesiskisit20(j,a2)

*Kölndeki 4. tesisin sadece 1. ve 4. ürünleri üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit21(l,a1)
 Tesiskisit22(l,a1)
 Tesiskisit23(l,a1)
 Tesiskisit24(j,a2)
 Tesiskisit25(j,a2)
 Tesiskisit26(j,a2)

* TOPLU MODELİN AMAÇ FONKSİYONU

Ana_amac.. Memnuniyet =e= lamda;

* TEK AMAÇLI MODELLERİN AMAÇ FONKSİYONLARI BURADA KISIT HALİNE DÖNÜŞTÜ (8 ADET)

Amac1.. Z1 =e= sum((a1), mod_etc1(a1)* sum((p,i,l), X1(p,i,l,a1))) +
 sum((a2), mod_etc2(a2)* sum((p,i,j), X2(p,i,j,a2))) +
 sum((a3), mod_etc3(a3)* sum((p,j,k), X3(p,j,k,a3))) +
 sum((a4), mod_etc4(a4)* sum((p,k,m), X4(p,k,m,a4))) +
 sum((a5), mod_etc5(a5)* sum((p,k,l), X5(p,k,l,a5))) +
 sum((a6), mod_etc6(a6)* sum((p,l,m), X6(p,l,m,a6))) ;

Amac2.. Z2 =e= sum((p,i,l,a1), Mtas1(p,i,l,a1)*X1(p,i,l,a1)) +
 sum((p,i,j,a2), Mtas2(p,i,j,a2)*X2(p,i,j,a2)) +
 sum((p,j,k,a3), Mtas3(p,j,k,a3)*X3(p,j,k,a3)) +
 sum((p,k,m,a4), Mtas4(p,k,m,a4)*X4(p,k,m,a4)) +
 sum((p,k,l,a5), Mtas5(p,k,l,a5)*X5(p,k,l,a5)) +
 sum((p,l,m,a6), Mtas6(p,l,m,a6)*X6(p,l,m,a6)) +
 sum((p,i,j,a2), (MaktJBos(p,j,a2)+MdepoJ(p,j,a2))*X2(p,i,j,a2)) +
 sum((p,j,k,a3), MaktJYuk(p,j,a3)*X3(p,j,k,a3)) +
 sum((p,j,k,a3), (MaktKBos(p,k,a3)+MdepoK(p,k,a3))*X3(p,j,k,a3)) +
 sum((p,k,l,a5), MaktKYuk1(p,k,a5)*X5(p,k,l,a5)) +
 sum((p,k,l,a5), (MaktLBos1(p,l,a5)+MdepoL1(p,l,a5))*X5(p,k,l,a5)) +
 sum((p,k,m,a4), MaktKYuk2(p,k,a4)*X4(p,k,m,a4)) +
 sum((p,i,l,a1), (MaktLBos2(p,l,a1)+MdepoL2(p,l,a1))*X1(p,i,l,a1)) +
 sum((p,l,m,a6), MaktLYuk(p,l,a6)*X6(p,l,m,a6)) +
 sum((j), Yj(j)*(MsbtJ(j) + MisltJ(j))) +
 sum((k), Yk(k)*(MsbtK(k) + MisltK(k))) +
 sum((l), Yl(l)*(MsbtL(l) + MisltL(l)));

Amac3.. Z3 =e= sum((p,i,l,a1), Mtas1(p,i,l,a1)*X1(p,i,l,a1)) +
 sum((p,i,j,a2), Mtas2(p,i,j,a2)*X2(p,i,j,a2)) +
 sum((p,j,k,a3), Mtas3(p,j,k,a3)*X3(p,j,k,a3)) +

$$\begin{aligned} & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{Mtas4}(p,k,m,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{Mtas5}(p,k,l,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{Mtas6}(p,l,m,a6)*X6(p,l,m,a6)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amac4.. Z4} = & \text{sum}((p,i,j,a2), (\text{MaktJBos}(p,j,a2)+\text{MdepoJ}(p,j,a2))*X2(p,i,j,a2)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), \text{MaktJYuk}(p,j,a3)*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), (\text{MaktKBos}(p,k,a3)+\text{MdepoK}(p,k,a3))*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{MaktKYuk1}(p,k,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), (\text{MaktLBos1}(p,l,a5)+\text{MdepoL1}(p,l,a5))*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{MaktKYuk2}(p,k,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,i,l,a1), (\text{MaktLBos2}(p,l,a1)+\text{MdepoL2}(p,l,a1))*X1(p,i,l,a1)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{MaktLYuk}(p,l,a6)*X6(p,l,m,a6)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amac5.. Z5} = & \text{sum}((j), Yj(j)*(\text{MsbtJ}(j) + \text{MisltJ}(j))) + \\ & \text{sum}((k), Yk(k)*(\text{MsbtK}(k) + \text{MisltK}(k))) + \\ & \text{sum}((l), Yl(l)*(\text{MsbtL}(l) + \text{MisltL}(l))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amac6.. Z6} = & \text{sum}((p,i,j,a2), (\text{TaktJBos}(p,j,a2)+\text{TdepoJ}(p,j,a2))*X2(p,i,j,a2)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), \text{TaktJYuk}(p,j,a3)*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), (\text{TaktKBos}(p,k,a3)+\text{TdepoK}(p,k,a3))*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{TaktKYuk1}(p,k,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), (\text{TaktLBos1}(p,l,a5)+\text{TdepoL1}(p,l,a5))*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{TaktKYuk2}(p,k,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,i,l,a1), (\text{TaktLBos2}(p,l,a1)+\text{TdepoL2}(p,l,a1))*X1(p,i,l,a1)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{TaktLYuk}(p,l,a6)*X6(p,l,m,a6)) + \\ & \text{sum}((p,i,l,a1), \text{Ttas1}(p,i,l,a1)*X1(p,i,l,a1)) + \\ & \text{sum}((p,i,j,a2), \text{Ttas2}(p,i,j,a2)*X2(p,i,j,a2)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), \text{Ttas3}(p,j,k,a3)*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{Ttas4}(p,k,m,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{Ttas5}(p,k,l,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{Ttas6}(p,l,m,a6)*X6(p,l,m,a6)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amac7.. Z7} = & \text{sum}((p,i,l,a1), \text{Ttas1}(p,i,l,a1)*X1(p,i,l,a1)) + \\ & \text{sum}((p,i,j,a2), \text{Ttas2}(p,i,j,a2)*X2(p,i,j,a2)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), \text{Ttas3}(p,j,k,a3)*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{Ttas4}(p,k,m,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{Ttas5}(p,k,l,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{Ttas6}(p,l,m,a6)*X6(p,l,m,a6)); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amac8.. Z8} = & \text{sum}((p,i,j,a2), (\text{TaktJBos}(p,j,a2)+\text{TdepoJ}(p,j,a2))*X2(p,i,j,a2)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), \text{TaktJYuk}(p,j,a3)*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,j,k,a3), (\text{TaktKBos}(p,k,a3)+\text{TdepoK}(p,k,a3))*X3(p,j,k,a3)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), \text{TaktKYuk1}(p,k,a5)*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,l,a5), (\text{TaktLBos1}(p,l,a5)+\text{TdepoL1}(p,l,a5))*X5(p,k,l,a5)) + \\ & \text{sum}((p,k,m,a4), \text{TaktKYuk2}(p,k,a4)*X4(p,k,m,a4)) + \\ & \text{sum}((p,i,l,a1), (\text{TaktLBos2}(p,l,a1)+\text{TdepoL2}(p,l,a1))*X1(p,i,l,a1)) + \\ & \text{sum}((p,l,m,a6), \text{TaktLYuk}(p,l,a6)*X6(p,l,m,a6)); \end{aligned}$$

$$\text{EQ1.. uyelik1} = (Z1 - Z1\text{kotu}) / (Z1\text{iyi} - Z1\text{kotu});$$

$$\text{EQ2.. uyelik2} = (Z2\text{kotu} - Z2) / (Z2\text{kotu} - Z2\text{iyi});$$

$$\text{EQ3.. uyelik3} = (Z3\text{kotu} - Z3) / (Z3\text{kotu} - Z3\text{iyi});$$

$$\text{EQ4.. uyelik4} = e = (Z4\text{kotu} - Z4) / (Z4\text{kotu} - Z4\text{iyi});$$

$$\text{EQ5.. uyelik5} = e = (Z5\text{kotu} - Z5) / (Z5\text{kotu} - Z5\text{iyi});$$

$$\text{EQ6.. uyelik6} = e = (Z6\text{kotu} - Z6) / (Z6\text{kotu} - Z6\text{iyi});$$

$$\text{EQ7.. uyelik7} = e = (Z7\text{kotu} - Z7) / (Z7\text{kotu} - Z7\text{iyi});$$

$$\text{EQ8.. uyelik8} = e = (Z8\text{kotu} - Z8) / (Z8\text{kotu} - Z8\text{iyi});$$

$$\text{Amac1_kisiti.. } (Z1 - Z1\text{kotu}) / (Z1\text{iyi} - Z1\text{kotu}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac2_kisiti.. } (Z2\text{kotu} - Z2) / (Z2\text{kotu} - Z2\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac3_kisiti.. } (Z3\text{kotu} - Z3) / (Z3\text{kotu} - Z3\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac4_kisiti.. } (Z4\text{kotu} - Z4) / (Z4\text{kotu} - Z4\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac5_kisiti.. } (Z5\text{kotu} - Z5) / (Z5\text{kotu} - Z5\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac6_kisiti.. } (Z6\text{kotu} - Z6) / (Z6\text{kotu} - Z6\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac7_kisiti.. } (Z7\text{kotu} - Z7) / (Z7\text{kotu} - Z7\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Amac8_kisiti.. } (Z8\text{kotu} - Z8) / (Z8\text{kotu} - Z8\text{iyi}) = g = \text{lamda};$$

$$\text{Talep(p,m).. } \text{sum}((k,a4), X4(p,k,m,a4)) + \text{sum}((l,a6), X6(p,l,m,a6)) = e = D(p,m);$$

$$\text{Denklik2_3(p,j).. } \text{sum}((i,a2), X2(p,i,j,a2)) = e = \text{sum}((k,a3), X3(p,j,k,a3));$$

$$\text{Denklik3_54(p,k).. } \text{sum}((j,a3), X3(p,j,k,a3)) = e = (\text{sum}((l,a5), X5(p,k,l,a5)) + \text{sum}((m,a4), X4(p,k,m,a4)));$$

$$\text{Denklik15_6(p,l).. } \text{sum}((i,a1), X1(p,i,l,a1)) + \text{sum}((k,a5), X5(p,k,l,a5)) = e = \text{sum}((m,a6), X6(p,l,m,a6));$$

$$\text{KapasitJ(j).. } \text{sum}((p,i,a2), (X2(p,i,j,a2)) * \text{hacim}(p)) = l = \text{KapasiteJ}(j) * Y_j(j);$$

$$\text{KapasitK(k).. } \text{sum}((p,j,a3), (X3(p,j,k,a3)) * \text{hacim}(p)) = l = \text{KapasiteK}(k) * Y_k(k);$$

$$\text{KapasitL(l).. } \text{sum}((p,k,a5), (X5(p,k,l,a5)) * \text{hacim}(p)) + \text{sum}((p,i,a1), X1(p,i,l,a1) * \text{hacim}(p)) = l = \text{KapasiteL}(l) * Y_l(l);$$

*Berlindeki 1. tesisin sadece 2. ürün üretebilmesi kısıtları

$$\text{Teskisist1(l,a1).. } X1("p1", "tes1", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist2(l,a1).. } X1("p3", "tes1", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist3(l,a1).. } X1("p4", "tes1", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist4(l,a1).. } X1("p5", "tes1", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist5(j,a2).. } X2("p1", "tes1", j, a2) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist6(j,a2).. } X2("p3", "tes1", j, a2) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist7(j,a2).. } X2("p4", "tes1", j, a2) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist8(j,a2).. } X2("p5", "tes1", j, a2) = e = 0;$$

*Münihdeki 2. tesisin sadece 1. ve 5. ürünleri üretebilmesi kısıtları

$$\text{Teskisist9(l,a1).. } X1("p2", "tes2", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist10(l,a1).. } X1("p3", "tes2", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist11(l,a1).. } X1("p4", "tes2", l, a1) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist12(j,a2).. } X2("p2", "tes2", j, a2) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist13(j,a2).. } X2("p3", "tes2", j, a2) = e = 0;$$

$$\text{Teskisist14(j,a2).. } X2("p4", "tes2", j, a2) = e = 0;$$

*Hannoverdeki 3. tesisin sadece 3. ve 5. ürünleri üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit15(l,a1).. $X1("p1","tes3",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit16(l,a1).. $X1("p2","tes3",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit17(l,a1).. $X1("p4","tes3",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit18(j,a2).. $X2("p1","tes3",j,a2)=e=0;$
 Tesiskisit19(j,a2).. $X2("p2","tes3",j,a2)=e=0;$
 Tesiskisit20(j,a2).. $X2("p4","tes3",j,a2)=e=0;$

*Köln'deki 4. tesisin sadece 1. ve 4. ürünleri üretebilmesi kısıtları

Tesiskisit21(l,a1).. $X1("p2","tes4",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit22(l,a1).. $X1("p3","tes4",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit23(l,a1).. $X1("p5","tes4",l,a1)=e=0;$
 Tesiskisit24(j,a2).. $X2("p2","tes4",j,a2)=e=0;$
 Tesiskisit25(j,a2).. $X2("p3","tes4",j,a2)=e=0;$
 Tesiskisit26(j,a2).. $X2("p5","tes4",j,a2)=e=0;$

Model Transport /All/;

Solve Transport using mip maximizing Memnuniyet;

display X1.l ,

X2.l ,
 X3.l ,
 X4.l ,
 X5.l ,
 X6.l ,
 Z1.l,
 z2.l,
 z3.l,
 z4.l,
 z5.l,
 z6.l,
 z7.l,
 z8.l,
 uyelik1.l,
 uyelik2.l,
 uyelik3.l,
 uyelik4.l,
 uyelik5.l,
 uyelik6.l,
 uyelik7.l,
 uyelik8.l;

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 19.06.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1996 Pertevniyal Süper Lisesi

Lisans 1996-2000 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Müh. Programı

2000-2003 İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı, İşletme Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2000-Devam ediyor YTÜ Makine Fak. Endüstri Mühendisliği Böl. Endüstri
Mühendisliği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi