

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU TAŞIMACILIK KORİDORLARININ
SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA AÇISINDAN
İNCELENMESİ

Volkan ÇETİNKAYA

Mart, 2020
İZMİR

ÇOKLU TAŞIMACILIK KORİDORLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA AÇISINDAN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

Volkan ÇETİNKAYA

Mart, 2020

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

VOLKAN ÇETİNKAYA, tarafından PROF. DR. DURMUŞ ALİ DEVECİ yönetiminde hazırlanan “ÇOKLU TAŞIMACILIK KORİDORLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA AÇISINDAN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Durmuş Ali DEVECİ

Yönetici



Prof. Dr. Okan TUNA

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Muhittin Hakan DEMİR



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın oluőmasında katkıları ile beni yönlendiren, başta danıőmanım Sayın Prof. Dr. D. Ali DEVECİ olmak üzere, süreç boyunca değerli katkılarını sunan tez izleme komitesi üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a, çalıőmamı bitirebilmemde rol oynayan, akademik hayatımın her alanında desteğini gördüğüm ve örnek aldığım tez izleme komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Okan TUNA'ya, doktora eğitim hayatımdaki tavsiye ve yönlendirmelerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Serhan TANYEL'e, ve İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Ulaştırma Programı diğer öğretim üyelerine, Ulaştırma Programı'nda doktora eğitimi alma fikrini vererek destek olan Sayın Prof. Dr. A. Güldem CERİT'e, saha araştırması aşamasında işletmelerinin kapılarını açan firma yöneticilerine teşekkür ederim. Son olarak; destek ve sabırları için aileme, oğlum Sarp ÇETİNKAYA'ya eőim Nuray ÇETİNKAYA'ya ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Volkan ÇETİNKAYA

ÇOKLU TAŞIMACILIK KORİDORLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZ

Sürdürülebilirlik kavramının ilk olarak ortaya atıldığı Brundtland Raporu ile ekonomik ve sosyal etkisi yüksek, çevresel etkisi düşük ulaştırma sistemlerinin tasarlanması yük ve yolcu taşımacılığı için önemli bir amaç olmuştur. Birleşmiş Milletler'in 2030 yılında hedef olarak ortaya koyduğu, yaşanabilir bir dünya için yayınladığı on yedi sürdürülebilirlik amacı dahilinde, sürdürülebilir ulaştırma sistemleri için bir dizi politikalar oluşturmak gereklidir. Var olan bu politikaları güçlendirmek adına yük taşımacılığında sürdürülebilir rotaların seçimi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, bir çıkış noktası ve hedef ulaştırma noktası arasında alternatif yük taşıma rotalarının sürdürülebilirlik performanslarının ele alınarak en uygun maliyetli, en düşük çevresel etkisi ve en yüksek sosyal etkisi olan rotanın seçimini sağlayacak çoklu taşıma ulaştırma sisteminin tasarlanmasıdır. Bu amaç çerçevesinde üç temel aşama içeren bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Karar destek sisteminin birinci aşamasında çoklu ulaştırma sisteminin sürdürülebilirlik performansının ölçülebilmesi için gerekli, çalışmanın ön araştırma aşamasında belirlenen çoklu taşıma sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyi tespit edilmiştir. İkinci aşamada; alternatif rotaların tespiti sonrası, maliyet-transit süre yöntemi ve risk analizi ile rotaların ekonomik performansı, emisyon hesaplama modeli ile çevresel etki performansı ve güvenlik, emniyet analizleri ile sosyal performansları ölçülmüştür. Son aşama ise, göstergeler ile ilgili ekonomik, çevresel ve sosyal hedeflere ulaşmayı sistem kısıtları dahilinde sağlayabilecek bir optimizasyon yöntemi ile alternatifler arasından en uygun rota seçimine dayandırılmıştır.

Önerilen karar destek sisteminin uygulanabilirliğini ispatlamak amacı ile, İzmir'den Lodz, Polonya'ya bir yükün ulaştırılması problemi ele alınmıştır. Örnek uygulamada, İzmir'den çıkarılan yükün Lodz'a ulaştırılması için yük sahibinin

sürdürülebilirlik göstergelerine verdiği önem düzeyi ve yük sahibinin kısıtları göz önüne alınarak, alternatif rotalar değerlendirilmiş ve ekonomik, ekonomik-çevresel, ekonomik-çevresel-sosyal performanslar açısından en iyi rotalar tespit edilmiştir. Uygulamadan elde edilen sonuçlar, önerilen karar destek sisteminin bir rota veri tabanı desteği ile farklı çıkış ve hedef noktaları arasında da uygulanabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Çoklu taşıma, sürdürülebilir ulaştırma, rota seçimi, çok kriterli karar verme, optimizasyon, sıfır-bir hedef programlama



AN ANALYSIS OF INTERMODAL TRANSPORTATION CORRIDORS IN TERMS OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION

ABSTRACT

Through the Brundtland Report, it is an important aim for freight and passenger transport to be designed with high economic, social and low environmental impact. The seventeen sustainability objectives set by the United Nations for a more livable world in 2030 is required to establish a series of policies for sustainable transport systems. In order to strengthen these existing policies, the selection of sustainable routes in freight transport has a great of importance.

The main purpose of this study is to design an intermodal transportation system that will provide the selection of the most cost effective route with the lowest environmental impact and the highest social contribution by considering the sustainability performances of alternative freight transport routes through an origin and a destination point. In accordance with this purpose, a decision support system has been developed which includes three basic stages. In the first stage of the decision support system, the importance level of sustainable intermodal transportation indicators, identified in the preliminary research stage of the study, required to measure the sustainability performance of the intermodal transportation system has been determined. In the second stage, after having determined the alternative routes, economic performance, environmental impact performance and social performance of the routes have been measured by means of cost-transit time method, risk analysis, emission calculator, safety and security analyses, respectively. The last stage is based on the selection of the most appropriate route among alternatives through an optimization method that can achieve the economic, environmental and social targets within the user constraints.

In order to prove the applicability of the proposed decision support system, a problem of transporting from İzmir-Turkey to Lodz-Poland has been focused. In handling this problem, alternative routes have been evaluated and the best routes have

been determined in terms of economic, economic-environmental and economic-environmental-social performances, taking into consideration the importance to sustainability indicators considered by the relevant decision makers and the constraints of the system whose values are determined by the relevant decision makers. The results obtained from the application show that the decision support system can be applied between different origins and destinations with the support of a wide route database.

Keywords: Intermodal transportation, sustainable transport, route selection, multi-criteria decision making, optimization, zero-one goal programming



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Motivasyon.....	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin Katkısı	4
1.4 Tezin Tasarımı ve Düzenlenmesi.....	6
BÖLÜM İKİ – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR: ÇOKLU TAŞIMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA	8
2.1 Giriş.....	8
2.2 Çoklu Taşıma	8
2.2.1 Çoklu Taşıma Kapsamındaki Taşıma Türleri.....	9
2.2.2 Çoklu Taşıma Teorik Çerçeve.....	11
2.2.3 Çoklu Taşıma Çalışmaları	15
2.3 Sürdürülebilir Gelişme	28
2.4 Sürdürülebilir Ulaştırma ve Sürdürülebilir Yük Taşıma.....	30
2.4.1 Sürdürülebilir Ulaştırma Teorik Çerçeve	33
2.4.2. Sürdürülebilir Ulaştırma Göstergeleri	37
2.4.2.1 Sürdürülebilir Ulaştırma Ekonomik Göstergeleri.....	39
2.4.2.2 Sürdürülebilir Ulaştırma Çevresel Göstergeleri.....	40
2.4.2.3 Sürdürülebilir Ulaştırma Sosyal Göstergeleri.....	41
2.5 Sonuç	45

BÖLÜM ÜÇ – SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU TAŞIMACILIK ROTASI SEÇİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ 46

3.1 Giriş	46
3.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Rotası Seçimi için KDS Önerisi.....	47
3.3 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi.....	49
3.3.1 Araştırmanın Tasarımı	49
3.3.2 Araştırmanın Örneklem Tespiti	50
3.3.3 Araştırma Saha Uygulaması	51
3.3.4 Araştırmanın Güvenilirliği-Geçerliliği	51
3.4 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin BWM (Best-Worst Method) ile Ağırlıklandırılması	51
3.4.1 BWM (Best-Worst Method) Metodu İkili Karşılaştırma Ölçeği:	53
3.4.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin İkili Karşılaştırması:	54
3.4.3 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergeleri Optimal Ağırlıklarının..... bulunması	55
3.5 Rotaların Belirlenmesi.....	56
3.6 Maliyet - Transit Süre Analizi.....	57
3.7 Rota Ekonomik Risk Analizi.....	58
3.7.1 Risk ve Tehlikelerin Belirlenmesi	58
3.7.2 Risk Puanlarının Tespiti	61
3.8 Rota Emisyon Analizi	64
3.8.1 Emisyon Miktarı Hesaplama Yöntemleri	64
3.8.2 EcoTransit Emisyon Miktarı Hesaplama Aracı.....	66
3.8.2.1 EcoTransit ile İlgili Genel Tanımlar ve Kabuller	66
3.8.2.2 EcoTransit Emisyon Faktörleri ve Hesaplama Kuralları	68
3.8.2.2.1 Karayolu Emisyon Miktarı Hesaplama	70
3.8.2.2.2 Demiryolu Emisyon Miktarı Hesaplama.....	72
3.8.2.2.3 Denizyolu Emisyon Miktarı Hesaplama	73
3.8.2.3 EcoTransit Veri Giriş Arayüzü	73
3.8.2.4 EcoTransit Veri Girişi İçin Kabuller.....	75
3.9 Rota Güvenlik Analizi.....	76

3.10 Rota Emniyet Analizi	80
3.11 Optimizasyon.....	87
3.11.1 0-1 Hedef Programlama.....	87
3.11.2 KDS'ye ait 0-1 Hedef Programlama Modeli	90
3.11.2.1 Ekonomik Olarak En Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli.....	91
3.11.2.2 Ekonomik ve Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli	92
3.11.2.3 Ekonomik-Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli	93
3.11.3 Hedef Değerlerin Belirlenmesi	96
3.12 Sonuç	96

BÖLÜM DÖRT – SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU TAŞIMACILIK ROTASI SEÇİMİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ MODELİ ÖNERİSİNİN TÜRKİYE-AVRUPA TAŞIMA KORİDORUNDA UYGULANMASI..... 98

4.1 Giriş	98
4.2 Veri Toplama Süreci	100
4.3 Mevcut Sistem Analizi	101
4.4 Kapsam ve Varsayımlar	102
4.5 Analizler ve Bulgular	103
4.5.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi.....	103
4.5.1.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi Çalışması Güvenilirliği.....	113
4.5.1.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi Çalışması Geçerliliği	113
4.5.2 Best-Worst Method (BWM) ile Gösterge Ağırlıklandırması.....	119
4.5.3 Çiğli-Lodz Çoklu Taşıma Rotalarının Belirlenmesi	126
4.5.4 Çiğli-Lodz Koridoru Rotalarına ait Maliyet-Transit Süre Analizi Bulguları	133
4.5.5 Rota Ekonomik Risk Analizi Bulguları	134

4.5.6 Rota Emisyon Analizi Bulguları	137
4.5.7 Rota Güvenlik Analizi Bulguları.....	145
4.5.8 Rota Emniyet Analizi Bulguları.....	151
4.5.9 0-1 Hedef Programlama Optimizasyon Bulguları.....	154
4.5.9.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergeleri Önem Düzeyleri	155
4.5.9.2 Çiğli-Lodz Sevkleri için Hedeflerin Belirlenmesi.....	155
4.5.9.3 Çiğli- Lodz Sevkleri 0-1 Hedef Programlama Modelleri ve Çözümleri	156
4.5.9.3.1 Çiğli-Lodz Ekonomik Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli	156
4.5.9.3.2 Çiğli-Lodz Ekonomik Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü.....	160
4.5.9.3.3 Çiğli-Lodz Ekonomik-Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli	164
4.5.9.3.4 Çiğli-Lodz Ekonomik-Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü.....	167
4.5.9.3.5 Çiğli-Lodz Ekonomik-Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli .	169
4.5.9.3.6 Çiğli-Lodz Ekonomik Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü.....	172
4.6 Sonuç.....	175
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	178
5.1 Araştırmanın Bilimsel Katkısı.....	180
5.2 Gelecek Araştırma Önerileri	182
KAYNAKLAR	184
EKLER.....	204

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Tezin tasarımı ve düzenlenmesi	7
Şekil 2.1 Çoklu taşıma beş katman modeli	13
Şekil 2.2 Çoklu taşıma boyutları ve fonksiyonları.....	14
Şekil 2.3 Sürdürülebilirlik temel unsurları.....	29
Şekil 2.4 Sürdürülebilir yük ulaştırması	35
Şekil 2.5 Sürdürülebilir ulaştırma çerçevesi	36
Şekil 3.1 Önerilen karar destek sistemine ait model	48
Şekil 3.2 Tedarik zinciri emisyon salımı hesaplama yöntemleri	65
Şekil 3.3 EcoTransit standart arayüzü.....	74
Şekil 3.4 EcoTransit genişletilmiş arayüzü.....	74
Şekil 3.5 Dünya ana göç rotaları	83
Şekil 3.6 Akdeniz-Avrupa ana göç rotaları.....	84
Şekil 3.7 Akdeniz-Avrupa deniz göç rotaları.....	84
Şekil 3.8 Akdeniz-Avrupa özet göç rotaları.....	85
Şekil 4.1 Sürdürülebilirlik temel boyutları önem düzeyleri.....	120
Şekil 4.2 Ekonomik sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri	121
Şekil 4.3 Ekonomik-çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri.....	122
Şekil 4.4 Sosyal sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri	123
Şekil 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem düzeyleri	124
Şekil 4.6 Rota 1 Çiğli-Lodz Unimodal Rotası	127
Şekil 4.7 Rota 2 Çiğli-İzmir-Trieste-Ostrava-Lodz Çoklu Taşıma Rotası	128
Şekil 4.8 Rota 3 Çiğli-İzmir-Hamburg-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası	129
Şekil 4.9 Rota 4 Çiğli-İzmir-Bremerhaven-Gdansk-Lodz Çoklu Taşıma Rotası	130
Şekil 4.10 Rota 5 Çiğli-Aliğa-Bremerhaven-Poznan-Lodz Çoklu Taşıma Rotası. 131	
Şekil 4.11 Rota 6 Çiğli-İzmir-Rotterdam-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası	132
Şekil 4.12 Rota 7 Çiğli-Aliğa-Bremerhaven-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası. 133	

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Çoklu taşımacılık taktik planlama boyutundaki çalışmalar.....	19
Tablo 2.2 Çoklu taşımacılık operasyonel planlama boyutundaki çalışmalar.....	23
Tablo 2.3 Çoklu taşımacılık stratejik planlama boyutundaki önceki çalışmalar	25
Tablo 2.4 Sürdürülebilir ulaştırma ekonomik kriterler ve göstergeler.....	42
Tablo 2.5 Sürdürülebilir ulaştırma çevresel kriterler ve göstergeler.....	43
Tablo 2.6 Sürdürülebilir ulaştırma sosyal kriterler ve göstergeler.....	44
Tablo 3.1 BWM (Best-Worst Method) ikili karşılaştırma ölçeği	54
Tablo 3.2 Ekonomik risklere ait alt riskler.....	60
Tablo 3.3 Risk olasılık ve etki ölçekleri.....	62
Tablo 3.4 Risk değerlendirme karar matrisi.....	63
Tablo 3.5 Risk kategorizasyonu	63
Tablo 3.6 Karayolu sınıflandırması ve sürtünme faktörü	70
Tablo 3.7 Tır sınıflarının boyutları ve ağırlıkları	71
Tablo 3.8 Tır için yük tipine göre kapasite kullanım faktörleri oranları.....	71
Tablo 3.9 Demiryolu sınıflandırması ve sürtünme faktörü.....	72
Tablo 3.10 Konteyner treni boyutları ve ağırlıkları	72
Tablo 3.11 Tren için yük tipine göre kapasite kullanım faktörleri oranları.....	72
Tablo 3.12 Veri girişi için taşıma türü kabulleri	76
Tablo 3.13 Yük ve yolcu taşımacılığında taşıma türü bazında ölümlü kaza sayıları.	77
Tablo 3.14 AB ülkeleri taşıma türüne göre bir milyar yolcu km. başına ölüm sayıları	78
Tablo 3.15 AB ülkeleri ağır taşıt ölümlü kaza istatistikleri	79
Tablo 3.16 Karayolu ceza puanı ölçeği.....	80
Tablo 3.17 Yasal olmayan geçişler taşıma türleri.....	82
Tablo 3.18 Göç rotalarına ait yasal olmayan geçişler ve taşıma türleri.....	86
Tablo 3.19 Avrupa-Akdeniz Göç Rotaları risk puanı ölçeği	87
Tablo 3.20 KDS modeli tasarım süreci aşamaları.....	97
Tablo 4.1 Veri toplama sürecinde yapılan görüşmeler	100
Tablo 4.2 Uzman örnekleme.....	105

Tablo 4.3 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerleri	108
Tablo 4.4 İkinci aşama uzman örnekleme	114
Tablo 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ikinci aşama ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler.....	115
Tablo 4.6 Ekonomik sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları	125
Tablo 4.7 Ekonomik-çevresel sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları	125
Tablo 4.8 Ekonomik-çevresel-sosyal sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları	125
Tablo 4.9 Çiğli-Lodz ulaştırma rotaları	126
Tablo 4.10 Rotalara ait ulaştırma maliyeti ve transit süreler	134
Tablo 4.11 Rota ekonomik risk analizi sonuçları.....	136
Tablo 4.12 Rota 1 emisyon analizi sonuçları	139
Tablo 4.13 Rota 2 emisyon analizi sonuçları	139
Tablo 4.14 Rota 3 emisyon analizi sonuçları	140
Tablo 4.15 Rota 4 emisyon analizi sonuçları	140
Tablo 4.16 Rota 5 emisyon analizi sonuçları	141
Tablo 4.17 Rota 6 emisyon analizi sonuçları	141
Tablo 4.18 Rota 7 emisyon analizi sonuçları	142
Tablo 4.19 Rota emisyon salım miktarları	143
Tablo 4.20 Rota taşıma türü kullanım oranları	144
Tablo 4.21 Rota 1 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	146
Tablo 4.22 Rota 2 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	146
Tablo 4.23 Rota 3 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	147
Tablo 4.24 Rota 4 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	147
Tablo 4.25 Rota 5 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	148
Tablo 4.26 Rota 6 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	148
Tablo 4.27 Rota 7 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları	149
Tablo 4.28 Rotalara ait ölümlü ağır taşıt kaza puanları	150
Tablo 4.29 Göç rotaları risk puanı	152
Tablo 4.30 Rota emniyet analizi sonuçları.....	153

Tablo 4.31 Firma Lodz sevkleri ile ilgili hedef ve limit değerleri	155
Tablo 4.32 Ekonomik olarak optimal rota sıralaması	162
Tablo 4.33 Ekonomik-Çevresel olarak optimal rota sıralaması.....	168
Tablo 4.34 Ekonomik-Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) olarak optimal rota sıralaması	174



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Motivasyon

Ulaştırma ve lojistik yönetiminde temel kararlardan bir tanesi ulaştırmanın gerçekleştirileceği taşıma türünün seçimidir. Bu seçimi yapan ulaştırma yöneticileri genellikle maliyet ve transit süre gibi iki temel kavramı değerlendirerek bir seçim yapar (Meixell ve Norbis, 2008). Diğer taraftan büyüyen iklim değişimi sorunu ile birlikte ülkeler ve uluslararası kuruluşlar ulaştırmanın çevre üzerindeki olumsuz etki seviyesini azaltmak için öneriler getirerek ve yeni ulaştırma politikaları oluşturarak, bu soruna çözümler bulmaya çalışmaktadır. İlk olarak 1987 yılında yayınlanan Brundtland Raporu ile öne sürülen sürdürülebilirlik yaklaşımı son on yıldır ulaştırma alanındaki bilimsel çalışmalarda ve ulaştırma sektöründe önem kazanmıştır. Birleşmiş Milletler tarafından, 2015 yılında Sürdürülebilirlik Hedefleri Raporu'nun 2030 yılında yaşanabilir bir dünya yaratmak başlığı altında yayınlanması ile birlikte sürdürülebilirlik konusunun önemi daha da artmıştır (UN, 2015). 2000'li yıllar itibari ile, çevreye en az olumsuz etki ile maksimum ekonomik verimi hedefleyen yeşil ulaştırma gündeme gelmiştir. Bu bakımdan günümüzde özellikle ulaştırma hizmetini sunan taraflar, uluslararası kurumlar ve yönetimler tarafından oluşturulan sürdürülebilir ulaştırma politikalarına uygun süreçler ortaya koymalıdır.

Ulaştırma süreçlerinin sürdürülebilirlik performanslarının ölçülebilmesi için ilk olarak gerekli göstergelerin seçilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir ulaştırma literatüründeki çalışmalarda daha çok kent içi yolcu ulaştırma sistemlerinin sürdürülebilirlik performansı değerlendirilerek, sistem gerekliliklerine göre göstergeler seçilmiş ve sürdürülebilirlik performansı ölçülmüştür. Diğer taraftan, yük taşımacılığı ile ilgili çalışmalarda maliyet ve transit süre göstergeleri üzerine yoğunlaşmış iken, sürdürülebilirlik kavramının gündeme dahil olması ile birlikte yük taşıma sistemlerinin çevresel etkiler açısından sürdürülebilirlik performansları ölçülmüştür. Sürdürülebilir ulaştırma değerlendirmeleri özellikle son yıllarda çevresel

boyut üzerine odaklansa da sosyal konular sürdürülebilir gelişim modellerinin ayrılmaz bir parçası olarak nitelendirilmiştir (Sara, Tavassoli ve Heshmati, 2019).

Maliyet, istihdam, gayrisafı milli hasıla, ekonomik katkı, enerji tüketimi ve çevresel sorunlar politika oluşturmada karmaşıklığı büyük ölçüde arttıran unsurlardır. Günümüzde ulaştırma politika oluşturucularının karşılaştıkları temel sorun, bu unsurlar ile ilgili ekonomik, çevresel ve sosyal anlamda sürdürülebilirlik sağlayabilmek için bir dizi etkili politika oluşturmaktır. Karbondioksit, iklim değıştirici emisyonların önemli bir bileşeni olduğu için karbondioksit salımının izlenmesi devletler için önemli bir konu haline gelmiştir. Bununla birlikte, çevresel bilincin artması ve karbondioksit salım miktarının ulaştırma hizmet sunucuları tarafından kamuya sunulmasının tüm dünyada zorunlu olacağı beklentisi ile emisyon takibi ulaştırma hizmeti sunucuları için de önemli bir hal almıştır. Diğer taraftan, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik birbiri ile yakından ilgilidir ve etkileşimleri büyük önem taşımaktadır (Rabar, 2017).

Tüm taşıma türlerinin etkin yönlerini ulaştırma sistemi ile uyumlaştırarak, aslında temelinde ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak olan çoklu yük taşımacılığında rota seçim kararlarına yönelik uygulamalar çalışmanın literatür araştırması bulgularında da görüldüğü üzere son yıllarda oldukça artmıştır. Fakat çoklu taşıma sistemini sürdürülebilirliğin tüm göstergeleri ile bütünleşik olarak ele alan, sürdürülebilir rota seçim kararı ortaya koyan bir model örneği bulunmamaktadır. Sürdürülebilir ulaştırma literatürü incelendiğinde; sürdürülebilirlik kavramına ait sosyal göstergelerin sadece kent içi yolcu taşımacılığı kapsamında incelendiği gözlenmektedir. Fakat trafik kazaları ve son yıllarda gündeme gelen yük taşıma araçları ile ülke sınırlarından yasal olmayan yolcu girişlerinin istenmeyen sonuçlar doğurması yük taşımacılığının sosyal açıdan da incelenme gerekliliğini ortaya koymuştur. Çoklu yük taşımacılığı alanında sürdürülebilirliği yukarıda bahsedilen ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan ele alan, optimizasyon temelli bir karar destek sistemi modeli ile rota seçimi, taşıtan ve taşıyan taraflar ve politika oluşturucular açısından önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışmada; çoklu yük taşımacılığında sürdürülebilir rota seçimi için bir karar destek sistemi önerisi getirilmiştir. Önerilen karar destek sistemi geliştirilmeden önce, araştırma sonucunda daha anlamlı sonuçlar elde edebilmek amacı ile kullanılacak sürdürülebilirlik göstergeleri ulaştırma alanında çalışan uzman görüşleri ile edilmiştir. Önerilen karar destek sistemi, çok kriterli karar verme, rota oluşturma, rota maliyet-transit süre analizi, rota ekonomik risk analizi, rota emisyon analizi, rota güvenlik ve emniyet analizi, ve tüm bu aşamaların çıktılarını girdi olarak değerlendiren optimizasyon aşamalarını içermektedir. Çok kriterli karar verme aşamasında nitel araştırma sonucu ortaya konan sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin önem düzeyi BWM (Best-Worst Method) yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra, yükün çıkış noktası ve hedef nokta tespit edildikten sonra ilgili noktalar arası taşıma rotası alternatifleri oluşturulmuştur. Sonraki aşamalarda; elde edilen bu rotaların maliyet ve transit süre, ekonomik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet açısından performansları ortaya konarak, optimizasyon aşamasında 0-1 hedef programlama yöntemi ile uygun rota tespit edilmiştir. Araştırma, sürdürülebilirlik kavramının üç boyutunu da bütünlük olarak ele alması, sürdürülebilirliği çoklu taşıma alanında uygulaması açısından özgün bir çalışma olarak nitelendirilebilir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın genel amacı; belirli yük çıkış noktaları ve hedef noktalar arasında kullanılan ve alternatif olarak ortaya çıkarılan çoklu taşıma rotaları için, kullanıcı kısıtlarını da gözönüne alarak sürdürülebilirlik performansı değerlendirmesi yapabilen, bütünlük bir karar destek modeli geliştirmektir. Bahsedilen ana amaç dışında çalışmanın diğer kritik amaçları aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

1. Sürdürülebilir çoklu ulaştırma performans ölçümü için gerekli göstergelerinin belirlenmesi,
2. Ortaya çıkarılan sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin çoklu taşıma rota kullanıcısı taşıyanlar açısından önem düzeyinin tespiti,

3. Mevcutta kullanılan rotalara alternatifler üretilerek, uygulama alanı için potansiyel rotaların ortaya çıkarılması,
4. Rota temelli maliyet ve transit süre performansının belirlenmesinin yanında, risk analizi ile rotalara ait güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski ve bürokratik risklerin ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda belirlenmesi ve risk seviyelerinin ortaya konması,
5. Rotalarda her bir taşıma ayağında ortaya çıkan emisyon miktarlarının hesaplanarak, rotaların çevresel etki performanslarının belirlenmesi,
6. Rotalarda ağır taşıtların karıştığı trafik kazalarının analizi ile güvenli çoklu taşıma rotalarının tespit edilmesi,
7. Rotalarda meydana gelen yasal olmayan yolcu geçişleri ve rotaların uluslararası göç rotalarına yakınlığının incelenerek, emniyetli rotaların tespit edilmesi,
8. Sürdürülebilir ulaştırma için çoklu taşıma sistemlerinin gerekliliğinin ortaya konması ve çoklu taşıma ile ortaya konan faydaların boyutlarının belirlenmesidir.

1.3 Tezin Katkısı

Literatür incelendiğinde; son on yılda sürdürülebilir ulaştırma ilgi çeken bir konu olsa da; temelinde sürdürülebilirliği hedef alan çoklu taşıma ile sürdürülebilirlik kavramını ilişkilendiren yeterli düzeyde çalışma bulunmamaktadır. Çoklu taşıma alanında gerçekleştirilen ilk nicel çalışmalar genellikle maliyet ve transit süre değişkenlerini optimize ederek en iyi rotayı seçmeye çalışmışlardır. Sonraki dönemlerde bu değişkenlere çevresel etki eklenerek yeşil ulaştırma, yeşil koridor başlıkları altında çalışmalar gerçekleştirilse de; bu çalışmalar ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik değişkenlerini bütünlük olarak ele almamışlardır. Sosyal sürdürülebilirlik açısından, ulaştırma hizmetinin halka faydası amaçlandığı için sürdürülebilirliğin sosyal boyutunun yük ulaştırması ile ilişkilendirmesi kolay

olmayan bir durumdur. Bu tez kapsamında; çoklu yük ulaştırması, sürdürülebilirliğin her üç boyutunda yer alan göstergeler dikkate alınarak, karar destek sistemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada özellikle sosyal boyut kapsamında, güvenlik göstergesini temsilen trafik kaza verisinin ve emniyet göstergesini temsilen, güncel bir konu olan mülteci sorunu çerçevesinde yasal olmayan yolcu geçiş verisinin değerlendirilmesi çalışmaya özgünlük katmaktadır.

Çalışmanın sürdürülebilir ulaştırma ve sürdürülebilir yük taşıma ve sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri başlıkları altındaki referans kaynaklara bakıldığında görülmektedir ki; sürdürülebilir ulaştırma ile ilgili çalışmalar daha çok kent içi yolcu ulaştırmasını ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda incelemiştir. Sürdürülebilir ulaştırma çalışmalarının kent içi yolcu ulaştırmasına odaklanması, yük ulaştırması ile ilgili sürdürülebilirlik göstergelerinin net olarak belirlenemediği gerçeğini ortaya koymuştur. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak amacı ile çalışmanın ön aşamasında uzman görüşü alınarak, ana çalışmada girdi olarak kullanılacak sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin ilk aşaması birden çok kriterin optimize edilerek ağırlıklandırılmasıdır. Rezaei (2015) tarafından literature yeni bir yöntem olarak kazandırılan BWM (Best-Worst Method) bu çalışma kapsamında çok kriterli karar verme aracı kullanılmıştır.

Çalışmada önerilen KDS, kullanıcıların nitel değerlendirmelerini çok kriterli karar verme ve risk analizi yöntemleri ile nicelleştirerek optimizasyon gibi bir başka nicel yöntemle entegre ettiğinden, güvenilir ve gerçekçi bir araçtır. Diğer taraftan; kullanılan optimizasyon yönteminde göstergeler için kısıt değerler belirlenebilmesi, çalışmanın farklı kullanıcı ve farklı ulaştırma koridorları için uygulanabilirliği konusundaki esnekliğini göstermektedir. Ortaya konan karar destek modeli ulaştırma politikası oluşturucuları, yük taşıyanlar, yük taşıyanlar, taşıma işleri organizatörleri, çoklu taşıma operatörleri için etkin sürdürülebilir ulaşım sistemleri kurulması ile ilgili kararlar almada fayda sağlayacaktır.

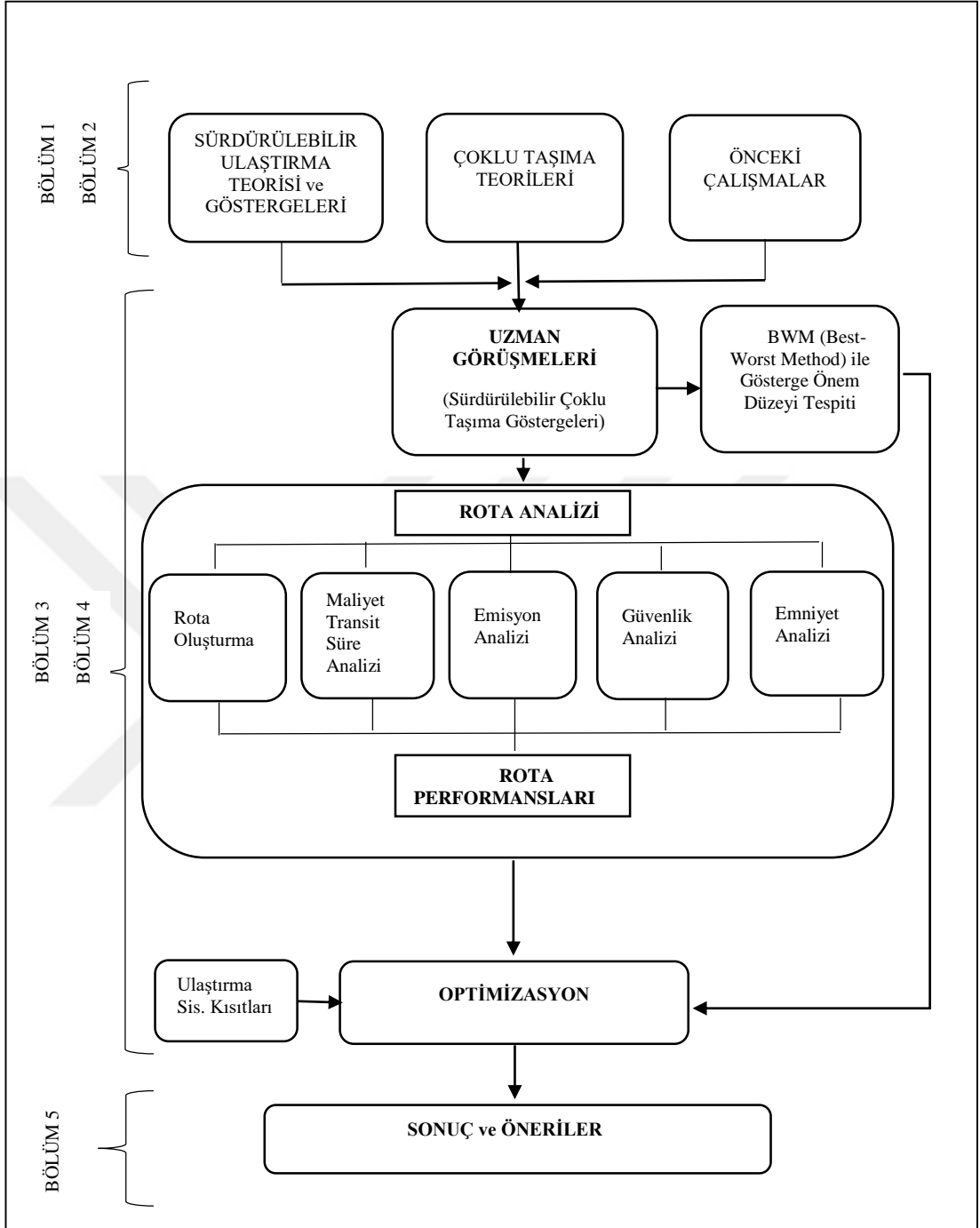
1.4 Tezin Tasarımı ve Düzenlenmesi

Bu araştırma beş ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümü birinci bölüm olup, diğer bölümler aşağıda belirtildiği gibi oluşturulmuştur:

İkinci bölümde; ilk olarak çoklu taşıma ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve çoklu taşıma ile ilişkili taşıma sistemleri tanımlanmıştır. Daha sonra; çoklu taşıma teorik modelleri incelenmiş ve çalışmalar amaç, yöntem, planlama boyutu gibi kriterler dahilinde sınıflandırılmıştır. İkinci bölümün sonraki aşamasında; sürdürülebilir ulaştırma teorik çerçevesi ve ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Sonrasında sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri incelenmiş ve sürdürülebilir çoklu taşıma için gerekli gösterge havuzu oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümde; çalışmada önerilen karar destek sistemine ait sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin tespiti ve ağırlıklandırılması, rota tespiti, maliyet-transit süre analizi, ekonomik risk analizi, emisyon analizi, güvenlik analizi, emniyet analizi ve optimizasyon aşamaları açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; önerilen karar destek sisteminin, bir ambalaj firmasının ulaştırma sistemi ile ilgili olarak uygulaması gerçekleştirilmiş, bulgular doğrultusunda öneriler getirilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise; araştırmanın sonuçları ortaya konmuş, çalışmanın katkısı açıklanmış ve gelecekte gerçekleştirilebilecek çalışmalar ile ilgili öneriler getirilmiştir. Tezin tasarımı ve düzeni şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Tezin tasarımı ve düzenlenmesi

BÖLÜM İKİ

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR: ÇOKLU TAŞIMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA

2.1 Giriş

Bu bölüm araştırmanın kavramsal çerçevesini destekleyen çoklu taşıma ve sürdürülebilir ulaştırma ile ilgili önceki çalışmaları ve teorileri açıklamaktadır. Bu açıdan, bölüm şu şekilde düzenlenmiştir. İlk aşamada, bölüm 2.2’de çoklu taşıma kavramı, çoklu taşıma ile ilişkili diğer taşıma türleri ve ilgili literatürdeki tanımlar tartışılmıştır. Aynı bölüm içerisinde çoklu taşıma alanında gerçekleştirilmiş çalışmalar amaç, kullanılan yöntem, planlama boyutu, problem tipi ve karar vericiler açısından incelenmiş ve gruplandırılmıştır. Bölüm 2.3 ve devamında sürdürülebilir gelişme kavramından yola çıkılarak, sürdürülebilir ulaştırma çalışmaları incelenmiş, çalışmalarda kullanılan sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri tespit edilmiştir. Son olarak; bölüm 2.6’ da önceki çalışmalar bölümü ile ilgili sonuçlar paylaşılmıştır.

2.2 Çoklu Taşıma

Hayuth (1987), ulaştırmayı talep ve arz merkezleri arasındaki mekansal ve ekonomik boşluğu dengelemek için insanların ve malların bir yerden bir yere transfer edilmesini amaçlayan teknolojik, kurumsal ve örgütsel bir sistem olarak tanımlamıştır. Yük ulaştırmasında bir devrim olarak görülen konteynerizasyon, ulaştırmada verimlilik ve ölçek ekonomisinden faydalanmayı sağlamış ve çoklu taşımanın ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur.

UNCTAD (1981) tarafından oluşturulan Uluslararası Çoklu Taşıma Sözleşmesi’nde ‘*multimodal*’ taşıma olarak geçmekte olan çoklu taşıma kavramı için hukuksal anlamda ilk tanım ‘*Malların en az iki farklı taşıma türü kullanılması şartı ile, taşıyıcı tarafından teslim alınarak, teslim edilmesi amacı ile karar verilen yere tek bir taşıma sözleşmesi yapılarak taşınması*’ olarak tanımlanmıştır. Avrupa Birliği Ulaştırma Bakanları Konferansı ECMT (2003) Raporu’nda çoklu taşıma; ‘*yüklerin en*

az iki taşıma türü kullanılarak taşınması ' şeklinde tanımlanmıştır. Hao ve Yue (2016)' e göre çoklu konteyner taşımacılığı; entegre edilmiş yüklerin ulaştırılmasında fayda optimizasyonunu başarmayı amaçlayan bir taşıma türüdür. Buradaki fayda optimizasyonunun anlamı her bir taşıma türünün üstün yönlerinin koordinasyonu ile en iyi taşıma kombinasyonunun oluşturulmasıdır. Örneğin; demiryolu-karayolu taşıma kombinasyonunda, uzun mesafede yüksek miktarda sevkların taşınmasında demiryolunun maliyet avantajından yararlanılırken, aynı yüklerin kısa mesafe dağıtımında karayolunun süre avantajından yararlanılır. Crainic ve Kim (2007)'e göre çoklu taşıma; bir yükün veya yolcunun çıkış noktasından hedef noktaya kadar en az iki farklı taşıma türü kullanılarak ulaştırılması ve bir taşıma türünden diğer taşıma türüne çoklu taşıma terminalinde aktarıldığı bir taşıma şeklidir.

Çoklu taşıma ile ilgili tanımlamalardaki ortak nokta yükün en az iki taşıma türü içerecek şekilde hedef noktaya teslim edilmesi ve bu taşıma türlerinin ardışık olmasıdır. Bölgesel veya ulusal, düzenli veya ekspres taşıma hizmetleri, uzak mesafe taşıma hizmetleri çoklu taşıma kapsamına girebilecek taşıma hizmeti türleridir (SteadieSeifi, Dellaert, Nuijten, Woensel, ve Raoufi, 2014).

2.2.1 Çoklu Taşıma Kapsamındaki Taşıma Türleri

Literatürde çoklu taşıma kapsamında ve çoklu taşımanın özel birer türü olarak değerlendirilen sistemler arası (intermodal) taşıma, kombine (combined) taşıma, müşterek (co-modal) taşıma ve senkrosistem (synchromodal) taşıma olarak entegre taşıma türleri bulunmaktadır. Bu taşıma türleri şu şekilde açıklanabilir:

- **Sistemler arası Taşıma:** Avrupa Birliği Ulaştırma Bakanları Konferansı, ECMT (2003) raporunda sistemler arası taşıma; *'yüklerin aynı taşıma ünitesi içerisinde, taşıma türü değişimi esnasında taşıma ünitesi içerisindeki yükün elleçlenmeden, ardışık taşıma türleri ile taşınmasıdır'*. Macharis ve Bontekoning (2004), sistemler arası taşımayı *'Bir ulaştırma zincirinde yüklerin taşıma kabı değişmeksizin, en az iki taşıma türü ile taşındığı, demiryolu, denizyolu, iç su yolu taşımalarının ana taşıma olduğu, ilk ve son taşıma için kara yolunun kullanıldığı bir*

taşıma türüdür' şeklinde tanımlamıştır. Burada bahsedilen taşıma ünitesi genellikle konteynerdir ve TEU (Twenty foot-equivalent unit) birim cinsinden ifade edilir. TEU gemilerin ve terminallerin kapasitesini belirlemek amacı ile farklı kapasiteleri olan konteynerların sayılabilmesi için oluşturulmuş standart bir birimdir ve 20 foot standardında bir konteyner 1 TEU, 40 foot bir konteyner 2 TEU'dur (ECMT, 2003). Konteynerden farklı olarak taşıma ünitesi, yük nakil kasası (swap-body), bir karayolu/demiryolu aracı veya gemi olabilir.

- **Kombine Taşıma:** UNECE (2001) raporunda kombine taşımacılık; '*ana taşımanın demiryolu, iç su yolu veya deniz yolu ile, başlangıç ve son taşımaların mümkün olduğunca az karayolu kullanılarak gerçekleştirildiği bir sistemler arası taşıma türüdür'*. Truschkin ve Elbert (2013), kombine taşımanın sistemler arası taşıma tanımının genel özellikleri yansıttığını, senkronize edilmiş tarifeler, taşıma türleri arası sorumluluk sınırları ve çok aktörlü sürecin yönetimi ile ilgili unsurları içermediğinden hareket ile sistemler arası taşıma tanımının kombine taşıma için de kullanılabilineceğini belirtmiştir. Kombine taşımacılık sisteminin kurulabilmesi için demiryolu veya su yolu alt yapısı, bölgesel yük akış hacminin belirli bir düzeyde olması ve kapıdan-kapıya servislerin varlığı önemli unsurlardır (Fremont ve Franc, 2010). Dolayısıyla; kombine taşımanın en temel unsuru ana taşımanın demiryolu ve su yolu olarak yoğun bir şekilde kullanımıdır.

Kombine taşıma için yapılan tanımlamaların genelinde vurguda bulunulan unsurların, yükün; en az iki farklı taşıma sistemi kullanılmak suretiyle, kendisi elleçlenmeksizin ve tekerlekli araç içerisinde taşınması olduğu değerlendirilmektedir (Kula, 2012).

- **Müşterek Taşıma:** Bu taşıma türü çoklu taşımadan taşıtanların taşıma zinciri ortaklığı oluşturarak, tüm taşıma türlerinin faydalarını maksimize etmeyi amaçlaması olarak ayrılır (SteadieSeifi ve diğer., 2014). Müşterek taşımada ana unsur verimliliği sağlamaktır. Buradaki sıkı verimlilik kavramı ulaştırma kaynaklarının sürdürülebilir olarak kullanılmasının ve optimize edilmesinin amaçlanması ile oluşmaktadır (Pfoser, Treiblmaier ve Schauer, 2016).

- **Senkro Sistem Taşıma:** Pfofer ve diğer. (2016), senkro sistem taşımayı; kaynakları verimli kullanmak adına taşıtanların iş birliği içerisinde olduğu, anlık duruma göre taşıma türleri arasındaki geçişi sağlayabilen, esnek taşıma planları içeren bir sistem olarak sistemler arası taşıma ve müşterek taşımanın evrimleşmiş hali olarak tanımlar.

Taşıma türlerinin tanımları incelenirse; sistemler arası taşıma; sürecin tek bir taşıma ünitesi ile gerçekleştirilmesine, kombine taşıma; birim kap içerisindeki yükün elleçlenmemesi ve tekerlekli araç içerisinde taşınmasına, müşterek taşıma; kaynakları optimize etmeye, senkro sistem taşıma ise esnekliğe odaklanmıştır. Çoklu taşıma bahsedilen tanımların hiç birinin dışında kalmayıp, diğer dört taşıma türünü kapsamaktadır. Diğer taraftan bahsedilen taşıma türleri; tanımlarındaki küçük farklılıklara rağmen literatür ve uygulamada birbirleri yerine de kullanılmaktadır. Bu çerçevede; çoklu taşıma belirli çıkış ve hedef noktaları arasında tek taşıma ünitesi ile gerçekleştirilen, aktarma esnasında içerisindeki yükün değil, sadece ünitenin elleçlendiği, tüm taşıma türlerinin üstünlüklerini optimize ederek ulaştırma talebini karşılamayı hedefleyen özel bir taşıma türüdür.

2.2.2 Çoklu Taşıma Teorik Çerçeve

Araştırmanın teorik çerçevesi çoklu taşıma odağındaki tartışmalara dayanılarak geliştirilmiştir. Bu amaçla bu aşamada çoklu taşıma kapsamında ağ modeli teorisi, ekonomik başabaş noktası teorisi ve olguya dayalı yaklaşım teorisi tartışılmıştır.

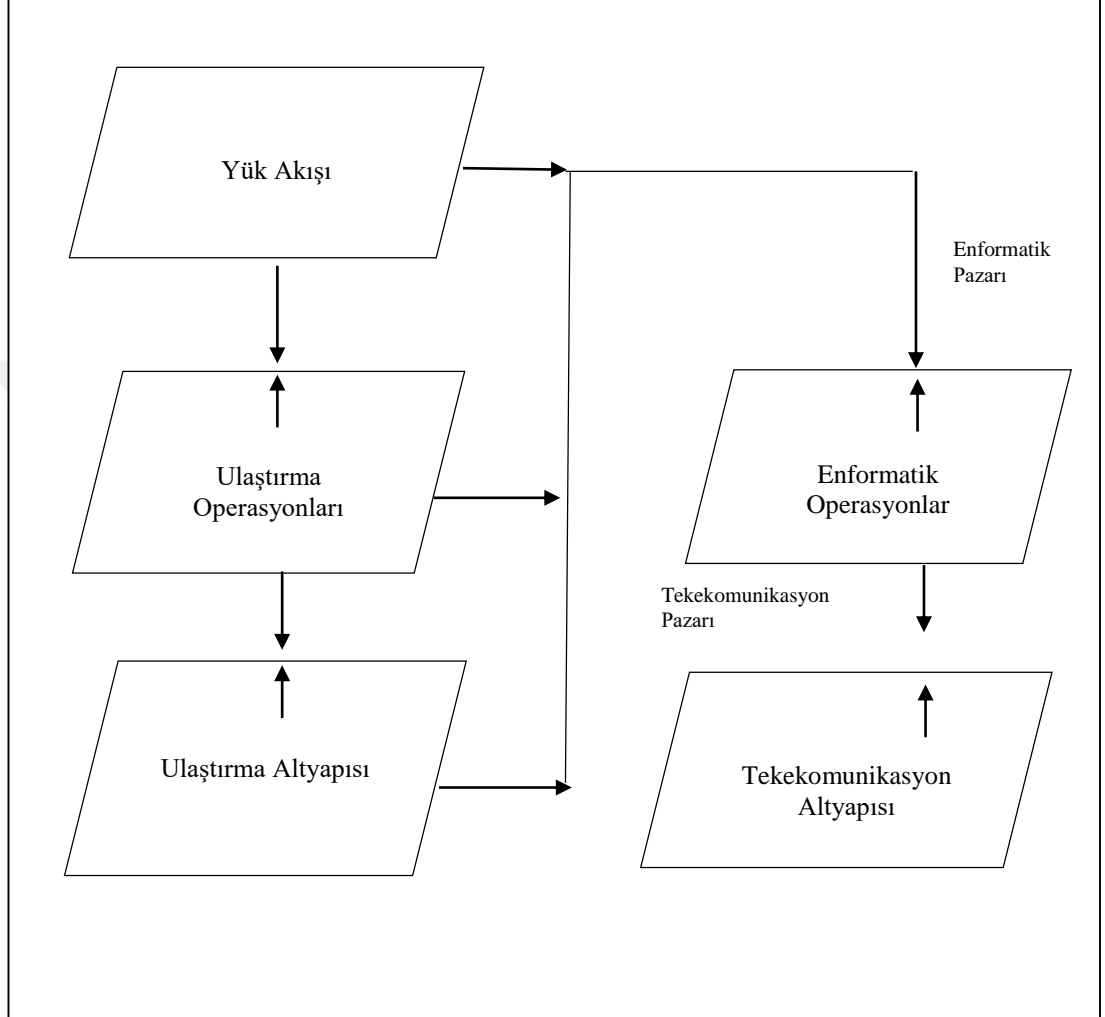
Sürdürülebilir taşımacılığın belkemiği olarak görülen çoklu taşımacılık, taşımacılık ile ilgili tarafların ve müşterilerinin gereksinimlerini karşılamada bir devrim olarak ortaya çıkmış ve giderek büyüyen bir taşımacılık pazarı haline gelmiştir (Deveci, 2010). Bu pazarda kaynakları verimli kullanarak zamanında ulaştırma hedefine ulaşabilmek için yükün hareketi sırasında taşıma türleri arasında ve ulaştırma rotaları arasında koordinasyon sağlanması gereklidir. Diğer taraftan, etkili bir çoklu taşıma sistemi doğru yasal düzenlemeler, etkin yönetsel süreç ve bilgi alışverişi gerektirir.

Çoklu taşıma, sistem yönetimine unimodal (tek modlu taşıma türü) taşımaya göre daha çok ihtiyacı olan karmaşık bir taşıma türüdür.

Çoklu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ile ilgili en temel yaklaşım, gerçekleştirilen çalışmanın da kapsamında yer aldığı ağ modelleridir. Crainic, Florian, Guelat ve Spiess (1990), ağ modeli senaryosunu taşıma türleri, ürün, araç, düğüm, rota ve aktarmalar kümesi olarak tanımlamıştır. Kent içi trafik ve aktarma sistemlerinden ortaya çıkan ağ modeli yaklaşımı rotalar üzerinde yük akışlarının incelenmesi ve matematiksel olarak değerlendirilmesini içerir. Southworth ve Peterson (2000), çoklu taşıma ağı oluşturulması sürecinin temel aşamalarını terminal ve rotaların belirlenmesi ve rota seçimi olarak belirtmiştir. Rota seçim kararları ağ modeli teorisinin altında değerlendirilen çoklu taşıma problemidir.

Çoklu taşıma sisteminin temelinde var olan bir diğer yaklaşımda, çoklu taşımayı mekansal ayrıştırmaya dayalı pazarlama açısından ele alınmış ve ekonomik arz-talep denge teorisinin çoklu taşıma sistemlerinin geliştirilebilmesi için bir başlangıç noktası olabileceği belirtilmiştir. Denge teorisi olarak adlandırılan bu yaklaşım, fiyat ve talep dengesinin yanında, yük hareketlerinin de modelini içeren yük taşımacılığı pazarının ekonomisini temsil eder (D'Este, 1996). Friesz ve Harker (1985), yük ağ dengesini ele alan çalışmasında ne arzı sunan taşıyıcının ne de talep eden taşıtanın ulaştırma sistemi içerisindeki kararları tek başına alamayacağını belirtmiştir. Bahsedilen çalışmada özellikle rota seçimi aşamasında maliyetleri değiştirdiği için taşıyıcı tarafından değil yük ulaştırma talebi ve ulaştırma arzına göre karar verilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Borg (1991), ağ modeli yaklaşımı ve ekonomik denge yaklaşımının sadece yük akışları, ulaştırma operasyonları ve ulaştırma altyapısı katmanları içerisinde yer aldığını şekil 2.1’ de gösterilen beş katmanlı yaklaşım ile açıklamıştır.



Şekil 2.1 Çoklu taşıma beş katman modeli (D’Este, 1996)

Beş katmanlı yaklaşım modelinde en üst katmanda ulaştırma sistemi içerisindeki yük akışları, ikinci katmanda ulaştırma hizmeti ile ilgili operasyonlar, üçüncü katmanda yine ulaştırma hizmeti için gerekli alt yapı yer alır. Ulaştırma operasyonları katmanında paketleme, terminal operasyonları, rotalama aktiviteleri bu aktivitelerin oluşturduğu maliyetler yer alır. Enformatik ve telekomunikasyon katmanları ise yönetimsel süreçler ile ilişkili, ulaştırma operasyonunun koordinasyonu ile ilgili katmanlardır. Yük hasarındaki risk sorumluluğu da bu yönetimsel süreç içerisinde değerlendirilmektedir (D’Este, 1996). Bu yönetimsel süreç içerisinde sadece ulaştırma

operasyonları katmanındaki içsel maliyetler değil, transit süre gecikmelerinin, çevresel etkinin, yük hasarı ile ilgili riskin ve bürokratik risklerin yol açtığı dışsal maliyetler de değerlendirilmelidir. Bu çalışmada da; ulaştırma bütçesi (maliyeti), transit süre, ulaştırma hizmeti güvenilirliği, yük hasar riski, bürokratik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet değişkenleri ile bir karar destek sistemi ile yönetimsel süreç desteklenmeye çalışılmıştır.

Bir başka yaklaşımda Hayuth (1987) ve Sanders (1991), çoklu taşımacılığı altı farklı boyutta değerlendirmiş ve her bir boyutun farklı fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 2.2’de çoklu taşımacılığı oluşturan boyutlar ve bu boyutlara ait fonksiyonlar gösterilmiştir.

FİZİKSEL ALTYAPI						
Lojistik Merkez	Karayolu Demiryolu	Terminal	Denizyolu Demiryolu.taşıma	Terminal	Karayolu Demiryolu	Lojistik Merkez
KAPIDAN KAPIYA TAŞIMA OPERASYON SİSTEMİ						
Paketleme	Konumlandırma	Kara Hareketi	Terminal Operasyonları	Gemi istifleme	Rota Planlama	
TİCARİ SİSTEM						
Teslim alma	Paketleme/Yükleme	Kara Hareketi	Gümrükleme	Limandan Limana Taşıma	Kara Hareketi	Boşaltma/ Teslimat
BİLGİ SİSTEMİ						
Rezervasyon	Konşimento	Fatura	Manifesto	Ordino	Yük Teslimi	
SORUMLULUK SİSTEMİ						
Depo/Loj. Mrk.	Karayolu	Demiryolu	Terminal	Demiryolu	Terminal	Depo/Loj. Mrk.
LOJİSTİK SİSTEM						
Tedarik/Üretim	Depolama	Dağıtım	Depolama	Transfor- masyon	Satış	

Şekil 2.2 Çoklu taşıma boyutları ve fonksiyonları (D’Este, 1996; Sanders, 1991; Deveci, 2010)

Fiziksel altyapı boyutu taşıma türlerini etkin bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu şekilde etkin çalışma için lojistik merkez, karayolu-demiryolu ağı, terminal gibi yapılar gerekmektedir. Bu altyapı ile taşıma türlerinin birbiri ile uyumlu çalışabilmesi sağlanmaktadır. Kapıdan kapıya taşıma operasyonu unsuru hareketli yükün kontrol altında tutulması ile ilgilidir. Bilgi sistemi unsuru yük ile ilgili sistem içerisinde üretilen bilginin taraflara dağıtımını ile ilgilidir. Sorumluluk sistemi yükün hasar

noktasına göre sorumluları belirlemektedir. Lojistik sistem boyutu çoklu taşımanın tedarik zinciri yönetimi ile ilişkisini göstermektedir.

D'Este (1996), olgusal yaklaşım teorisi önerisinde çoklu taşıma sisteminin tasarımı için taşınacak ürünün ne olduğu, nereden nereye taşınacağı, standart taşıma ünitesinin ne olduğu (palet, konteyner v.b.) ve hangi taşıma türlerinin kullanılacağına bilinmesinin gereklilik olduğunu ifade etmiştir. Bu teori, beş katmanlı taşıma yaklaşımı gibi çoklu taşıma sürecine, envanter depolama süreçlerini de içerisine alacak şekilde bütüncül olarak yaklaşmaktadır. Olgusal yaklaşıma göre çoklu taşıma sürecinde her aktivite maliyet, gecikme, uygunluk gibi deterministik ve risk gibi stokastik performans göstergeleri içerir. Süreçlerin yönetimi ve bahsedilen bu göstergelerin takibi için bir çoklu taşıma sisteminde EDI (Elektronik Data Interchange: Elektronik Veri Transferi) gibi bir bilgi sistemi var olmalıdır. Bu bakımdan, gerçekleştirilen bu tezde çoklu taşıma ulaştırma sistemi seçilmiş performans göstergeleri ile bir karar destek sistemi ile değerlendirilmiştir.

2.2.3 Çoklu Taşıma Çalışmaları

Çoklu taşıma literatürü ile ilgili en kapsamlı çalışma SteadieSeifi ve diğer. (2014) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada çoklu taşıma araştırmaları zaman boyutu açısından değerlendirilmiş olup, stratejik planlama problemleri, taktik planlama problemleri ve operasyonel planlama problemleri olarak gruplandırılmıştır. Stratejik planlama problemleri kapsamında çoklu taşıma koridorlarında veya ağlarında yapılacak yatırımlara karar vermeye yönelik çalışmalar incelenmiştir. Örneğin bir çoklu taşıma ağında toplama ve dağıtım merkezinin yer seçimi, toplama, dağıtım ve aktarma merkezlerinin sayısı stratejik planlama problemleridir. İlgili çalışmaya göre; taktik planlama problemleri hizmet ve taşıma türü kombinasyonu, hizmet rotası ve sıklığı seçerek ve siparişlerin taşıma planını oluşturarak kaynaklardan optimal bir şekilde faydalanmaya dönük çözümler arar. Yük akış planlaması, çoklu taşıma ağı planlama, çoklu taşıma rotası oluşturma, çoklu taşıma hizmetlerinin saat ve sıklıklarını planlama taktiksel planlama problemlerine örnek olarak verilebilir. Operasyonel planlama problemlerinin stratejik ve taktik planlama problemlerinden farkı dinamik ve

stokastik yaklaşımlar içermesi olarak belirtilebilir. Örneğin; rota seçimi taktik planlama problemi iken, modele hava durumu, trafik kazası gibi olasılık değişkenleri dahil edilir ise operasyonel planlama problemi kapsamında değerlendirilir.

Bontekoning, Macharis ve Trip (2004), literatür araştırması kapsamındaki çalışmalarında çoklu taşıma ile ilgili genel olarak çalışılan alanları tespit ederek, gelecekte çalışılması gereken çoklu taşıma alanları ile ilgili öneriler getirmiştir. Çalışmada diğer ulaştırma alanları ile karşılaştırıldığında ayırddedici özellikleri olduğu için çoklu taşımanın artık başlı başına bir ulaştırma türü olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çoklu taşımada ilk ve son taşımalar verimsiz olduğu için bu operasyonları etkin olarak gerçekleştirmeyi sağlayacak standart çoklu taşıma hizmetleri oluşturmak amacı ile karar verme modelleri ile desteklenen çalışmaların yapılması önerilmiştir.

Çoklu taşımacılık sistemi içerisinde taşıtanlar, dahili taşıma yapan karayolu taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri, demiryolu, denizyolu taşıyıcıları ve kural koyucular paydaş olarak yer alır (Deveci, 2010). Bu paydaşlar aynı zamanda her biri kendisi açısından birer karar vericidir. Macharis ve Bontekoning (2004), çoklu taşıma sisteminde farklı karar vericiler tarafından karar alınabilmesi için hangi yöneylem araştırması tekniklerinin ne şekilde uygulanabileceği ile ilgili bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma ile optimizasyon, simulasyon gibi yöneylem araştırması çözüm tekniklerinin çok fazla değişken ve kısıt içermesi sebebi ile karmaşık yapıda olan çoklu taşıma problemlerine çok uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Caris, Macharis ve Janssens (2013), çoklu taşıma kavramını bir karar destek sistemi bakış açısı ile değerlendirmişlerdir. Literatür çalışmalarını politika oluşturma, terminal ağı tasarımı, çoklu taşıma hizmet ağı tasarımı, çoklu taşıma rotalama, dahili nakliye operasyonları ve bilgi ve iletişim teknolojileri inovasyonları olmak üzere alt başlık altında gruplandırmıştır. Bu gruplar içerisinde bilgi ve iletişim teknoloji alanında araştırmaların artmaya başladığı ve çevresel etkinin göz önüne alındığı çalışmaların hızlı bir şekilde artacağı ifade edilmiştir.

Crainic, ve diğer. (1990), bibliografik çalışmalarında, çoklu taşıma literatür çalışmalarını ağ yapısı, planlama yapısı, simulasyon tipi ve amaçları ve karar vericiler başlıkları altında sınıflandırmıştır. Bu çalışmada; bir çoklu taşıma sisteminde karar verici olarak, altyapı yöneticileri, taşıyanlar, taşıtanlar ve kurum otoritelerinin bulunduğu belirtilmiştir. Mathisen ve Hanssen (2014) tarafından gerçekleştirilen bir başka bibliografik çalışmada, çoklu taşıma alanında önceki çalışmaların genelde demiryoluna odaklandığı belirtilirken, son zamanlarda iç suyu taşıma türünün çoklu taşımaya entegrasyonunu amaçlayan çalışmaların arttığı belirtilmiştir.

1990-2019 yılları arası çoklu taşıma üzerine odaklanan çalışmalar incelendiğinde; ilk yıllarda maliyet ve süre değişkenleri değerlendirilerek rota seçim problemleri üzerinde durulduğu görülmektedir. 2000 yılı sonrası yapılan çalışmalarda yöneylem araştırması yöntemlerinin kullanımının artması ile çoklu taşıma ile ilgili araştırmalarda değişken sayısı artırılarak rota seçim modelleri oluşturulmuştur. Rota seçimi çoklu taşıma ağında taşıma için alternatif rotaların seçimini içerir (Caris ve diğer., 2013). Çoklu taşıma koridorlarında rota seçimi ile ilgili ilk önemli çalışmalardan biri Banomyong ve Beresford (2001), tarafından gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmada maliyet, transit süre ve mesafe değişkenleri göz önüne alınarak Beresford maliyet-süre analizi yöntemi ile Laos ve Avrupa arasında uygun rota seçimi yapılmıştır.

Ulaştırma politik kararlar içeren bir kavramdır. Avrupa Komisyonu'nun raporlarında çoklu taşıma kullanımını arttırmayı önermesi ulusal ve bölgesel düzeyde karar vericilere destek olacak, politika destekleyici çalışmaları gerektirmiştir. Politika destekleyici araştırmalar daha çok stratejik araştırmalar gibi bölgesel yatırıma dönük kararları değerlendirme amacı içerir.

Ulaştırma sürecinin toplumda ve çevrede yarattığı etkiler yoğun ve kalıcı ise, hizmet maliyetlerine ve fiyatlarına yansıtılmayan bu etkiler dışsal maliyet olarak tanımlanmaktadır (Janic, 2007). 2010 yılı ve sonrasında itibaren çevresel etki kavramının önem düzeyinin artması, çevresel etkinin ve transit sürenin maddi değerini hesaplayan yöntemlerin de sunulması ile dışsal maliyetleri içeren çalışma sayısında artış gözlenmiştir.

Çoklu taşıma hizmet ağı tasarımı; hizmet sıklıkları, ağlarda yer alacak rotaların ve çoklu taşıma hizmetinin ilgili ağda olması gereken özelliklerini tespit etmeye dönük taktik planlama problemidir (Caris ve diğer, 2013). Örneğin; Groothedde, Ruijgrok ve Tavasszy (2005), ağ tasarımı çalışmasında; Hollanda bölgesel çoklu taşıma ağında hızlı tüketim mallarının taşınması için aktarma merkezlerinin yerini de tespit ederek iç su yolu kullanımını önermiştir.

Bir çoklu taşıma zincirinin ilk ve son aşaması olan dahili nakliye genellikle karayolu kullanılarak yürütülen çoklu taşımanın önemli maliyet kalemlerinden birisidir. Konings (2009), karlı çoklu taşıma hizmetlerinin performansında dahili nakliyenin önemli bir payı olduğunu belirtmiştir. Konteynerların terminalde yükleme için toplanması veya terminalden dağıtımı olan dahili nakliye problemleri araç rotalamasının özel bir halidir.

Gerçekleştirilen literatür araştırmasında; ulaşılan taktik planlama boyutundaki çalışmalar tablo 2.1' de, operasyonel planlama boyutundaki çalışmalar tablo 2.2'de, stratejik planlama boyutundaki çalışmalar tablo 2.3'de belirtilmiştir. Tablolarda, çalışmalarda yer alan taşıma türleri, kullanılan değişkenler, ana amaç, çalışmanın yöntemi, planlama boyutu, araştırmanın problem türü, çoklu taşıma paydaşları arasında karar vericinin kim olabileceği ve çalışmanın uygulandığı bölge bilgilerine yer verilmiştir.

Tablo 2.1 Çoklu taşımacılık taktik planlama boyutundaki çalışmalar

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Boardman, Malstrom, Butler ve Cole (1997)	DEY,DY, KY, İSY	Transfer maliyeti, transfer süresi, taşıma maliyeti, taşıma süresi	Minimum maliyetli taşıma türleri kombinasyonu	K-En Kısa Yol Algoritması	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtan	Atlanta-Fort Worth
Bookbinder ve Fox (1998)	DY, DEY, KY	Maliyet, transit süre	Minimum maliyet ve transit süre	Maliyet-Transit Süre Analizi	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtan, çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri	Kanada-Meksika
Banomyong (2001)	DY, DEY, KY, İSY	Maliyet, transit süre, mesafe	Minimum maliyet ve transit süre	Maliyet-Transit Süre Analizi	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtan	Laos-Singapur
Banomyong ve Beresford (2001)	DY, DEY, KY	Maliyet, transit süre, mesafe, güvenilirlik	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum güvenilirlik	Maliyet-Transit Süre Analizi	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtan, çoklu taşıma operatörleri taşıma işleri organizatörleri	Laos-Avrupa
Grasman (2006)	-	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Minimum maliyet, tam zamanında teslimat, minimum transit süre, hedef maliyet	En Kısa Yol Algoritması	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Çoklu taşıma operatörleri ,taşıma işleri organizatörleri,	-

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, HY: Havayolu, İSY: İç suyuolu, KY: Karayolu

Tablo 2.1 Çoklu taşımacılık taktik planlama boyutundaki çalışmalar (devam)

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Chang (2007)	DY, HY, DEY, KY	Maliyet,transit süre, kapasite, yük tipi	Minimum maliyet ve transit süre	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtan	Tayvan-ABD
Imai, Nishimura ve Current (2007)	KY	Maliyet, süre, araç sahiplik türü	Minimum maliyet ve transit süre	Doğrusal Programlama	Dahili Nakliye	Dahili taşıma işletmeleri	Uzak Doğu
Ergin ve Çekerol (2008)	DEY, KY	Hizmet maliyeti	Minimum hizmet maliyeti	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri	Türkiye
Cho, Kim ve Choi (2010)	DY, DEY, HY, KY	Maliyet, transit süre	Minimum maliyet ve transit süre	En Kısa Yol Algoritması - Dinamik Programlama	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri	G. Kore-Hollanda
Yang, Low ve Tang (2011)	DEY, DY, HY, KY	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum güvenilirlik	Hedef Programlama	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtanlar, Çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri	Çin-Hindistan
Alumur, Yaman ve Kara (2012)	HY, KY	Maliyet, transit süre	Minimum maliyet, tam zamanında teslimat	Karışık Tam Sayılı Programlama	Dahili Nakliye	Çoklu taşıma operatörleri, dahili taşıma işletmeleri, taşıma işleri, organizatörleri, taşıtanlar	Türkiye

Tablo 2.1 Çoklu taşımacılık taktik planlama boyutundaki çalışmalar (devam)

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Kengpol, Meethom ve Tuominen (2012a)	DEY, DY, KY	Maliyet, transit süre, hasar riski, altyapı riski, bürokratik riskler	Minimum maliyet, transit süre ve minimum risk	AHP, Risk Analizi, Hedef Programlama	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Çoklu taşıma operatörleri	Tai-Vietnam
Febbraro, Sacco ve Saeednia (2013)	DEY, KY	Maliyet, transit süre, araç kapasitesi	En verimli çalışan zaman çizelgesi	Doğrusal Programlama	Dahili Nakliye	Dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri	-
Kim ve Chang (2014)	DEY, DY, KY	Konteyner hareket mesafesi, yük miktarı, maliyet, transit süre, emisyon miktarı	Minimum konteyner hareketi, minimum toplam içsel ve dışsal maliyet	Doğrusal Programlama	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtanlar, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri	G. Kore-ABD
Resat ve Turkyay (2015)	DEY, DY, KY	Maliyet, transit süre, trafik yoğunluğu, taşınan yük ve, envanter miktarı	Minimum maliyet ve transit süre	Karışık Tam Sayılı Programlama	Dahili Nakliye	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve organizatörleri	Marmara Bölgesi
Hao ve Yue (2016)	DEY, DY, KY	Maliyet, transit süre, kargo değeri, mesafe	Minimum maliyet ve transit süre	Karışık Tam Sayılı Dinamik Programlama,	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri	Chengdu-Shenyang
Seo, Chen ve Roh (2017)	DEY,DY, HY, İSY,KY	Maliyet, transit süre, mesafe	Minimum maliyet ve transit süre	Maliyet-Süre Modeli	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtanlar	Çin-Hollanda
Pham ve Yeo (2018)	DY, HY, KY	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Minimum maliyet ve transit süre	Delfi, Tutarlı Bulanık Tercih	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Taşıtanlar	Çin-Vietnam

Taktik planlama boyutundaki çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların temel amacı çoklu taşımanın operasyonel sisteminde maliyetleri minimize eden en uygun rota seçimini sağlamaktır. Banomyong ve Beresford (2001), transit süre değişkenliğini ele alarak güvenilirlik değişkenini çoklu taşıma içerisinde inceleyen ilk çalışmayı ortaya koymuştur. Kengpol ve diğer. (2012a) çoklu taşımada risk kavramını bürokratik risklerin sebep olacağı gecikmeler açısından ele almıştır. İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalarda kullanılan değişken sayıları artsa da çoklu taşımada taktik boyutta yer alan çalışmalarda maliyet ve transit sürenin temel değişkenler olduğu görülmektedir.

Taktik boyuttaki çalışmalar daha çok rota seçim problemine dönük ve taşıtan ve yük taşıma organizasyonunu üstlenen çoklu taşıma organizatörleri ile ilgilidir. Karar vermeye yönelik rota seçim problemlerinde kullanılan yöntemlere bakıldığında tabloda bahsedilen çalışmaların çoğunda optimizasyon yöntemlerinden doğrusal programlama tercih edilmiştir. İlk dönemlerde yapılan çalışmalarda değişken sayısının azlığı sebebi ile maliyet-transit süre analizi tercih edilirken, sonraki dönemlerde değişken sayısının artması ile doğrusal programlama, dinamik programlama, karışık tamsayı programlama gibi yöntemler ile değişkenler optimize edilmeye çalışılmıştır.

Operasyonel boyuttaki çalışmalar hizmet planlaması, boş konteyner dağıtımı, personel planlama gibi daha çok kaynak planlama problemleri içerir (Caris, Macharis ve Janssens, 2008). Taktik ve operasyonel boyuttaki çalışmalar ana amaç olarak benzer olsa da; taktik planlama çalışmaları ‘nerede’ ve ‘nasıl’ sorularına yanıt verirken, operasyonel planlama çalışmaları ‘ne zaman’ sorusuna yanıt aramaktadır. Tablo 2.2’de operasyonel boyuttaki çoklu taşıma çalışmaları incelendiğinde görülmektedir ki; bu çalışmalar çoklu taşıma ağının tasarımına odaklanmıştır. Operasyonel boyuttaki çalışmalarda amaç araçların tur sayısını azaltarak verimsizliğin önüne geçme, maliyetleri düşürme, kaynakları verimli kullanma ve emisyon salımını azaltmaktır. Yöntem olarak bakıldığında operasyonel planlama çalışmaları simülasyon gibi stokastik modeller içermektedir. Bu problemlerde stokastik model içerisinde, yük talebi, transit süreler olasılıksal değişkenler olarak değerlendirilir.

Tablo 2.2 Çoklu taşımacılık operasyonel planlama boyutundaki çalışmalar

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Min (1990)	DEY, KY, HY, İSY	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum güvenilirlik	Olasılık Kısıtlı Hedef Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Taşıtan	Japonya-ABD
Bock (2010)	KY	Maliyet, araç hareket-tur sayısı, süre, araç kapasitesi	Maksimum yük konsolidasyonu, minimum boş araç turu, minimum maliyet	Dinamik Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Çoklu taşıma operatörleri	-
Gromicho, Oudshoorn ve Post (2011)	DEY, İSY, KY	Hizmet maliyeti, transit süre	Minimum maliyet ve transit süre	K-En Kısa Yol Algoritması	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Çoklu taşıma operatörleri	-
Kalinina, Olsson ve Larsson (2013)	DEY, KY	Maliyet, transit süre, emisyon miktarı, taşınan yük hacmi, talep	Minimum maliyet, transit süre ve emisyon	Çok Amaçlı Olasılık Kısıtlı Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Taşıtan	İsviçre
Demir, Burgholzer, Hrusovsky, Arıkan, Jammernegg ve Woensel (2015)	DY, İSY, KY	Maliyet, transit süre, emisyon miktarı, yükleme-boşaltma süresi, TEU talep/arz	Minimum maliyet, minimum transit süre, minimum emisyon, zaman belirsizliğini azaltma	Stokastik-Karışık Tam Sayılı Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı-Dışsal Maliyetler	Taşıma işleri organizatörleri, çoklu taşıma operatörleri	Avrupa
Göçmen ve Erol (2019)	KY	Yük miktarı, mesafe, araç sayısı, demuraj gün sayısı	Minimum katedilen mesafe ve maliyet maksimum yük,	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Dahili Nakliye	Taşıtanlar, Çoklu taşıma operatörleri , dahili taşıma işletmeleri,	Türkiye

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, HY: Havayolu, İSY: İç su yolu, KY: Karayolu

Stratejik boyuttaki çalışmalar çoklu taşıma sistemindeki yatırım kararlarını içermektedir. Bir terminal işletmesi için kapasite planlaması, bir çoklu taşıma işletmesi için taşımada CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) kullanılması, kural koyucular için yük taşıma kaynaklı emisyon salımı azaltılması amacı ile iç su yolu taşımacılığı için düzenlemeler ve yatırımlar stratejik planlama boyutundaki kararlardır. Tablo 2.3’de yer alan stratejik planlama boyutundaki çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; rota seçimi ve hizmet ağı planlaması ile ilgili problemler taktik ve operasyonel planlama boyutunda sınıflandırıldığı gibi problemin nihai amacına göre stratejik planlama boyutunda da yer alabilir. Örneğin; hizmet ağı tasarımı problemleri, sonucunda yatırım kararı içeriyorsa stratejik planlama boyutunda değerlendirilmelidir. Konings (2009) Almanya-Hollanda arasında Ren Nehri üzerinde var olan iç su yolu taşıma ağının geliştirilmesi için yatırım önerilerinde bulunmuştur. Macharis, Meers ve Lier (2015), Avrupa Birliği’nin 2050 yılına kadar emisyon miktarının azaltılması politikası dahilinde karar vericilerin fiyat, transit süre, trafik yoğunluğu, emisyon miktarı, kaza riski ve gürültü kriterlerinin önem düzeyi ile ilgili algılarını ölçmüş ve çoklu taşımanın kısa mesafelerde dahi değerli bir alternatif olduğu sonucuna ulaşmıştır. Saeedi, Behdani, Wiegman ve Zuidwijk (2019), Avrupa’daki çoklu taşıma terminallerinin ve koridorların verimliliğini Veri Zarflama Tekniği ile belirlemiş ve çoklu taşımacılığın daha verimli işleyişi için kapasite ve sefer sıklıkları ile ilgili öneriler getirmiştir. Stratejik boyuttaki bu çalışmaların her biri çoklu taşıma sisteminin geliştirilmesinin sonucunda ekonomik, çevresel ve sosyal faydaları amaçlamakta ve çoklu taşımanın sürdürülebilirlik politikası oluşturmadaki önemini vurgulamaktadır.

Tablo 2.3 Çoklu taşımacılık stratejik planlama boyutundaki önceki çalışmalar

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Groothedde ve diğer. (2005)	KY, İSY	Maliyet, kapasite	İşbirlikçi aktarma merkezleri, minimum maliyet	Doğrusal Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı-Politika Oluşturma	Çoklu taşıma operatörleri	Hollanda-Belçika-Almanya
Janic (2007)	DEY, KY	Maliyet, sefer sıklığı, TEU talep, süre, araç kapasitesi	Minimum toplam içsel ve dışsal maliyet	Nicel Analiz	Dışsal Maliyetler-Politika Oluşturma	Dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri, ve organizatörleri	Avrupa
Qu ve Chen (2008)	DY, HY, KY	Maliyet, transit süre, hizmet kalitesi, emniyet, kapasite, trafik yoğunluğu etki	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum hizmet kalitesi ve sosyal fayda	AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve ANN (Yapay Sinir Ağları)	Çoklu Taşıma Rota Seçimi-Politika Oluşturma	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri, ve kural koyucular	-
Konings (2009)	İSY	Maliyet, gelir, transit süre, servis sıklığı, gemi boyutları,taşınan TEU miktar	Minimum maliyet ve transit süre, düzenli sefer programı	Nitel Analiz-Nicel Analiz	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı-Politika Oluşturma	Çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri, kural koyucular	Hollanda-Almanya
Fremont ve Franc (2010)	DEY, İSY, KY	Maliyet, transit süre, trafik yoğunluğu	Minimum maliyet ve transit süre	Nitel Analiz	Dahili Nakliye	Çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri, dahili nakliyeciler	Fransa
Deveci (2010)	-	-	Çoklu taşımacılık stratejileri oluşturma	Nitel Analiz	Politika Oluşturma	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri, ve kural koyucular	Türkiye
Regmi ve Hanaoka (2012)	DEY, DY, KY	Maliyet, transit süre, taşıma hızı	Minimum maliyet ve transit süre	Maliyet-Süre Modeli	Politika Oluşturma	Kural koyucular	Batı Asya-Orta Asya

Tablo 2.3 Çoklu taşımacılık stratejik planlama boyutundaki önceki çalışmalar (devam)

Yazar, Yıl	Taşıma Türleri (*)	Değişkenler	Amaç	Yöntem	Problem Türü	Karar Verici	Bölge
Ko (2009)	DEY, DY, KY	Maliyet, transit süre, trafik yoğunluğu, altyapı seviyesi, hasar riski, bürokratik risk	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum güvenilirlik ve emniyet seviyesi	Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)	Çoklu Taşıma Rota Seçimi-Politika oluşturma	Dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri, taşıma işleri organizatörleri, kural koyucular	G. Kore-Rusya
Macharis ve diğer. (2015)	DEY, İSY, KY	Maliyet, transit süre, trafik yoğunluğu, süresi, emisyon miktarı, kaza riski, gürültü düzeyi	Minimum maliyet, transit süre ve çevresel etki	PROMETHEE	Politika oluşturma	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri ve kural koyucular	Belçika
Moon, Kim ve Lee (2015)	DEY, DY	Maliyet, transit süre, mesafe, güvenilirlik, esneklik, sefer sıklığı, güvenlik, taşıma türü ve rota farkındalığı	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum hizmet kalitesi, güvenlik ve farkındalık	TOPSIS	Çoklu Taşıma Rota Seçimi-Politika oluşturma	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri ve kural koyucular	G.Kore-Avrupa
Mokhtar, Redi, Krishnamoorthy ve Ernst (2019)	DEY, DY, KY	Maliyet, konteyner sayısı	Minimum maliyet, optimal konteyner stoğu	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Çoklu Taşıma Hizmet Ağı Tasarımı	Çoklu taşıma operatörleri ,taşıma işleri organizatörleri, dahili taşıma işletmeleri	Endonezya
Saeedi ve diğer. (2019)	DEY, KY	Terminal kapasitesi, mesafe, sefer sayısı	Maksimum verim	Veri Zarflama Analizi	Politika oluşturma	Taşıtanlar, dahili taşıma işletmeleri, çoklu taşıma operatörleri ve taşıma işleri organizatörleri, kural koyucular	Avrupa

Literatürdeki çalışmalar çoklu taşıma problemleri kapsamında incelenirse rota seçimi ve hizmet ağı tasarımı problemlerinin yoğun olduğu görülmektedir. Rota seçimi ve çoklu taşıma hizmet ağı tasarımı anlık değişkenlere göre yapılıyorsa taktik planlama boyutundan çıkarak operasyonel boyutta planlama kapsamına girmektedir. Bu tip hizmet ağları stokastik modeller ile çözümlenir. Demir ve diğer. (2015), çoklu hizmet ağı çalışmasında stokastik tam sayılı programlama yöntemi ile Avrupa Çoklu Taşıma Ağı'nda maliyet ve transit süre değişkenlerinin yanında, konteyner talebi ve yükleme boşaltma süresi gibi olasılığa dayalı değişkenleri de göz önüne alarak minimum maliyet, transit süre ve emisyon miktarını hedeflemiştir. Hizmet ağı tasarımı problemleri için bir diğer örnek aktarma merkezi konumlandırma problemleridir. Mokhtar ve diğer. (2019), Endonezya'da minimum maliyetle optimal konteyner stoğunu sağlayacak şekilde aktarma merkezlerinin yerini belirlemeye çalışmıştır.

Dahili nakliye problemleri genellikle kısa mesafe taşımalar içerdiği için anlık kararlar üzerine, operasyonel boyutta planlanan çalışmalardır. Avrupa'da uygulanan dahili nakliye modelleri coğrafik uygunluk sonucu iç su yolu ve demiryolu taşıma türü içerir iken Türkiye'deki modeller karayolu taşıma türü üzerine yoğunlaşmaktadır. Alumur ve diğer. (2012), Türkiye içerisinde dahili nakliyede havayolu ve karayolu gibi çoklu taşıma açısından pek de verimli kabul edilmeyen taşıma türlerini değerlendirirken, Macharis ve diğer. (2015), Belçika'da demiryolu ve iç su yolunun birlikte kullanılabilmesi bir dahili nakliye modeli önermiştir. İç su yolu taşıma türünün Türkiye'nin coğrafik yapısına uygun olmaması bir dezavantaj gibi gözükse de Resat ve Turkey (2015), Marmara Bölgesi için demiryolu ve deniz yolu taşıma türleri içeren bir dahili nakliye modeli geliştirmişlerdir.

Çoklu taşımanın tüm planlama boyutları ve problemleri incelendiğinde görülmektedir ki; kullanılan değişkenler içerisinde ortak olan, yükün başlangıç noktasından hedef noktaya ulaştırılmasına kadar geçen süreçte ortaya çıkan her tür harcamayı içeren, maliyet değişkenidir. Bir diğer ortak değişken transit süre; başlangıç noktasından hedef noktasına kadar gerçekleşen süreçte bekleme süreleri dahil olmak üzere geçen toplam zamanı ifade eder. İlk yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar genellikle maliyet ve transit süre üzerine yoğunlaşırken, Min (1990), yükün erken

tesliminin de geç teslim durumu kadar problem yaratacağını ifade etmiş ve olasılık içeren bir doğrusal programlama modelinde maliyet, transit süre ve zamanında teslimatı ifade eden güvenilirlik değişkenlerini göz önüne alarak çoklu taşıma hizmet ağı tasarlamıştır. Sonraki dönemlerde özellikle çevresel duyarlılığın artması ve dışsal maliyetlerin önem kazanması ile birlikte emisyon miktarı, trafik yoğunluğuna etki, sefer sıklığı, kapasite gibi değişkenlerin kullanıldığı çalışmalar artsa da; temelde kullanılan değişkenler maliyet ve transit süredir.

Çoklu taşıma içerisinde tüm planlama boyutları dahilinde incelenen problem türleri genellikle ekonomik açıdan incelenmiştir. Son yıllarda ulaştırma kaynaklı emisyon salımının önem kazanması ile çevresel açıdan da çoklu taşıma kavramı incelenmiştir. Çoklu taşıma literatür araştırmasında görülmüştür ki; çoklu taşıma birbiri ile çatışan unsurlar barındırdığı için optimizasyon yöntemi ile ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan değerlendirilmeye uygun problemler içerir. Sonuç olarak çoklu taşıma; sürdürülebilirliğin tüm boyutları ile ele alınması gereken ve literatüründe bu konuda eksiklikler bulunduran sürdürülebilir ulaştırma dahilinde incelenebilecek bir kavramdır.

2.3 Sürdürülebilir Gelişme

Sürdürülebilirlik için en fazla karşılaşılan tanım Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED: World Commission on Environment and Development) tarafından 1987 yılında yayınlanan tanımdır (Beatley, 1995). Bu tanımdan yola çıkarak, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan Brundtland Raporu'ndaki sürdürülebilir gelişme tanımı 'gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan, bugünkü ihtiyaçları karşılamayı sağlayan bir gelişme' şeklindedir (Brundtland, 1987). Yapılan bu ilk tanımlamanın yaklaşımı çevreyi ve kaynakları korumadır. 90'lı yılların ikinci döneminde sürdürülebilir kalkınma ekonomik ve çevresel açıdan çokça tartışılmış ve 2004 tarihli Sürdürülebilir Kalkınma Toplantısı'nda ise 'sürdürülebilir kalkınma; çevreye ve doğal kaynaklara zarar vermeden ekonomik kalkınmanın devamlılığının sağlanmasıdır' şeklinde tanımlanmıştır (Litman ve Burwell, 2006). 2000 yılında yayınlanan Avrupa Birliği

Lizbon Strateji Raporu'nda sürdürülebilirliğin sosyal boyutu da gündeme alınmıştır (European Council, 2000).

Sürdürülebilirlik kavramı ilk ortaya atıldığı zaman, sadece kaynak tüketimi ve hava kirliliği çerçevesinde tanımlansa da; son yıllarda şekil 2.3 de yer alan sürdürülebilirliğin üç temel boyutu olarak nitelendirilen başlıklar altında tanımlandığı görülmektedir. Sürdürülebilirlik politikası her üç boyutun sınırlarını koruyarak ekonomik, çevresel, sosyal ve kurumsal amaçların birbiri ile uyumlu hale getirilmesini gerektirir (Oman ve Spangenberg, 2002). Sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal başlıkları her ne kadar birbirinden ayrı özel başlıklar gibi gözükse de; uygulamada birbirleri ile etkileşen unsurlardır (Litman ve Burwell, 2006). Örneğin, hava kirliliği her ne kadar çevresel bir sorun olarak gözükse de insan sağlığını etkilemesi açısından aynı zamanda sosyal bir sorundur. Ulaştırmanın da ekonomik, çevresel ve sosyal unsurlar kapsamında bir çok olumlu ve olumsuz etki içeren bir kavram olmasından sürdürülebilirlik başlığı altında incelendiği görülmektedir.



Şekil 2.3 Sürdürülebilirlik temel unsurları (Litman ve Burwell, 2006)

Şekil 2.3' deki gibi bir tanımlama ekonomik, çevresel ve sosyal unsurların birbiri ile etkileşimini göze alması sebebi ile optimal çözüm için fırsatlar sunar. Örneğin; emisyon miktarını düşürme stratejileri ekonomik unsurları olumsuz etkileyebiliyor iken, trafik kazalarını azaltma ile ilgili stratejiler ekonomik ve çevresel unsurları da olumlu etkileyebilir. Bahsedilen geniş tanımlama açısından bakıldığında sürdürülebilirlik problemleri farklı amaçların birbiri ile çatışması veya birbirine hizmet etmesi sebebi ile optimizasyon yöntemine açıktır.

2.4 Sürdürülebilir Ulaştırma ve Sürdürülebilir Yük Taşıma

Sürdürülebilir ulaştırma; ulaşım gereksinimleri karşılanan kişi ve malların uzun vadeli, tolere edilebilir yer değiştirme aktivitelerinin gerçekleştirilmesidir (Omann ve Seebauer, 2008). Brundtland (1987)'de sürdürülebilir ulaştırma; gelecekteki nesillerin ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan, mevcut ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarımızın karşılanması olarak belirtilmiştir. Salvi (2015), sürdürülebilir ulaştırmayı aynı zamanda yeşil ulaştırma olarak nitelendirmiş ve mevcut ulaştırma sistemini verimli yakıt kullanımı ile geliştiren, çevre ve insan sağlığını korumayı amaçlayan bir politika olarak tanımlamıştır. Farklı tanımlamalar içerisinde yer alan her kavram aslında sürdürülebilirliğin üç unsuru ile ilişkilendirilebilir. Örneğin; yeşil ulaştırma çevresel sürdürülebilirlik, katılımcı ulaştırma sosyal sürdürülebilirlik, verimlilik ise ekonomik sürdürülebilirlik dahilindedir. Sürdürülebilir ulaştırmada amaç kirlilik ve enerji tüketiminin kontrolü, kazaların azaltılarak yaşanabilirliğin kontrolü ve şehrin, bölgenin ekonomik gelişiminin sağlanmasıdır (Rajak, Parthiban ve Dhanalakshmi, 2016). UNCTAD (2015) raporuna göre sürdürülebilir ulaştırma; ulaştırma hizmetinin ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin dengelenerek sunulmasıdır. Ulaştırmada ekonomik sürdürülebilirlik; ulaştırma faaliyetinden gelir sağlanır iken, yatırımcı tarafından yapılan, yatırımın korunmasına, çevresel sürdürülebilirlik hiç bir sistemin diğer sistemlere zarar vermeden büyüyeceğinden hareketle çevreye verilen zararın azaltılmasına ve sosyal sürdürülebilirlik ise eğitim, gelir, istihdam ve toplumsal kararlarda söz hakkı olma gibi değerlere dayanır.

Kumar ve Anbanandam (2018)' e göre literatürdeki sürdürülebilir ulaştırma çalışmaları ekonomik sürdürülebilirlik üzerine yoğunlaşmış, çevresel ve sosyal boyuttaki çalışmalar yetersizdir. Sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını ele alan yük taşımacılığı çalışmalarından birisi Simongati (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada maliyet, güvenilirlik, rota engelleri ve yük güvenliği ekonomik faktörler içerisinde, enerji verimliliği, emisyon miktarı, su kirliliği çevresel faktörler içerisinde, kaza riski, trafik sıkışıklığı ve gürültü sosyal faktörler içerisinde, çok kriterli bir karar verme yöntemi ile ele alınmış, rotalara ait sürdürülebilirlik performans endeksi oluşturulmuştur. Bir diğer sürdürülebilir yük taşımacılığı çalışmasında Baykasoğlu ve Subulan (2016), maliyet, transit süre ve çevresel etki faktörlerini çok amaçlı bir karar verme yöntemi ile değerlendirerek, bir ağda farklı çıkış ve hedef noktaları için yük planı oluşturmuştur.

Sürdürülebilirlik ve yük taşımacılığı kapsamında yer alan bazı çalışmalar tedarik zinciri sürdürülebilirliğini incelemiştir. Bu kapsamda; Confessore, Galiano, Liotta ve Stecca (2013), maliyet, hava kirliliği, trafik yoğunluğu, gürültü, trafik kazası gibi sürdürülebilirlik faktörleri ile üretim, envanter ve dağıtım kısıtlarını değerlendirerek bir sürdürülebilir lojistik modeli oluşturmuştur. Varsei ve Polyakovskiy (2017) yatırım maliyeti, emisyon miktarı, istihdam ve GSMH'a katkı kriterlerini çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirmiş ve kuruluş yeri seçimi gerçekleştirerek sürdürülebilir bir tedarik zinciri tasarlamıştır. Kengpol ve diğer. (2012b), maliyet, transit süre, gecikme riski ve çevresel etki faktörlerinin çok kriterli bir karar verme yöntemi ile önemini ölçerek, elde edilen önem düzeylerini optimizasyon yönteminde girdi olarak kullanmış ve uygun rotalar tespit etmiştir. Arampantzi ve Minis (2017), uluslararası bir üretici için hem tedarik hem dağıtım süreçlerini ele alan sürdürülebilir bir tedarik zinciri ağını karışık tam-sayıllı doğrusal programlama ve hedef programlama yöntemleri ile tasarlamıştır. Bahsedilen çalışmada; yatırım miktarı, operasyon ve emisyon maliyeti ekonomik başlık, emisyon ve atık miktarı çevresel başlık, istihdam ise sosyal başlık altında değerlendirilmiştir.

Sürdürülebilir yük taşımacılığı başlığı altındaki bir grup çalışma sadece çevresel ve sosyal faktörlerin ekonomik karşılığını hesaplayarak dışsal maliyetleri ortaya koymuştur. Ulaştırma sürecinin toplumda ve çevrede yarattığı etkiler yoğun ve kalıcı ise, hizmet maliyetlerine ve fiyatlarına yansıtılmayan bu etkiler dışsal maliyet olarak tanımlanmaktadır (Janic, 2007). Ranaiefar ve Regan (2011), trafik sıkışıklığı, uzun transit sürelerinin ekonomik dışsal maliyet, ekosistem yıprandırılması, emisyon artışı ve iklim değişiminin ekolojik dışsal maliyet, hava kirliliği, su kirliliği ve yeşil alan kaybınının çevresel dışsal maliyet, insan sağlığı, gürültü, stres ve kaza yaralanmalarının sosyal dışsal maliyet olarak gruplandırılmasını önermiştir. Castells, Usabiaga ve Martinez (2012), kısa mesafe deniz taşımacılığı ve karayolu taşımacılığında çevresel etkiyi dışsal maliyet olarak değerlendirerek sürdürülebilir rota karşılaştırması yapmıştır.

Çevresel sürdürülebilirlikle ilgili çalışmalar yeşil koridor veya yeşil ağ kapsamında değerlendirilen, çevresel etkiyi dışsal maliyet olarak değerlendiren çalışmalardır. Janic ve Vleugel (2012), çalışmada Avrupa’da dahili taşımacılıkta karayolundan demiryoluna geçişte, dışsal maliyetlerde düşüşler tahminlemiştir. Çalışmada dışsal maliyet olarak görülen enerji tüketimi, emisyon miktarı, gürültü, trafik yoğunluğu ve trafik kazalarının azalacağı öngörülmüştür. Blinge (2014), yeşil taşıma koridorları oluşturabilmek için gerekli politikaları literatür araştırması ve uzmanlardan görüş olarak önermiştir. Demir ve diğer. (2015), transit süre belirsizliği değişkenini stokastik bir modelle toplam emisyon miktarını da deterministik bir modelle ortaya çıkararak, iki modeli entegre etmiş ve bir çoklu taşıma ağı önermiştir. Navarro (2014), yük taşımacılığının yüksek oranda çevresel etkileri olmasına rağmen taşıma türü seçiminde bu faktöre çok fazla önem verilmediğini ortaya koymuştur.

Yük taşımacılığında sosyal sürdürülebilirlikle ilgili olarak, yük çalınması amacı içeren kriminal olaylar sonucu şoförlerin yaralanması veya ölümü ve araçlar içerisine göçmen saklanması vakaları incelenmiştir. Ahmadi, Sarpong ve Rezaei (2017), sosyal sürdürülebilir tedarik zinciri kapsamındaki çalışmada bu alanda sadece bir adet çalışma olduğunu belirtmiştir. Yazar bu çalışmada üretimden yükün taşınmasına kadar olan süreçte iş sağlığı ve güvenliği, eğitim, tarafların hakları gibi sosyal faktörleri ele

almıştır. Zamecnik ve Jagelcak (2016), Avrupa’da yük taşımacılığındaki kriminal olayları TAPA (Transported Asset Protection Association) istatistiklerini referans olarak bölgesel olarak incelemiştir. Lietuvnike, Vasiliauskas, Vasiliauskiene ve Sabaityte (2018), Fransa İngiltere arası yük koridorunda tırlarda göçmenlerin tespit edilmesi vakalarını analiz etmiş, vaka frekanslarına göre Avrupa Ülkeleri’nin bu durumla ilgili risklerini ortaya koymuştur.

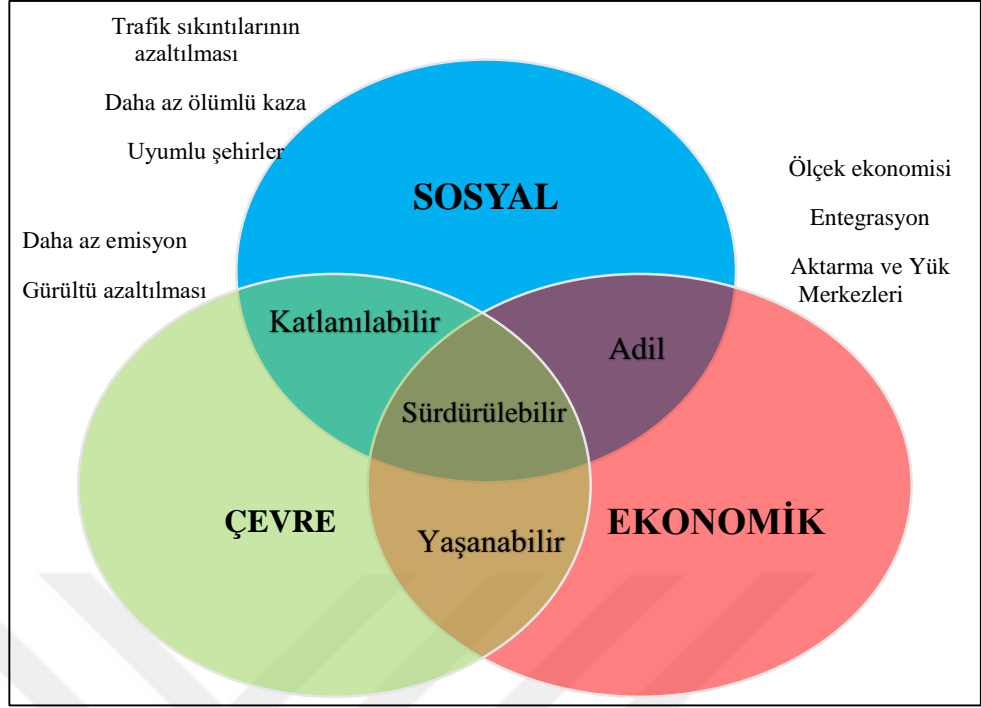
Sonuç olarak; çoklu yük taşımacılığı literatüründe kısıtlı sayıda sürdürülebilirlik çalışması bulunmakta, çoklu taşımacılığı sürdürülebilirlik kavramının ekonomik, çevresel ve sosyal olarak nitelendirilen üç boyutu ile ele alan yayın eksikliği söz konusudur.

2.4.1 Sürdürülebilir Ulaştırma Teorik Çerçeve

Ulaştırma kavramı her zaman toplumların ilerlemesi ile ilişkili ve küreselleşmenin güçlerinden bir tanesi olarak görülmüştür (Dubey ve Gunasekaran, 2015). Fakat, taşıma talebinin karşılanması ekonomik gelişim sosyal katkılar yaratmasının yanında, çevresel ve sosyal anlamda olumsuz etkileri de ortaya çıkarmaktadır. Ekonomik kalkınma, sosyal gelişim ve çevre koruma birbirinden bağımsız fakat karşılıklı olarak birbirini güçlendiren unsurlardır (UN, 1997). Bahsedilen ekonomik, sosyal ve çevresel etkiler taşıma kavramı içerisinde de sürdürülebilirliğin üç temel boyutu teorisine dayandırılmıştır. Bu teoriye göre sürdürülebilirlik kavramının ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç temel dayanağı bulunmaktadır (Elkington, 1997). Üç temel Boyut çerçevesi sürdürülebilirliği yönetmek için sosyal ve çevresel sorumlulukların karşılık üzerindeki etkilerinin anlaşılması gerektiğini savunmaktadır (Göçer, 2015).

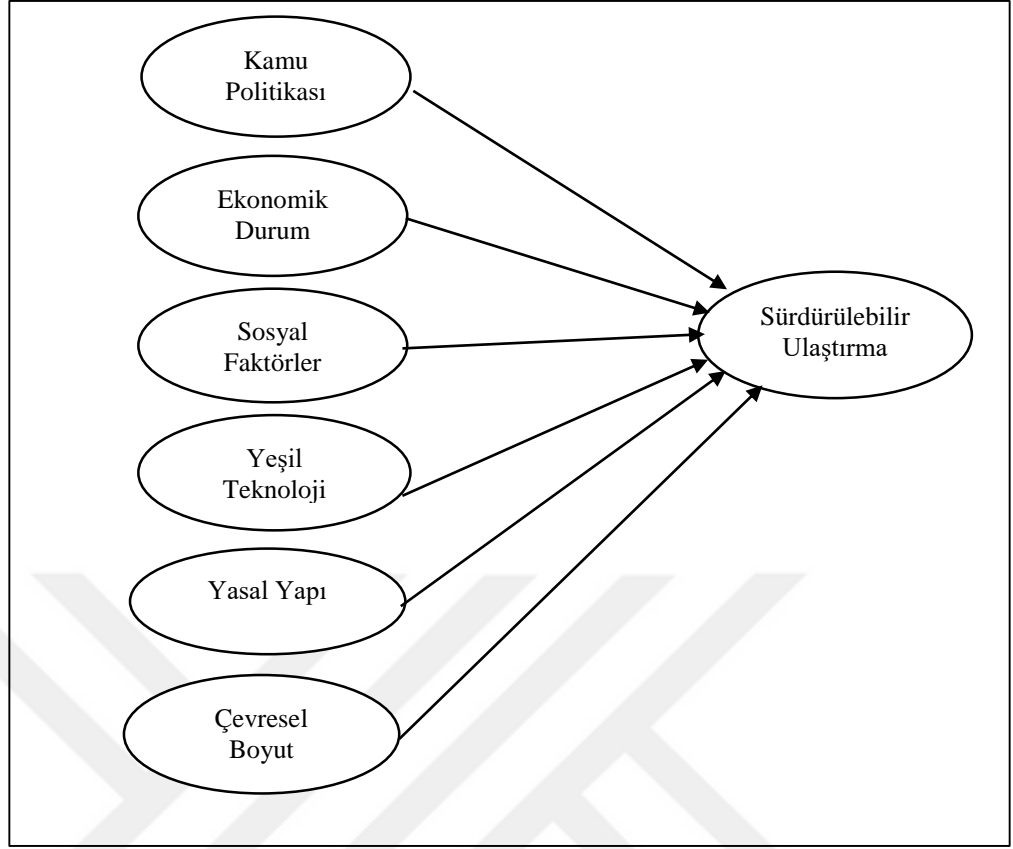
Ulaştırma için de sürdürülebilirlik performans ölçümü bu üç dayanak göz önüne alınarak yapılmalıdır. Bongardt, Schmid, Huizenga ve Litman (2011), sürdürülebilir taşımayı; insanların temel erişim gereksinimlerinin güvenli bir şekilde karşılayan (sosyal boyut), ekonomik, verimli çalışan ve bölgesel büyümeyi teşvik eden (ekonomik boyut), hava kirliliği, atık, arazi kullanımı ve gürültü etkilerini en aza indiren

(çevresel boyut), tüm paydaşları içeren katılımcı bir süreçte tasarlanmış bir sistem olarak tanımlamıştır. OECD (1996) tarafından sürdürülebilir ulaştırma, sürdürülebilir gelişim hedeflerinin ulaştırma alanındaki uygulaması olarak tanımlanmıştır. Bu raporda sürdürülebilir ulaştırma için temel 9 adet prensip; erişilebilirlik, eşitlik, bireysel ve toplumsal sorumluluk, sağlık ve güvenlik, kararlara katılım, planlama entegrasyonu, kirlilik önleme, arazi ve kaynak kullanımı, ekonomik refah olmak üzere yayınlanmıştır. Bu prensiplerin temelinde, ekonomik refahın artırılırken kaynak tüketiminin ve çevreye verilen zararın minimum olması, ulaşım hizmetlerinden toplumun tüm bireylerinin faydalanması ve bireylerin güvenlik ve emniyetinin korunması amaçları yer almaktadır. Bahsedilen prensipler her ne kadar kent içi yolcu taşımacılığına yönelik olsa da, Zeimpekis, Aktas, Bourlakis ve Minis (2018) tarafından sürdürülebilir yük ulaştırmasına uyarlanmıştır. Bu uyarlama dahilinde, yük taşımacılığına uygulanabilir sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları arasındaki etkileşim şekil 2.4’de gösterilmiştir. Sürdürülebilir ulaştırma gibi kapsamlı bir prensip listesi tasarlanmamış olsa da sürdürülebilir yük taşıma sistemleri güvenlik ve emniyeti sağlama yeteneği olan, erişilebilir, güvenilir, uygun fiyatlı, yakıt tasarrufu sağlayan, çevre dostu ve tehlikelere karşı dirençli olmalıdır (Zeimpekis ve diğer., 2018).



Şekil 2.4 Sürdürülebilir yük ulaştırması (Zeimpekis ve diğer., 2018)

Bir diğer sürdürülebilir yük ulaştırma teorisi kapsamında Dubey ve Gunasekaran (2015), sürdürülebilir yük ulaştırmasını etkileyen şekil 2.5’de görüldüğü gibi politika, ekonomik durum, sosyal faktörler, yeşil teknoloji, yasal yapı ve çevresel boyut olmak üzere 6 adet bağımsız değişken belirlemiştir.



Şekil 2.5 Sürdürülebilir ulaştırma çerçevesi (Dubey ve Gunasekaran, 2015)

Kamu politikası, devletin olumsuz durumu değiştirmek için göstermiş olduğu çabalar bütünüdür (Dubey ve Gunasekaran, 2015). Devletler doğayı korumak, kazaları önlemek ve yaşam kalitesini arttırmak amaçlı gerçekleştirdiği düzenlemeler ile sürdürülebilirlik hedefine katkı sağlamaktadır. Örneğin; Avrupa Birliği Ülkeleri'nde çoklu taşıma sistemini geliştirmek amacı ile TEN-T (Trans-European Transport Network) Projesi kapsamında üye ülkeler tarafından EU-1315/2015 sayılı yasa oluşturulmuş ve uygulamaya konulmuştur. TEN-T Projesinin amaçları altında sürdürülebilirlik başlığı açılmış ve taşıma türlerinde ekonomik verimliliğin sağlanması, emisyon salımının ve dışsal maliyetlerin azaltılması, 2050 yılında kadar CO₂ miktarında önemli miktarda azalma hedeflenmiştir (Official Journal of European Union, 2013).

Ekonomik durum sürdürülebilir ulaşırmaya etkisi direkt olarak farkedilebilecek bir değişkendir. Örneğin, yakıt fiyatlarındaki artış transit süreleri etkiler ve ulaştırma sisteminin verimliliğini düşürür. Sosyal boyut açısından bakıldığında; Litman (2007),

gelir dağılımındaki adaletsizliklerin ulaştırma türlerinin dağılımını önemli derecede etkilediğini belirtmiştir. Bu durum, ulaştırma sürecini sürdürülebilirlik hedefinden uzaklaştırmaktadır. Yasal uygunluk, sürdürülebilirlik alanındaki uygulamaların meşrulaştırılmasını ve kurumsal organizasyonunu sağlar. Dubey ve Gunasekaran (2015), yeşil teknoloji ve çevresel boyutu sürdürülebilirlik için kritik başarı faktörü olarak belirtmiştir. Fakat ulaştırma sisteminin sürdürülebilirlik performansı tüm boyutları ile değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme için bazı alt amaçlar olarak da nitelendirilebilecek sürdürülebilir ulaştırma göstergelerine ihtiyaç vardır.

2.4.2 Sürdürülebilir Ulaştırma Göstergeleri

Sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin incelenmesi ve detaylandırılması gelecekteki hedeflerimizin belirlenmesi ve politikaların saptanmasında önemli rol oynar (Haldenbilen, 2003). Bu noktadan hareketle; literatür araştırmasında sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin önerilmesi, seçimi ve belirlenen göstergeler ile sürdürülebilirlik performansı ölçümüne dönük çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri üç ana boyuta hizmet eden kriterler ve bu kriterlerin ölçümü için gerekli olan göstergeler şeklinde sınıflandırılmıştır.

Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT: European Statistical Office), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD: The Organisation for Economic Co-operation and Development), Dünya Bankası ve Avrupa Çevre Ajansı gibi kurumlar uzun yıllardır sürdürülebilirlik ile ilgili göstergeler geliştirmekte ve yayınlamaktadır. Bu göstergeler makro düzeydeki ölçümlere yönelik yayınlandığı için lokal uygulamalarda bir gösterge kümesi oluşturulmalıdır. OECD (1993)' e göre lokal düzeydeki çalışmalar için göstergelerin seçimi ile ilgili üç temel gereklilik; göstergelerin lokal bölgenin ulaştırma politikasına uygun olması, analitik olarak kullanılabilir olması ve ölçülebilir olmasıdır. Bongardt ve diğer. (2011), tüm dünyada sürdürülebilirlik ile ilgili gösterge yayınlayan kurumların çalışmalarını sürdürülebilirlik boyutu ve kapsam açısından incelemiş ve çalışma sonunda tüm yayınlarda ortaya konan göstergelerin sürdürülebilirliğin üç boyutunu da kapsadığını tespit etmiştir.

Uluslararası kurumların yayınlarının yanı sıra; tablo 2.4, tablo 2.5 ve tablo 2.6' da gösterilen sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin tespitine yönelik çalışmalar, kent içi yolcu taşımacılığı ve kentsel lojistik alanına yöneliktir. Sürdürülebilir ulaştırmada göstergelerin belirlenmesi ile ilgili en kapsamlı çalışmaları Litman (2019) ve Jeon, Amekudzi ve Guensler (2013) gerçekleştirmiştir. Jeon ve diğer. (2013), sürdürülebilirlik göstergelerini üç temel çerçevede değerlendirmiştir. Buna göre; göstergeler sürdürülebilirlik hedefinde sapma oluşturabilecek sebep-sonuç ilişkileri, alınan ulaştırma kararlarının üç temel sürdürülebilirlik boyutuna (ekonomik, çevresel, sosyal) etkisi ve sürdürülebilir ulaştırmadan sorumlu karar vericilerin nedensel faktörler üzerindeki kontrol seviyesi göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Jeon ve diğer. (2013), bu çalışmada; 15 farklı gösterge önererek, bu göstergeleri ekonomik, çevresel, sosyal ve ulaştırma sistemi sürdürülebilirliği boyutlarında gruplandırarak, Atlanta Metropolitan bölgesinde ulaşım sistemi sürdürülebilirliğini ölçmüştür.

Litman (2007), sürdürülebilir ulaştırma tespiti için gerekli göstergelerin seçilmesinde planlama süreci, alternatiflerin yeterliliği, yolculuk davranışı, fiziksel etkiler, çevre ve toplum üzerine etkiler, ekonomik etkiler ve performans hedefleri olarak yedi adet seviye belirlemiştir. Planlama süreci ulaştırma yatırımlarının içeriğini ölçmeye dönük göstergeleri sunarken, alternatif yeterliliği de yeterli ulaştırma opsiyonu olup olmadığına yönelik ölçümler yapmaya dönüktür. Yolculuk davranışı daha çok yolcu taşımacılığında tüketici davranışlarını inceleyen, örneğin araç sahiplik oranı gibi göstergeleri ortaya koyar. Fiziksel etki seviyesi emisyon miktarı, kaza sayısı gibi göstergeler ile zararın miktarını ölçmeyi amaçlarken, çevre ve toplum üzerindeki etkiler seviyesi, fiziksel etki göstergelerinin doğa ve toplumdaki etkilerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Ekonomik etki seviyesinde maliyet, verimlilik ile ilgili göstergeler yer alır. Performans hedefleri seviyesinde ise sürdürülebilirlik performans hedeflerinin başarı derecesine dair göstergeler belirlenir.

Litman ve Burwell (2006) sürdürülebilirlik göstergelerini geleneksel göstergeler, basit ve temel göstergeler ve kapsamlı göstergeler olarak gruplandırmıştır. Geleneksel göstergeler; karayolu hizmet kalitesi, ortalama trafik akım hızı, otopark imkanları ve fiyatları gibi trafik durumu ile ilgili göstergelerdir. Basit ve temel göstergeler olarak;

fosil yakıt kullanımı, trafik kazası sonucu yaralanma ve ölüm vakaları ve arazi kullanımı gibi faktörler belirtilmiştir. Kapsamlı göstergeler sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal amaçlarının üçünü de aynı anda etkileyen göstergelerdir. Örneğin; ekonomiklik boyutunu amacına ulaştıran bir kriter olarak erişilebilirlik kavramına ait gösterge toplam seyahat süresi olarak belirtilmiştir. Kişi başına düşen trafik kazası kaynaklı yaralanma ve ölüm miktarı sosyal boyutun alt kriteri olarak güvenlik amacına ait bir göstergedir. Çevresel boyutun alt amacı olarak iklim değiştirici emisyonların salımının azaltımı hedefine ne kadar ulaşılabildiği kişi başına yakıt tüketimi göstergesi ile ortaya konabilir. Litman ve Burwell (2006), kapsamlı göstergeleri belirler iken bu göstergelere ait verilere ulaşmanın zorluk derecesini ‘limitli’, ‘genelde ulaşılabilir’ ve ‘her zaman ulaşılabilir’ olarak üçlü bir ölçekle belirlemeye çalışmıştır.

Sürdürülebilirlik göstergeleri genel olarak ilgili sürdürülebilirlik boyutlarına ulaşma konusundaki amaçlara göre gruplandırılmaktadır. Bu amaçlara ulaşma performansı ise göstergeler ile belirlenmektedir. Rajak ve diğer. (2016), çalışmasında bu amaçları sürdürülebilir ulaştırma kriterleri olarak gruplandırmış, kriterlere ait göstergeleri belirleyerek ulaştırma kurumlarının sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapabilmesi için göstergelerin önem düzeyini Bulanık Mantık Yöntemi ile belirlemiştir. Kengpol ve diğer. (2012a), çalışmasında ekonomik yük ulaştırması kavramına risk boyutunu katarak maliyet ve transit süre değişkenlerinin yanında yük hasar riski, alt yapı riski ve bürokratik riskleri de katarak olasılıksal bir modeli çok kriterli karar verme ile entegre ederek ekonomik rota seçimi gerçekleştirmiştir.

2.4.2.1 Sürdürülebilir Ulaştırma Ekonomik Göstergeleri

Ekonomiklik boyutuna ulaşmayı sağlayacak kriterler; mobilite -erişilebilirlik, ekonomik üretkenlik ve performans, güvenilirlik, satınalınabilirlik, maliyet ve ekonomik kalkınmadır. Ekonomik üretkenlik ve performans kriteri ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirildiği bölgede ekonomiye olumlu ya da olumsuz etkileri ortaya koymaktadır. Bunu ortaya koyarken de yaratılan gelir ve bu gelirin ülkenin GSMH’na katkısı, mesafe başına taşınan yolcu veya yük miktarı, zamanın değeri çerçevesinde

toplam taşıma süresi, ulaştırma bütçesi-maliyet ve ulaştırma sebepli kazaların yarattığı ekonomik etkiler gibi göstergelerden faydalanır. Mobilite ve erişilebilirlik kriteri hedef noktaya ulaşımı sağlayan veya ulaşımı engelleyen unsurları değerlendirir. Transit ulaşım imkanı, verimli ulaştırma operasyonlarının varlığı (Teknoloji kullanımı) ulaşımı sağlayan birer gösterge iken, bürokrasi ve yasal düzenlemeler, seyahat, navlun ücretleri, trafik sıkışıklığı ulaşımı engelleyici, mobiliteyi azaltıcı unsurlardır. Güvenilirlik kriterinden çoklu taşımada Banomyong ve Beresford (2001), tarafından bahsedilse de Kirk, Tableporter, Senn, Day, Cao, Fan, Slotterback, Goetz ve McGinnis (2010), güvenilirliği kent içi yük ulaştırmasında yükün zamanında teslimatı olarak tanımlanmıştır. Satılabilirlik ve uygun maliyet kriteri ulaştırma için çeşitli olanakların uygun maliyet ile ortaya konması ile ölçülebilir. Ekonomik üretkenlik tamamı ile ekonominin kaynaklarının verimli kullanımına yönelik iken ekonomik kalkınma işe ve okula ulaşım, istihdama katkı ve yerel işletmelere destek oranı gibi sosyoekonomik göstergeler içerir. Sürdürülebilir ulaştırma performansı ölçümünde kullanılacak, literatürdeki çalışmalarda önerilen ekonomik kriter ve göstergeler ve bunların önerildiği kaynaklar tablo 2.4’de belirtilmiştir.

2.4.2.2 Sürdürülebilir Ulaştırma Çevresel Göstergeleri

Çevresel boyut kapsamındaki kriter ve göstergeler çevreye olan olumsuz etkileri en düşük seviyede tutmayı amaçlamaktadır. Çevresel boyutta en önemli görülen sürdürülebilir ulaştırma göstergesi sera gazları emisyon miktarı veya diğer bir isimle iklim değiştirici gazların emisyon miktarı ve diğer hava kirleticilerin emisyon miktarıdır. CO_2 , CFC’ler, CH_4 v.b sera gazları, CO, VOC, NO_x , ve PM hava kirletici gaz ve parçacıklar olarak sınıflandırılrsa da emisyon ile ilgili etkinin tümü konsolide edilerek CO_2 cinsinden ifade edilebilir. Çevresel göstergeler arasında emisyon miktarı her ne kadar çok önemli olarak görülse de kaynak kullanımı, kirlilik önlemleri, çevre tahribatı, gürültü ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı çevresel sürdürülebilirlik değerlendirmesinde kullanılması önemli fakat, veriye ulaşılabilirlik zorluğu sebebi ile tercih edilmeyen göstergelerdir. Bu kriterlerden kaynak kullanımı ulaştırma altyapısının kurulması ve ulaştırma sisteminin işletilmesi sırasında tüketilen enerji ve malzeme miktarı ile ölçülür. Çevre tahribatı ulaştırma alt yapısının oluşturulması için

kullanılan verimli arazilerin oranı ile ifade edilmektedir. Gürültü ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı da sürdürülebilir ulaştırmanın çevresel boyutu ile ilgili diğer iki önemli kriterdir. Çevresel sürdürülebilirlik ölçümünde kullanılabilecek kriter ve göstergeler tablo 2.5’de belirtilmiştir.

2.4.2.3 Sürdürülebilir Ulaştırma Sosyal Göstergeleri

Sosyal boyutta yer alan sürdürülebilirlik kriter ve göstergelerinin bazı çalışmalarda ekonomik boyutta da ele alındığı ve önerildiği görülmektedir. Mobilite ve erişilebilirlik bir çok çalışmada ekonomik boyutta değerlendirilirken, Jeon ve diğer. (2013) ve EUROSTAT (2017) tarafından bu kriter ve göstergeler sosyal boyutta da ele alınmıştır. Satılabilirlik ve uygun maliyet göstergesi yolcu taşımacılığı açısından hem ekonomik ve hem de sosyal boyutta yer alsa da, yük taşımacılığında ekonomik boyutta değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir ulaştırmada herkesin ulaşırma imkanlarından faydalanmasını amaçlayan eşitlik göstergesi daha çok kent içi yolcu taşımacılığı alanında yapılan değerlendirmelerde kullanılmaktadır. Daha çok çevresel boyutta ele alınan gürültü yoğunluğu göstergesi insan sağlığına etkileri düşünülerek bazı çalışmalarda sosyal boyutta da ele alınmıştır. Yaşanabilirlik kriteri ulaşırma ile topluma sağlanan iş imkanları ve ulaşırma sürecinin insan sağlığına etkileri ile ilgili göstergeleri kapsamaktadır. Sürdürülebilir ulaşırma performansı ölçümünde kullanılabilecek, literatürdeki çalışmalarda önerilen sosyal kriter ve göstergeler ve bunların önerildiği kaynaklar tablo 2.6’da belirtilmiştir.

Tablo 2.4 Sürdürülebilir ulaştırma ekonomik kriterler ve göstergeler

Kriter	Gösterge	Kaynak
Ekonomik üretkenlik ve performans (Jeon ve diğer., 2005), (Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016)	Gelir ve GSMH'a katkı	(Rassafi ve Vaziri, 2005), (Awasthi Chauhan ve Omrani, 2011), (Rajak ve diğer., 2016), (Varsei ve Polyakovskiy, 2017), (Litman, 2019)
	Taşıma türü yük/yolcu taşıma miktarı ve mesafe (ton.mil-yolcu.mil)	(Jeon ve diğer., 2005), (Rassafi ve Vaziri, 2005), (Litman ve Burwell, 2006), (Niskota, Perujo, Jesinghaus, Jensen, 2009), (Jeon ve diğer., 2013)
	Toplam süre	(Litman ve Burwell, 2006), (Boggia ve Cortina, 2010), (Jeon ve diğer., 2013), (Litman, 2019)
	Ulaştırma bütçesi - Maliyet	(Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Zegras, 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Jeon, 2013), (Rajak ve diğer., 2016)
	Kaza sonucu hasarlar	(Litman, 2007)
Mobilite ve erişilebilirlik (Litman, 2006), (Litman, 2007), (Niskota ve diğer., 2009) (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016)	Transit ulaşım imkanı	(Awasthi ve diğer., 2011), (Rajak ve diğer., 2016)
	Bürokrasi ve Yasal düzenlemeler	(Rodrigues ve diğer., 2009), (Tejada ve diğer., 2017)
	Seyahat, Navlun ücretleri	(Rajak ve diğer., 2016)
	Trafik sıkışıklığı	(Black, 2000), (Black ve Sato, 2007), (Litman, 2007), (Niskota ve diğer., 2009)
	Verimli ulaştırma operasyonları (Teknoloji kullanımı)	(Niskota ve diğer., 2009), (Rodrigues ve diğer., 2009), (Rajak ve diğer., 2016)
Güvenilirlik (Kirk ve diğer., 2010), (UNCTAD, 2017), (Rajak ve diğer., 2016), (OECD, 2015)	Ortalama teslimat hızı ve zamanında teslim oranı	(Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Awasthi ve diğer., 2011), (Tejada ve diğer., 2017), (Litman, 2019)
Satılabilirlik ve Uygun Maliyet (Litman ve Burwell, 2006), (Kirk ve diğer., 2010)	Ulaştırma olanağı çeşitliliği	(Litman ve Burwell, 2006), (Rajak ve diğer., 2016), (Litman, 2019)
	Satılabilir taşıma hizmetleri	(Rajak ve diğer., 2016), (Litman, 2019)
Ekonomik Kalkınma (Jeon ve diğer., 2005), (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016)	Eğitim ve işe ulaşım imkanları	(Rajak ve diğer., 2016), (Litman, 2019)
	İstihdama katkı	(Jeon ve diğer., 2005), (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016), (Varsei ve Polyakovskiy, 2017)
	Yerel işletmelere destek	(Rajak ve diğer., 2016)

Tablo 2.5 Sürdürülebilir ulaştırma çevresel kriterler ve göstergeler

Kriter	Gösterge	Kaynak
Sera gazları(İklim değiştirici) emisyon salımı (Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Jeon ve diğer., 2013 (Litman, 2019), (Rajak ve diğer., 2016), (UNCTAD, 2017), (EUROSTAT, 2017)	CO ₂ , CFC'ler, CH ₄ v.b Sera gazları emisyonu salım miktarı	(Jeon ve diğer., 2005), (Rassafi ve Vaziri, 2005), (Zegras, 2006), (Litman ve Burwell, 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Boggia ve Cortina, 2010), (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016), (UNCTAD, 2017), (Tejada ve diğer., 2017), (Varsei ve Polyakovskiy, 2017), (Litman, 2019)
Diğer Hava Kirletici Gazların Salımı (Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Jeon ve diğer., 2013 (Litman, 2019), (Rajak ve diğer., 2016), (UNCTAD, 2017), (EUROSTAT, 2017)	CO, VOC, NO _x , ve PM salım miktarı	(Jeon ve diğer., 2005), (Rassafi ve Vaziri, 2005), (Zegras, 2006), (Litman ve Burwell, 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Boggia ve Colinta, 2010), (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016), (UNCTAD, 2017), (Tejada ve diğer., 2017), (Litman, 2019)
Kaynak Kullanımı (Gudmundsson ve Höjer, 1996), (Zegras, 2006), (UNCTAD, 2017), (EUROSTAT, 2017), (Litman ve Burwell ,2006), (Jeon ve diğer., 2013)	Enerji-yakıt Tüketimi	(Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Black ve Sato, 2007), (Niskota ve diğer., 2009), (Boggia ve Cortina, 2010), (Awasthi ve diğer., 2011), (Jeon ve diğer. 2013)
	Malzeme tüketimi	(Litman ve Burwell, 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Jeon ve diğer., 2013)
Kirlilik Önlemleri (Rajak ve diğer., 2016)	Su kirliliği kontrol düzeyi, Hava kirliliği kontrol düzeyi, atık yağ yönetimi	(Jeon ve diğer., 2005), (Litman ve Burwell 2006), (Boggia ve Cortina, 2010), (Rajak ve diğer., 2016), (UNCTAD, 2017)
Çevre Tahribatı (Litman ve Burwell, 2006), (OECD, 2015), (Rajak ve diğer., 2016), (Litman, 2019) (UNCTAD, 2017)	Arazi kullanımı	(Black, 2000), (Rassafi ve Vaziri, 2005) , (Litman ve Burwell 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Boggia ve Colinta, 2010), (Awasthi ve diğer., 2011), (Litman, 2019), (Rajak ve diğer., 2016)
Gürültü (Gudmundsson ve Höjer, 1996), (Litman ve Burwell, 2006) (Zegras, 2006), (Litman, 2007), (Jeon ve diğer., 2013), (UNCTAD, 2017)	Gürültü maruziyeti ve kontrol düzeyi	(Jeon ve diğer., 2005), (Litman ve Burwell 2006), (Niskota ve diğer., 2009), (Litman, 2007), , (Rajak ve diğer., 2016) (Awasthi ve diğer., 2011), (UNCTAD, 2017)
Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Litman, 2007), (Litman, 2019), Rajak ve diğer., 2016), (EUROSTAT, 2017)	Yenilenebilir enerji kullanımı	(Jeon ve diğer., 2005), (Litman ve Burwell 2006), (Niskota ve diğer., 2009)

Tablo 2.6 Sürdürülebilir ulaştırma sosyal kriterler ve göstergeler

Kriter	Gösterge	Kaynak
Mobilite ve ulaşılabilirlik (Jeon ve diğer., 2013), (EUROSTAT, 2017)	Merkezi noktalara ulaşım	(Jeon ve diğer., 2013),
	Ortalama yolculuk süresi	(Zegras, 2006)
Gürültü (UNCTAD, 2017)	Gürültü seviyesi	(Tejada ve diğer., 2017)
Satınalınabilirlik ve uygun Maliyet (Litman, 2019), (EUROSTAT, 2017)	Ulaştırma için ayrılan hane bütçesi	(Haldenbilen, 2003), (Rajak ve diğer. 2016)
Eşitlik (Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Jeon ve diğer., 2013), (Rajak ve diğer., 2016)	Ulaştırma olanağı çeşitliliği	(Rajak ve diğer. 2016)
	Emisyon salımı ve gürültüye eşit düzeyde maruziyet	(Zegras, 2006), (Jeon ve diğer., 2013),
Emniyet-Güvenlik (Litman ve Burwell 2006), (Jeon ve diğer., 2013), (Salvi, 2015), (Rajak ve diğer., 2016), (EUROSTAT, 2017), (UNCTAD, 2017)	Emniyet ve güvenlik düzeyi	(Rajak ve diğer. 2016), (UNCTAD, 2017)
	Kriminal vakalar ve önlem düzeyi	(Jeon ve diğer., 2005), (Rajak ve diğer. 2016)
	Kaza sonucu ölüm ve yaralanma oranları	Black (2000), (Jeon ve diğer., 2005), (Litman ve Burwell, 2006), (Litman, 2007), (Niskota ve diğer., 2009), (Awasthi ve diğer., 2011), (Rajak ve diğer., 2016), (Litman, 2019)
	Kaza sonucu engellilik oranları	(Rajak ve diğer. 2016)
Yaşanabilirlik (İstihdam-Sağlık) (Litman, 2007), (Rajak ve diğer., 2016)	İstihdama katkı	(Niskota ve diğer., 2009), (Rajak ve diğer. 2016), (Tejada ve diğer., 2017)
	İnsan sağlığına etkiler	(Zegras, 2006), (Litman, 2007), (Niskota ve diğer., 2009), (Rajak ve diğer., 2016)
	Motorlu araç kullanımından kaynaklanan akciğer hastalıkları ve kanser vakaları sayısı	(Niskota ve diğer., 2009)

2.5 Sonuç

Literatür araştırması kapsamında; çoklu taşıma çalışmalarının problem türleri ve problemlerin planlama boyutları, kullanılan yöntemler ve sürdürülebilirlik göstergeleri ile ilişkilendirebilmek amacı ile çalışmalarda kullanılan değişkenler incelenmiştir. Çoklu taşıma çalışmalarında en sık kullanılan değişken maliyet ve transit süredir. Bu çalışmalarda minimum maliyet ve en düşük transit süre ile ulaştırma amaçlanmıştır. Çoklu taşıma ile ilgili sık sık ele alınan diğer değişkenler güvenilirlik, mesafe ve sefer sıklığı gibi değişkenlerdir ki; bunlar rota seçim kriterleri olarak adlandırılır. Çoklu taşıma literatüründe bazı çalışmalarda yukarıda bahsedilen değişkenlerin yanında çevresel etki, kaza sayısı gibi değişkenler ele alınsa da bu çalışmalarda sürdürülebilirlik boyutuna değinilmemiştir.

Sonraki aşamada sürdürülebilir ulaştırma hedefi için uluslararası kuruluşlar tarafından yayınlanan göstergeler ve literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan göstergeler incelenmiştir. Elde edilen bu göstergeler araştırmanın analiz kısmında sürdürülebilir rota performansının belirlenmesi amacı ile kullanılacaktır.

Literatür araştırması göstermektedir ki; sürdürülebilir ulaştırma ve çoklu taşıma, amaçları açısından birbirleri ile ilişkili, dünyada ilgi çeken bir konudur. Çoklu taşıma ve sürdürülebilirlik ile ilgili yoğun olarak yayınlar yapılmıştır. Bu yayınların bir çoğu sürdürülebilir kent içi yolcu ulaştırması, düşük yoğunluktaki kısmi yük taşımacılığı alanında olup, çoklu yük taşımacılığını sürdürülebilir ulaştırma açısından inceleyen çalışmaların yetersiz sayıda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kent içi yolcu ulaştırması ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan direkt olarak kullanıcılar ile ilişkilendirilebilir. Fakat; çoklu yük taşımacılığı sistemleri makro bir yapıda olduğu için sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin tümü çoklu yük taşımacılığı için kullanılamayabilir. Buradan hareketle; sürdürülebilir çoklu yük taşımacılığı için gerekli göstergelerin sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri arasından seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU TAŞIMACILIK ROTASI SEÇİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ

3.1 Giriş

Araştırmanın bu bölümü, seçilen çıkış noktası ve varış noktası arasındaki çoklu taşımacılık rotalarının sürdürülebilir yük taşımacılığı açısından değerlendirilmesiyle ilgili bir model önerisi içermektedir. Bu kapsamda önerilen KDS modeli sürdürülebilirliğin üç temel boyutunu (ekonomik-çevresel-sosyal) dikkate alarak, rota seçimi konusunda stratejik, taktik ve operasyonel kararlar alabilmek amacıyla tasarlanmıştır. Modelde sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyinin yanında; kullanıcının bütçe, çevresel etki limitleri, risk kabul limitleri gibi kısıtları da sürdürülebilir rota analizi için göz önüne alınmıştır.

Araştırmanın ana sorunu Türkiye-Avrupa arasındaki çoklu taşıma koridorlarında, rota kullanıcısının kısıtlarını da göz önüne alarak, maliyeti, transit süresi ve çevresel etkisi en az olan, güvenlik ve emniyet düzeyi en yüksek olan rotaları ortaya koymaktır. Önerilen KDS, sadece kullanıcı limitleri (bütçe, transit zamanı, risk limitleri) değil, aynı zamanda kullanıcıların sürdürülebilirliğe verdikleri önem düzeyini göz önünde bulundurarak sürdürülebilir yük taşımacılığı stratejileri geliştirmek için taşıtanlar, taşıma işleri organizatörleri, çoklu taşıma operatörleri, dahili nakliye işletmeleri ve politika oluşturucular tarafından bir karar verme aracı olarak kullanılabilir.

Önerilen KDS modelinde, çoklu taşıma maliyet-transit süre analizi, emisyon analizi, ekonomik risk analizi modelleri alternatif rotaların sürdürülebilirlik performansının seçilen göstergeler temelinde belirlenebilmesi için entegre edilmiştir. Önerilen modelin çoklu yük taşımacılığı alanında sürdürülebilirlik kavramının üç temel amacını bütünlük olarak ele alan ilk çalışma olacağı önemli bir unsurdur.

İlerleyen bölümlerde modelin girdilerini oluşturacak olan sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi, çok kriterli karar verme ile sürdürülebilir çoklu

taşıma göstergelerinin öneminin ağırlıklandırılması, rota oluşturma, maliyet-transit süre analiz modeli, emisyon analizi, ekonomik risk analizi, güvenlik analizi, emniyet analizi ve 0-1 hedef programlama ile optimizasyon aşamaları açıklanacaktır.

3.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Rotası Seçimi için KDS Önerisi

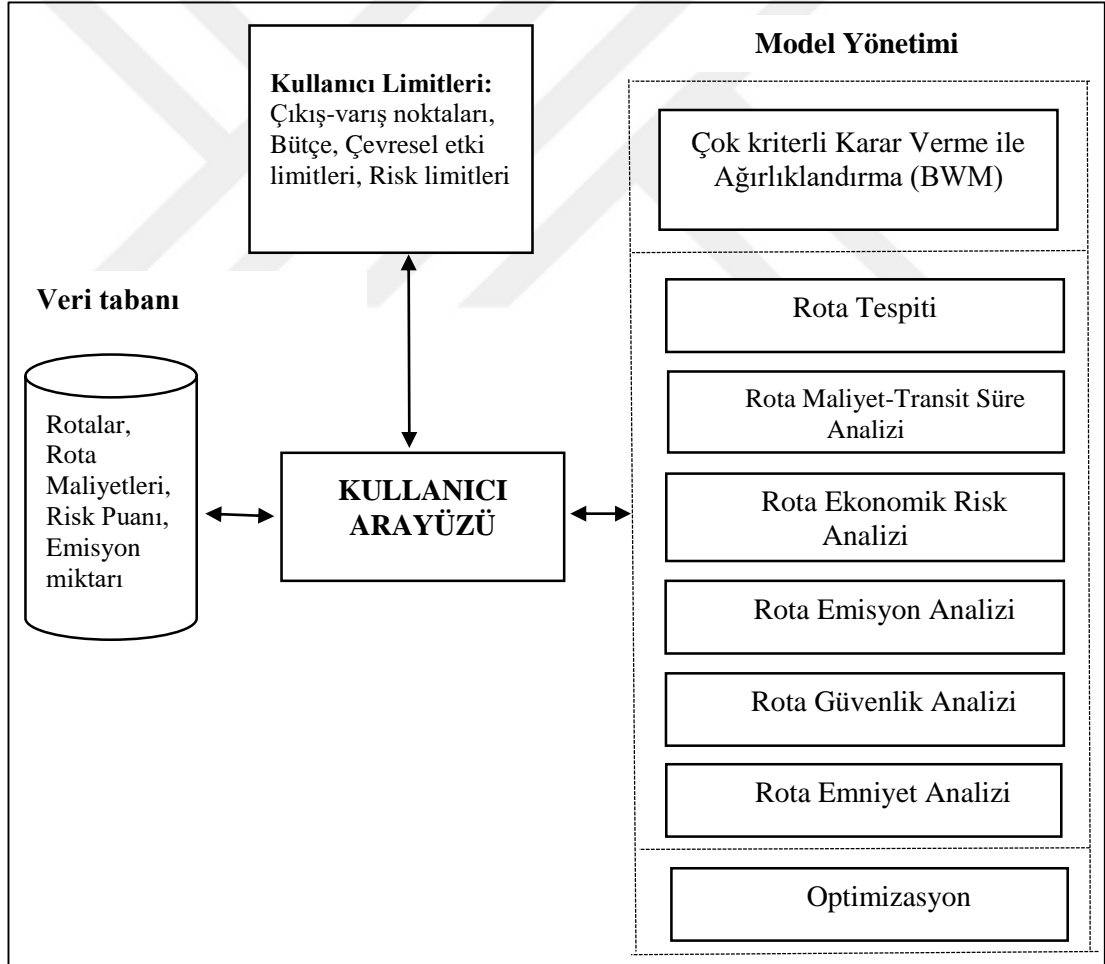
Karar destek sistemi karmaşık problem çözümü ve karar vermede kullanılan bilgisayar teknolojisine dayalı bir çözümdür (Ocalir, 2016). Bir KDS'nin en temel bileşenleri veritabanı, model, sistem altyapısı ve kullanıcı-sistem arayüzüdür (Makowski, 1994). Model tabanlı KDS bilgi sistemlerinden bağımsız bir KDS türü olup analiz yeteneği mevcuttur. Veri tabanlı KDS ise işletme sistemleri ya da web gibi kaynaklardan veriyi çekerek analiz eder (Management Study HQ, b.t.).

Önerilen KDS modeli tüm tipik KDS'ler gibi veritabanı, model yönetimi ve kullanıcı ara yüzü olarak bilinen ana bileşenleri içerir. Veritabanı kullanıcıların çıkış-varış noktası, bütçe, çevresel etki limit değerleri ve risk kabul limitlerini göz önüne alarak, rota alternatifleri, rota maliyetleri, rota emisyon miktarları ve rota risk puanlarını depolar. Model Yönetimi farklı kantitatif modeller içerir. Çok kriterli bir karar verme yöntemi olan BWM (Best-Worst Method), sürdürülebilirlik göstergelerinin önemini kullanıcının bakış açısına göre değerlendirir ve ağırlıklandırır. Maliyet-transit süre analizi modeli yükü çoklu taşıma sisteminde katlanılan toplam taşıma maliyetini ve ulaştırma için geçen toplam süreyi hesaplar. Ana aşama olan veritabanı yönetimi tüm rotalara ait başlangıç noktası-varış noktası, maliyet, transit süreyi, emisyon miktarı ve güvenlik ve emniyet düzeylerini içerir. Model yönetiminde elde edilen bu veri kullanıcı arayüzü ile veritabanına aktarılır ve ihtiyaç halinde kullanılmak üzere depolanır. Karar vericinin seçeceği çıkış noktası ve varış noktası, sürdürülebilirlik göstergeleri ile ilgili öncelik kısıtları, bütçe kısıtları, çevresel etki ve risk algıları sınırları yine arayüz ile model yönetimi altındaki yöntemlerde kullanılmak üzere model yönetimine aktarılır.

İkinci bölümde de bahsedildiği gibi; çoklu taşıma sistem yönetimine unimodal taşımaya göre daha çok ihtiyacı olan karmaşık problem türüdür. Karmaşık karar verme

problemlerine çözüm olarak önerilen araç ise karar destek sistemleridir. Ocalir (2016), klasik bir KDS'nin avantajlı yönlerini; karmaşık veri tabanlarını yönetebilmesi, sistem içerisinden ve dışarisından veriyi kolay çekebilmesi, güçlü bir modelleme yeteneğine sahip olması, kullanışlı arayüzleri ile interaktif olması olarak sıralamıştır. Bu sebepler ile çalışmada çözüm için bir KDS önerilmiştir.

Önerilen KDS modeli her birinin çıktısı sonraki yönleme girdi oluşturacak ardışık yöntemler içermektedir. Araştırmadaki alt yöntemlerin sırasını da gösteren araştırma akışı, araştırmanın tasarımı ve düzeni başlıklı şekil 1.1'de de görülebilir. Önerilen KDS modeli ve işleyişi şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Önerilen karar destek sistemine ait model (Kengpol ve diğer., 2012a'dan uyarlanmıştır.)

3.3 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi

Sürdürülebilirlik kavramının çok geniş bir uygulama alanına sahip olması nedeniyle, hangi alanda hangi göstergelerin kullanılması gerektiği konusunda kesin bir değerlendirme yapılamamaktadır. Bu sebeple; çoklu taşımacılık performans ölçümü için gerekli göstergelerin uzman görüşü ile sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri arasından seçilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

3.3.1 Araştırmanın Tasarımı

Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi için veri toplama amacı ile araştırmanın ikinci bölümünde yer alan literatür incelemesi sonucu ortaya çıkarılan sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri içerisinde sürdürülebilir çoklu yük taşıması için gerekli olan göstergelerin seçimi, seçilen göstergelerin gereklilik ve önem düzeyini ve bu göstergeler ile ilgili veriye ulaşılabilirlik düzeyini ortaya koymak amacı ile bir uzman görüş formu oluşturulmuştur. Araştırmanın geçerliliğini sağlamak amacı ile uzman görüş formunun içeriği, anlaşılabilirliği Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden toplam beş uzmanın incelemesi ile Kasım 2018'de onaylanmıştır. İnceleme sonucunda uzman görüş formu EK-1'de görüldüğü üzere son halini almıştır.

Uzman görüş formunda uzmanlara taşıma türü seçim kriterleri ve sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri ekonomik, çevresel ve sosyal amaç grupları başlığında, hangi kriter ve göstergenin sürdürülebilir çoklu yük taşıması için gerekli olabileceği sorulmuştur.

Görüş formunda detaylı olarak uzmanlardan aşağıdaki bilgilerin alınması hedeflenmiştir:

- Uzmanın ulaştırma ve/veya sürdürülebilirlik alanındaki deneyim süresi;

- Sunulan sürdürülebilir ulaştırma ve taşıma türü seçim göstergelerinin/kriterlerinin sürdürülebilir çoklu yük taşıma için gerekliliği (İki puanlı bir ölçekte: Gerekli-Gereksiz);
- Bahsedilen gösterge gerekli olarak belirtilmiş ise önem düzeyi (Beş puanlı bir likert ölçeği: 1: Tamamiyle önemsiz, 2: Önemsiz, 3: Ne önemli/Ne Önemsiz, 4: Önemli, 5: Tamamiyle Önemli);
- Bahsedilen gösterge gerekli olarak belirtilmiş ise gösterge ile ilgili veriye ulaşılabilirliğin düzeyi, Litman ve Burwell (2006) tarafından geliştirilen üç puanlı bir ölçekte 1: Kısıtlıdır, özel veri toplama teknikleri gerektirir, 2: Sıklıkla ulaşılabilir, fakat standartlaştırılmış şekilde değildir, 3: Her zaman standartlaştırılmış şekilde bulunur.
- Var ise eklenmesi gerektiği düşünülen göstergeler ve yorumlar.

3.3.2 Araştırmanın Örneklem Tespiti

Rassal Örneklem ve rassal olmayan örneklem olmak üzere iki temel örneklem yöntemi bulunmaktadır. Rassal olmayan örneklem yöntemleri de kolayda örneklem, yargısal örneklem ve kota örnekleme olarak sınıflandırılır (Kuleyin, 2013). Evrende kısıtlı sayıda ve belirli kategorilere dahil edilebilen örnekler var ise yargısal örneklem tasarlanır. (Sekaran, 2003). Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi ile ilgili bu çalışma, ulaştırma ve sürdürülebilirlik alanlarında çalışmalar yürüten, farklı kategorilerde uzmanlaşmış, kısıtlı sayıda uzmanla görüşmeyi gerektirdiğinden, örneklemin belirlenmesinde yargısal örneklem yöntemine başvurulmuştur. Örneklem grubu ulaştırma-lojistik, sürdürülebilirlik, çevre, ve ekonomi alanlarında çalışan akademisyen, çoklu ulaştırma işletmelerinin yöneticileri, çoklu ulaştırma hizmeti kullanan firmaların yöneticileri, ulaştırma kamu yöneticileri ve ulaştırma, lojistik ve sürdürülebilirlik alanlarında danışmanlık hizmeti veren firma yöneticileri olmak üzere beş farklı kategoride toplanmıştır.

3.3.3 Araştırma Saha Uygulaması

Uzman görüşü alma süreci Aralık 2018’de başlatılmış olup, uzmanlara üç şekilde ulaşılmaya çalışılmıştır: İlk olarak; uzman görüş formu, uzmanlardan randevu alınarak ve uzmanlar ziyaret edilerek yüz yüze görüşme tekniği ile doldurulmuştur. İkinci olarak; uzmanlara araştırmanın detaylarının belirtildiği bir kapak yazısı dahilinde uzman görüş formu elektronik posta olarak gönderilmiş ve formun doldurulup e-mail olarak geri gönderilmesi talep edilmiştir. Bir hafta içerisinde örneklem içerisinde yer alan uzmanlara bir hatırlatma elektronik-posta da gönderilmiştir. Üçüncü olarak; uzman görüş formu google form platformuna aktarılarak, uzmanlara formun linki elektronik posta ile iletilmiş ve formun bahsedilen platformda doldurulması talep edilmiştir. Araştırma kapsamında toplam 45 uzmanın görüşünün alınması hedeflenmiş, 30 uzman talebe olumlu yanıt vermiş ve konu hakkındaki görüşlerini paylaşmışlardır.

3.3.4 Araştırmanın Güvenilirliği-Geçerliliği

Araştırmanın güvenilirliğini arttırmak amacı ile görüşmeler tamamlandıktan sonra, Şubat 2019 ‘da 6 kişilik uzmanın görüşü, aynı uzman görüş formu ile yüzyüze görüşme tekniği ile tekrar alınmış ve önceki aşamada elde edilen değerler ile son aşamada elde edilen değerler arasında büyük farklılıklar olup olmadığı tespit edilmiştir.

Uzman görüşü alma aşaması sonucunda, bundan sonraki aşamalarda kullanılmak üzere 8 adet sürdürülebilir çoklu ulaştırma göstergesi elde edilmiştir. Seçilen göstergeler uygulama alanında detaylı olarak açıklanacaktır.

3.4 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin BWM (Best-Worst Method) ile Ağırlıklandırılması

Rota seçim kararları ulaştırma sistemi için zor kararlardır ve karar vericilerde önemli bir bilgi, birikim ve tecrübe bulunmasını gerektirir. Kararların zor olmasının sebebi karara etken olan çok sayıda nicel ve nitel faktörün öneminin karar vericinin

bilgi, deneyim ve tecrübesine bağılı olarak; yani algısal olarak değişkenlik göstermesidir. Algısal olarak değişkenlik gösteren faktörlerin önem düzeyinin ölçülmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulmaktadır. Çok kriterli karar verme problemleri birden fazla kriterin optimize edildiği, mümkün çözüm setleri içerisinde en iyi alternatifin seçildiği problemler olarak da tanımlanabilir (Turan, 2015). Bu aşamada çok kriterli karar verme sonucu alternatif seçilmeyecek, fakat kriter optimizasyonu sonucu elde edilen ağırlıklar, çalışmanın ana optimizasyon yöntemi olan 0-1 hedef programlama için girdi oluşturacaktır.

Kriterlerin ağırlıklandırılması için literatürde yeni bir, çok kriterli karar verme yöntemi olarak Rezaei (2015) tarafından geliştirilen BMW (Best-Worst Method) yöntemi kullanılmıştır. BMW (Best-Worst Method); çok kriterli karar verme problemlerinin çözümüne yönelik, ikili karşılaştırmalar içeren bir yöntemdir. İkili karşılaştırmalar sayısal bir ölçeğin de yardımı ile özdeğer (eigen) yaklaşımı ile yapılır. BMW (Best-Worst Method)'in bir diğer ikili karşılaştırma içeren, çok kriterli karar verme metodu olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)'den en önemli farkı ikili karşılaştırma aşamasında tüm kriterleri birbirleri ile karşılaştırmak yerine en çok önemli bulunan ve en az önemli bulunan iki önemli kriteri, diğer kriterler ile karşılaştırmasıdır. Bunun sonucunda; daha az karşılaştırma verisine ihtiyaç duyulmakta ve tutarlı karşılaştırmaların sonucu güvenilir bir sonuç ortaya konmaktadır (Rezaei, 2015). AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yönteminde kriterler birbirinden bağımsızdır (Önder, 2015). Kengpol ve diğer. (2012a) maliyet, transit süre gibi etkileşimli kriterlerin içerisinde bulunduğu rota seçim kriterlerini AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile ağırlıklandırmıştır. BMW'de (Best-Worst Method) de ağırlıklandırılan kriterlerin de birbirinden bağımsız olması beklenir iken Ahmadi, Sarpong ve Rezaei, (2017) sürdürülebilirlik kavramına ait sosyal kriterleri BMW (Best-Worst Method) ile ağırlıklandırmıştır.

BWM (Best-Worst Method) yönteminde temel aşamalar şu şekilde belirtilebilir:

1. Kriter kümesinin oluşturulması.
2. En çok önemli veya en çok tercih edilebilir olacağı düşünülen ve en az önemli veya en az tercih edilebilir olacağı düşünülen kriterin seçimi.
3. En çok önemli olarak belirtilen kriter ile diğer kriterlerin ikili karşılaştırmasının yapılması.
4. En az önemli olarak belirtilen kriter ile diğer kriterlerin ikili karşılaştırmasının yapılması.
5. Optimal ağırlıkların tespit edilmesi.

3.4.1 BWM (Best-Worst Method) Metodu İkili Karşılaştırma Ölçeği

Craig (1973)'e göre ulaştırma türü seçimlerinde yöneticilerin subjektif yaklaşımları göz ardı edilmemelidir. Bu noktadan hareketle; çalışmada yöneticilerin yaklaşımlarının rota seçiminde göz önüne alınması amacı ile kullanılan BWM (Best-Worst Method) çok kriterli karar verme yöntemi, ilgili konu hakkında uzman kişilerden görüş alınarak uygulanmıştır. Burada amaç uzman kişilerin niteliksel görüşlerini nicelleştirerek, sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri ile ilgili genel yargının ne olduğunu tespit etmektir (Rezaei, 2016). Rezaei, Nispeling, Sarkis, Tavasszy (2016), Guo ve Zhao (2017), BWM (Best-Worst Method) yöntemini kullandığı çalışmalarında Saaty (1987) tarafından, AHP yöntemi için geliştirilen ikili karşılaştırma ölçeğini kullanmışlardır. İkili karşılaştırma ölçeği tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 BWM (Best-Worst Method) ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1987)

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden yüksek kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden çok yüksek kuvvetle daha önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerler	Her bir tercihteki derecelerin ara derecelerini belirtir.

En çok önemli olduğu düşünülen veya en az önemli olduğu düşünülen kriter ile diğer kriterlerden herhangi birisi karşılaştırılır iken, görüşü alınan uzman, en çok önemli veya en az önemli kriter ile karşılaştırılan diğer kriterin aynı derecede önemli olduğunu düşünüyor ise karşılaştırma işleminde bir puanını belirtir. Eğer uzman bir kriterin karşılaştırılan diğer kriterden çok yüksek kuvvetle önemli olduğunu düşünüyor ise 9 değerini belirtir. 2, 4, 6, 8 değerleri de puanlamada ara değer olarak kullanılabilir.

3.4.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin İkili Karşılaştırması

n adet kriter içerisinde uzmanlar tarafından yapılan en çok önemli ve en az önemli kriter değerlendirilmesinden sonra, diğer kriterlerin bu iki referans kriter ile karşılaştırılması gerekir. Buna göre; $a_{ij} \geq 1$ olması şartı ile bir ikili karşılaştırma değeri ise; ve i en çok önemli kriteri ve/veya j en az önemli kriteri belirtiyor ise a_{ij} referans ikili karşılaştırmadır. a_{ij} referans karşılaştırmasında ne i ne de j en çok önemli ve/veya en az önemli kriteri belirtmiyor ise a_{ij} ikili karşılaştırması bir ikincil karşılaştırmadır (Rezaei, 2015). BWM (Best-Worst Method) diğer çok kriterli karşılaştırma yöntemlerinden farklı olarak sadece referans karşılaştırmalar üzerinden elde edilen vektörler ile minimum-maksimum problemi çözümü ile sonuca ulaşmaya çalışır. Burada elde edilen iki tip vektör; en çok önemli olduğu belirtilen kriteri diğer kriterler ile karşılaştıran A_B vektörü ve en az önemli kriteri diğer kriterler ile karşılaştıran A_W vektörleridir.

Bir ağırlıklandırma probleminde n adet kriterin karşılaştırılacağını varsayarsak; a_{Bj} en çok önemli kriterin diğer kriterlerden j'inci kritere göre üstünlük puanını gösteriyor, a_{jW} j'inci kriterin en az önemli kritere göre üstünlük puanını gösteriyor ise;

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (3.1)$$

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (3.2)$$

şeklindedir. Burada en çok önemli ve en az önemli kriterlerin kendileri ile karşılaştırma puanları yani, $a_{BB}=1$ ve $a_{WW}=1$ olduğu açıktır.

3.4.3 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergeleri Optimal Ağırlıklarının Bulunması

Kriterlerin ağırlıklarının bulunabilmesi için j kriteri için en çok önemli kriterden ve en az önemli kriterden maksimum sapmaların mutlak değeri minimize edilmeye çalışılır. Bu durumu matematiksel olarak Rezaei ve diğer. (2016) şöyle açıklamıştır:

$$\min \max_j \{ |w_B - a_{Bj} w_j|, |w_j - a_{jW} w_W| \} \quad (3.3)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.4)$$

$$w_j \geq 0, j=1, \dots, n \quad (3.5)$$

Buradaki değişkenler; w_B ; en önemli olarak belirtilen kriterin ağırlığı, a_{Bj} ; en önemli olarak belirtilen kriterin j kriterine karşı üstünlük derecesi, w_j ; j kriterinin ağırlığı, a_{jW} ; j kriterinin en az önemli olarak belirtilen kritere karşı üstünlük derecesi, n ise toplam kriter sayısıdır.

Formül 3.3, 3.4, 3.5' de belirtilen matematiksel model şu şekilde de yazılabilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \xi^L \quad (3.6)$$

Kısıtlar:

$$|w_B - a_{Bj} w_j| \leq \xi^L \quad (3.7)$$

$$|w_j - a_{jW} w_W| \leq \xi^L \quad (3.8)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (3.9)$$

$$w_j \geq 0, j=1, \dots, n \quad (3.10)$$

Belirtilen doğrusal programlama modeli çözülerek, w_1, w_2, \dots, w_n ağırlıkları ve ξ^L değeri elde edilir. ξ^L oranı; ikili karşılaştırmalar arasındaki tutarlılığı, dolayısıyla sonucun tutarlılığını ortaya koyar. ξ^L (tutarlılık oranı) değerinin mümkün olduğunca sıfıra yakın olması beklenir. ξ^L (tutarlılık oranı) 0,10' dan küçük olduğu durumlarda, elde edilen sonucun tutarlı olduğu kabul edilir. ξ^L (tutarlılık oranı) değerinin 0,10' dan büyük olduğu durumlarda ise ikili karşılaştırma analizlerinin tekrar uygulanması gerekir.

3.5 Rotaların Belirlenmesi

Önerilen KDS modelinin en temel öğelerinden bir tanesi veritabanının en önemli unsuru olan, sürdürülebilirlik performansı değerlendirmesi yapılacak olan rotalardır. İlk defa analizi yapılacak rota için alternatif rota bilgisi, yükün çıkış noktası ve hedef varış noktası girdilerinden elde edilecektir. Daha önce girişi yapılmış bir çıkış noktası-hedef noktasına ait alternatif rotalar veritabanında saklanır.

Rotaların belirlenmesi aşamasında; seçilen yük çıkış noktası-yük hedef ulaştırma noktası arasında mümkün olan, farklı taşıma türleri kombinasyonları içeren,

birbirinden farklı mevcut ve potansiyel rotalar belirlenir. Alternatiflerin ortaya çıkarılması için gerekli bilgiler; yükün çıkış ve varış noktaları, rota boyunca yükün bekleme noktaları, rota boyunca her bir merkeze taşıma için gerekli olan taşıma türleridir. Her bir taşıma türünde katedilen mesafeden de, emisyon, güvenlik, emniyet analizlerinde faydalanılacaktır. Çalışma kapsamında analizi yapılacak yük çıkış noktası-yük hedef noktası arasındaki mevcut ve potansiyel çoklu taşıma rotaları lojistik hizmet sağlayıcı firmalar ile yapılan görüşmeler ile elde edilmiştir.

3.6 Maliyet - Transit Süre Analizi

Rotaların ortaya çıkarılmasından sonra; mevcut ve potansiyel taşıma rotaları ile ilgili maliyet ve transit süre gibi bilgiler toplanmalıdır. Rota ile ilgili toplam taşıma maliyeti; yükün ilk çıkış noktasından son teslim merkezine kadar ortaya çıkan tüm maliyetleri içeren, kapıdan kapıya ulaştırma maliyetidir. Kapıdan kapıya ulaştırma maliyeti; navlun, iç nakliye, aktarma merkezlerinde bekleme, yükleme, boşaltma ile oluşabilecek maliyetler, gümrük masrafları, vergi ve çeşitli doküman ücretlerini içerir.

Transit süre; ulaştırma faaliyetinin başlangıcından itibaren, varış noktasına kadar; terminallerde, aktarma merkezlerinde, gümrüklerde oluşan bekleme süreleri de dahil olmak üzere geçen toplam süreyi ifade eder. Rotalara ait transit süre tespitinde lojistik hizmet sağlayıcı firmaların gerçekleştiren transit süre verilerine ulaşmak gereklidir. Maliyet ve transit süre tespiti için lojistik hizmet sağlayıcılar ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Üç lojistik hizmet sağlayıcısı firma ile yapılan görüşmede firmalara yük çıkış ve istenen varış noktaları ve taşıma türleri verilerek maliyet ve transit süre tahmini yapmaları talep edilmiştir. Bildirilen tahminlerin ortalaması alınarak ortalama maliyet ve rota transit süresi elde edilmiş ve elde edilen transit sürelerin, web üzerinde karayolu ve demiryolu taşımaları için google-haritalar Google Maps (2019) ve denizyolu taşımaları için Ships Go (2019) ve Port distance (2019) platformlarında geçerliliği onaylanmıştır.

3.7 Rota Ekonomik Risk Analizi

Risk kavramı; üretim, muhasebe, finans ve pazarlama gibi farklı disiplinlerde çalışılan ve bahsedilen her bir disiplin açısından farklı tanımlar içeren bir unsurdur (Cirjaliu, Weinschrott, Gaureanu ve Boatca 2016). Yates ve Stone (1992), riski gündelik hayat ile, sağlık, iş yaşamı, sermaye ile ilgili korkular olarak tanımlamış ve risk kavramının üç temel unsurunu ortaya koymuştur. Buna göre riskin 3 temel unsuru; zararın kapsamı, zararın önemi ve zarar ile karşılaşılma olasılığıdır. Gul ve Guneri (2015)' e göre risk zararın şiddeti ile zararın ortaya çıkma olasılığının bileşkesidir. Mitchell (1995), riski tedarik zinciri açısından ele almış ve bir satın alma sürecinin finansal kayıp, fiziksel kayıp, sosyal kayıp, psikososyal kayıp ve zaman kaybı gibi riskler içerdiğini belirtmiştir.

Yük taşıma süreci; ardışık operasyonlar içermesi, katma değerli ürünleri müşteriye zamanında, hasarsız ve eksiksiz ulaştırmayı amaçlaması sebebi ile, bu amaçları gerçekleştirirken takip ettiği her alt süreçte, zaman kaybı, fiziksel kayıp ve bunların sonucu finansal kayıp riskleri içerir. Bu riskler ile sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri ekonomik boyutundaki, araştırmanın ilk aşamasında elde edilen, güvenilirlik, yük hasar riski ve bürokratik riskler göstergeleri kapsamında incelenebilir. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinden güvenilirlik göstergesi, risk analizi aşamasında güvenilirlik kaybı riski olarak değerlendirilmiştir. Rota ekonomik risk analizi süreci için gerekli olan tipik aşamalar; risk ve tehlikelerin belirlenmesi, risk puanlarının tespitidir.

3.7.1 Risk ve Tehlikelerin Belirlenmesi

Alt risklerin (tehlike) belirlenmesi, risk analizi sürecinin en temel ve başlangıç aşamasıdır. Risk analizinin amacı belirsizliklerin farkına vararak, gelecekte karşılaşılabilinecek olunan, riskli senaryolara önlem almaktır. Ekonomik risklerin en alt seviyeye indirgenmiş olması, sürdürülebilir bir ulaştırma sisteminin en temel gerekliliğidir.

Bu gerekliliği sağlamak amacı ile bu aşamada güvenilirlik kaybı riski, yk hasar riski ve bürokratik riskleri ortaya çıkarabilecek alt riskler (tehlikeler) literatür araştırmasıyla ve her ulaştırma sisteminin kendine özgü riskleri olacağından hareketle; lojistik hizmet sağlayıcı ve ihracat operasyon yöneticilerinden oluşan uzmanların görüşleri alınarak belirlenmiştir. Daha önce bahsedilen güvenilirlik göstergesine risk açısından yaklaşılmış ve bu aşamada güvenilirlik kaybı riski olarak değerlendirilmiştir. Risk analizi sürecinde her bir risk grubu için bir ulaştırma sürecinde genel olarak karşılaşma ihtimali bulunan beşer adet alt risk (tehlike) belirlenmiştir. Buna göre ekonomik risk gruplarına ait alt riskler tablo 3.2' de belirtilmiştir.



Tablo 3.2 Ekonomik risklere ait alt riskler

Risk	Tehlike	Kaynak
Güvenilirlik Kaybı Riski	Trafik yoğunluğu, kaza ve rota altyapı koşulları sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)	(Kengpol ve diğer., 2012a), (Shankar, Choudhary ve Jharkharia, 2018), (Vilko, Ritala ve Hallikas, 2019)'dan uyarlanmıştır.
	Araç kullanma süre sınırlamalarına uyulmaması sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Erken teslimat)	(Vilko ve diğer. 2019), (Shankar ve diğer, 2018)'dan uyarlanmıştır.
	Aktarma merkezi ve gümrüklerdeki yoğunluklar sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar	(Kengpol ve diğer., 2012a), (Shankar ve diğer., 2018), (Vilko ve diğer. 2019), 'dan uyarlanmıştır.
	Hava şartları sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar	(Kengpol ve diğer., 2012a) (Vilko ve diğer. 2019), 'den uyarlanmıştır.
	Gümrük ile ilgili yanlış-eksik beyanlar sonucu teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar	Uzman görüşmeleri sonucunda ortaya çıkarılmıştır.
Yük Hasar Riski	Rota kaynaklı trafik kazaları	(Kengpol ve diğer., 2012a), (UK P&I Club, 2017)
	Yağmur-kar suyu, deniz suyu sebebi ile yükün ıslanması	(UK P&I Club, 2017)
	Komşu yükler veya konteyner kaynaklı kontaminasyon	(UK P&I Club, 2017)
	Yanlış yükleme sebebi (dengesiz yükleme, gerekli yüklere bağlama uygulanmaması) elleçleme esnasında oluşan kazalar	(UK P&I Club, 2017)
	Gemide, aktarma merkezlerinde yanlış istifleme kaynaklı kazalar	(UK P&I Club, 2017)
Bürokratik Riskler	Gümrük politikası ve/veya mevzuat değişiklikleri	(Kengpol ve diğer., 2012a), (Rodrigues, 2009 ve diğer.), (Vilko ve diğer. 2019)'den uyarlanmıştır.
	Rota geçiş ülkesi/ülkelerinde politik istikrarsızlık	(Vilko ve diğer. 2019)
	Mevzuat farklılıkları, doküman yorumlama problemleri	(Kengpol ve diğer., 2012a), (Vilko ve diğer. 2019)
	Gümrük kapılarında EDI olmaması veya EDI sıkıntıları	(Kengpol ve diğer., 2012a), (Vilko ve diğer. 2019), (Rodrigues, 2009 ve diğer.)
	IT sistemi saldırısı	(Vilko ve diğer. 2019)

3.7.2 Risk Puanlarının Tespiti

Risk analizinin yapılmasındaki temel amaçlardan bir tanesi; risklerin önem sırasının oluşturularak, en önemli riskten başlayarak önleyici faaliyetlerin oluşturulmasıdır. Fakat risk, kurum kültürü, yönetici bakış açısıyla, ortam şartları ile değişkenlik gösteren bir kavram olduğu için bu önem sırasının gerçekleştirilebilmesi için riskin nicelleştirilmesi gereklidir. Yates ve Stone (1992), risk kavramının olasılık ve etki gibi iki bileşenden oluştuğunu belirterek, formül 3.11'deki gibi; riskin nicelleştirilebileceğini belirtmiştir. Buna göre; bir riskin puanı olasılık derecesi ve risk gerçekleşirse vereceği zararın şiddetinin çarpımı sonucu elde edilir.

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Etki} \quad (3.11)$$

Riskin olasılığı ve risk meydana geldiğinde yaratabileceği zararı göz önüne alarak, riski nicelleştiren ve kategorilendirilmesini sağlayan risk değerlendirme karar matrisi, risk konusunda sıkça başvurulan sistematik bir tekniktir (Gul ve Guneri, 2016). Risk değerlendirme karar matrisi metodunun uygulanabilmesi için ilk olarak; riskin olasılığı ve etkisi gibi iki nitel değişkenin bir ölçek yardımı ile nicel hale getirilmesi gerekir. Rota ile ilgili risklerin puanlanması için gerekli olasılık ve etki beşli likert ölçekleri, Gul ve Guneri (2016), Hallikas, Karvonen, Pulkkinen, Virolainen ve Tuominen (2004)'den araştırmadaki yük taşıma sürecine uyarlanmıştır. Yük taşıma sürecinde risk analizi için uyarlanmış ölçekler Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nden iki uzman ve sektörden bir iş güvenliği uzmanı tarafından gözden geçirilerek onaylanmıştır. Risk olasılık ve etki ölçekleri tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Risk olasılık ve etki ölçekleri (Gul ve Guneri, 2016'dan uyarlanmıştır)

Puan	Olasılık	Açıklama
1	Çok Düşük Olasılık	Neredeyse hiç gerçekleşmez.
2	Düşük Olasılık	Yılda bir kez, normal olmayan durumlarda gerçekleşir.
3	Mümkün	Ara sıra, yılda bir kaç kez gerçekleşir.
4	Yüksek Olasılık	Ayda bir kaç kez gerçekleşir.
5	Çok Yüksek Olasılık	Normal şartlarda neredeyse her zaman gerçekleşir.

Puan	Etki	Açıklama
1	Çok Düşük Yoğunlukta Etki	Hiç bir süreçte hissedilmez.
2	Düşük Yoğunlukta Etki	Telafi edilebilecek küçük zorluklar ortaya çıkar.
3	Orta Derece Yoğunlukta Etki	Kısa vadeli zorluklar ortaya çıkar.
4	Yüksek Yoğunlukta Etki	Uzun vadeli zorluklar ortaya çıkar.
5	Çok Yüksek Yoğunlukta Etki	İş durma noktasına gelir. Telafi yoktur.

Risk puanları belirlenirken, ilgili alanda çalışan uzman kişilere ilgili alt risklerin bulunduğu bir form aracılığı ile olasılık ve etki puanları sorulur. Uzmanların verdiği cevapların ortalaması alınarak ilgili riske ait olasılık değeri ortalaması ve etki değeri ortalaması elde edilir. İki ortalama değerinin çarpımı sonucu alt risk puanı elde edilir. Her bir gruba ait alt risklerin ortalaması alınarak ana riskin puanı elde edilmiş olur. Riskler, risk olasılık ve risk etki puanlarının çarpımı sonucu elde edilecek risk puanlarının, tablo 3.4'deki risk değerlendirme karar matrisindeki konumuna göre düşük seviyede riskler, orta seviyede riskler ve yüksek seviyede riskler olarak kategorize edilir.

Tablo 3.4 Risk değerlendirme karar matrisi (Gul ve Guneri, 2016'dan uyarlanmıştır)

Etki	Olasılık				
	Çok Düşük (1)	Düşük (2)	Orta (3)	Yüksek (4)	Çok Yüksek (5)
Çok Düşük Yoğunlukta (1)	1	2	3	4	5
Düşük Yoğunlukta (2)	2	4	6	8	10
Orta Derece Yoğunlukta (3)	3	6	9	12	15
Yüksek Yoğunlukta (4)	4	8	12	16	20
Çok Yüksek Yoğunlukta (5)	5	10	15	20	25

Risk kategorilerinde puan sınırları risk analizi uygulaması yapılan uzmanın, kurumun risk algılarına göre değişkenlik gösterir. Risk algısı ise, önceden yaşanmış deneyimlere, kurum risk kültürüne, çevresel şartlara bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tablo 3.4'e göre oluşturulmuş risk kategorizasyonu tablo 3.5'de verilmiştir. Tablo 3.5'de verilen risk puan aralıkları uzman görüşleri ile desteklenerek, risk analizinin yapıldığı ortam şartları da göz önüne alınarak belirlenmelidir.

Tablo 3.5 Risk kategorizasyonu (Gul ve Guneri, 2016'dan uyarlanmıştır)

Risk Grubu	Puan Aralığı	Ekonomik	Açıklama
Yüksek Riskler	$17 \leq R \leq 25$	Ciddi mali kayıplar, müşteri kayıpları	Kabul edilemez, derhal önlem almak gerekir.
Orta derece Riskler	$8 \leq R \leq 16$	Mali kayıplar, telafi edilebilecek müşteri şikayetleri	Kısa vadede değerlendirilmeli ve önlem alınmalıdır.
Düşük Riskler	$1 \leq R \leq 7$	Telafi edilebilecek mali kayıplar	Kabul edilebilir risklerdir, önlem öncelikli değil fakat gözlemlenmelidirler.

Risk kategorizasyonuna göre; rotalardaki güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski ve bürokratik risklerin önem derecesine göre bir risk sıralaması yapılabilmesinin yanında,

risklerin azaltılamaması halinde ortaya çıkabilecek ekonomik kayıplar ve risklerin indirgenebilmesi için alınacak aksiyonlar belirlenir. Alınacak önlemler belirlendikten sonra ve uygulandıktan bir süre sonra riskler sürekli olarak gözlem altında tutulur. Gözlemler sonucu önlemler yetersiz bulunur ise yeni önlemler alınarak risk puanının düşürülmesi hedeflenir.

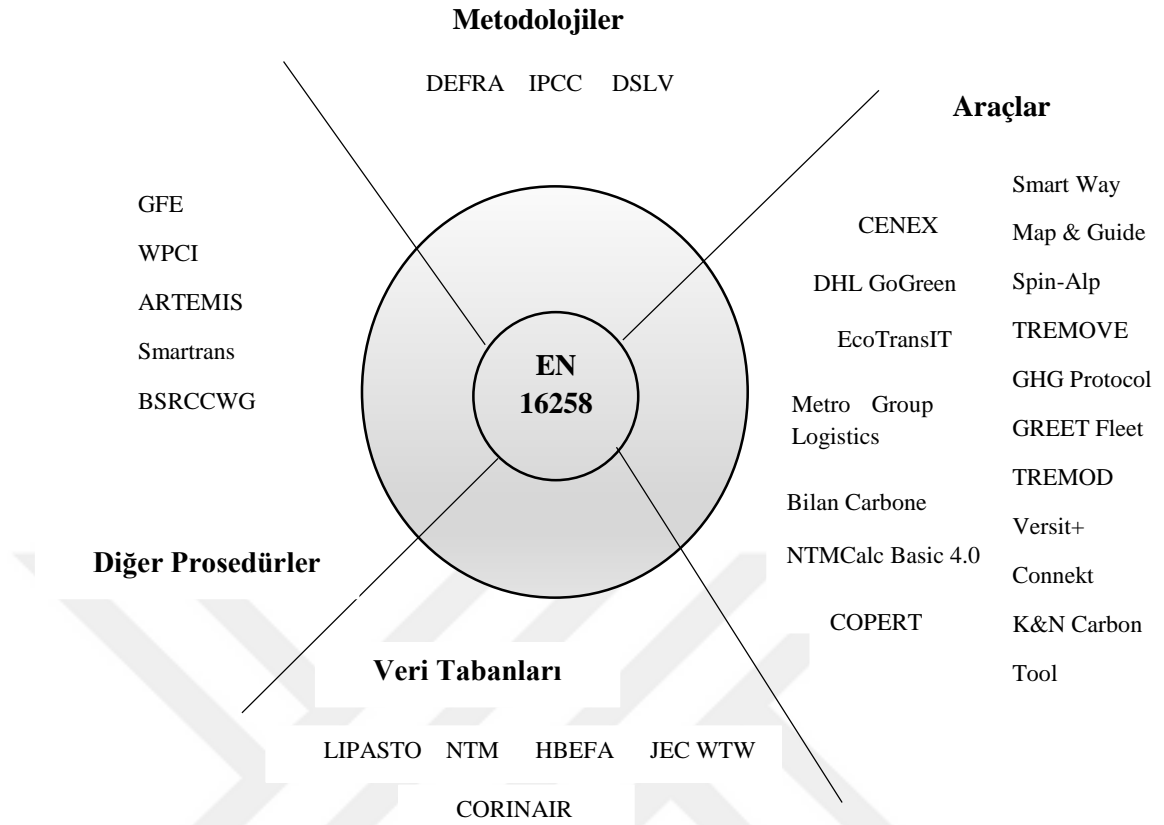
3.8 Rota Emisyon Analizi

Emisyon analizi için ilk yapılması gereken hesaplama metodunun belirlenmesidir. Fosil yakıt kullanılan, doğaya emisyon salımı yapılan her türlü sürecin karbon ayak izi hesaplaması için çeşitli standartlar, metodolojiler ve araçlar bulunmaktadır. Bahsedilen standart, metodoloji ve araçların her biri farklı parametre ve kabuller ile karbon ayak izi hesaplaması yapmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında Heidelberg Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü (IFEU: Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH) tarafından geliştirilen EcoTransit emisyon salımı hesaplama aracı kullanılmıştır.

3.8.1 Emisyon Miktarı Hesaplama Yöntemleri

Auvinen, Clausen, Davydenko, Diekmann, Ehrler ve Lewis (2014), tedarik zinciri boyunca karbon ayak izi hesaplaması için kullanılan uluslararası yöntemleri metodolojiler, hesaplama araçları, veritabanları ve diğer prosedürler olarak gruplandırmıştır.



Şekil 3.2 Tedarik zinciri emisyon salımı hesaplama yöntemleri (Auvinen ve diğer., 2014)

BS EN 16258 (Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers)) ulaşım kaynaklı karbon ayak izi tespiti için 2012 yılında CEN (European Committee for Standardisation) tarafından yayınlanmış bir standarttır. Bu standardın yayınlanması ile tedarik zincirinde emisyon hesaplamasının önemi artmış ve 2012 yılından sonra ulaştırma kaynaklı emisyon hesaplamasını amaçlayan her metodoloji, araç ve veritabanı BS EN 16258 standardı göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

Emisyon hesaplayıcı araçlar belirli bir ulaşım türü için emisyon miktarı hesaplayabilen, bir program olarak yüklenerek ya da internet uygulaması ile sunulan yazılımlardır. Petro ve Konecny (2017), Map&Guide, NTMCalc Basic 4.0 ve EcoTransit olarak 3 emisyon salımı hesaplama aracını karşılaştırmıştır. Bu değerlendirmeye göre; her üç çalışmanın da ulaşım türü seçebilmesi güçlü bir özellik olarak belirlenmiştir. EcoTransit'in en çok fark yaratan özelliği ulaştırma süreci için gerekli girdileri de göz önüne alarak indirekt emisyon miktarlarını da

hesaplayabilmesidir. Her üç yöntemin de dezavantajı hesaplanan emisyon miktarlarını maliyet olarak içselleştirememesidir.

Bu çalışmada emisyon salım hesaplama yöntemi olarak, farklı ulaşım türleri için direkt ve indirekt emisyon miktarı hesaplayabilmesi, ücretsiz kullanıma açık olması ve kullanıcı dostu ara yüzü sebebi ile EcoTransit emisyon miktarı hesaplama aracı seçilmiştir.

3.8.2 EcoTransit Emisyon Miktarı Hesaplama Aracı

EcoTransit Heidelberg Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü (IFEU: Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH) tarafından, BS EN 16258 temelinde geliştirilmiş, tüm taşıma türleri için enerji miktarı ve çok sayıda emisyon tipi çıktısını ortaya koyabilen bir araçtır. Araç tipi, kullanılan yakıt tipi, yol kalitesi gibi ulaştırma ile ilgili değişkenler kapsamında bazı kabul ve standartlar ile enerji tüketimi ve sera gazları emisyonu salım miktarını hesaplar. EcoTransit'in kullanılmasının avantajları; her bir taşıma türü ile ilgili hesaplamaları içermesi sebebi ile çoklu taşımaya uygunluğu, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) tabanlı olması, daha önce bir çok bağımsız araştırma kuruluşu tarafından farklı bölgelerde test edilmiş olması ve esnek bir arayüz içermesidir.

3.8.2.1 EcoTransit ile İlgili Genel Tanımlar ve Kabuller

EcoTransit ilk olarak enerji tüketim miktarını tespit ederek, CO₂ (karbondioksit), NO_x (Nitrojenoksitler), SO_x (sülfüroksitler), NMHC (metan dışı hidrokarbonlar), PM10, (enerji tüketimi sonucu havaya salınan partiküller) gibi bileşenlerin miktarını ya da tüm bu bileşenlerin CO₂ eşlenik (CO₂e) cinsinden miktarını ortaya çıkarır. CO₂ eşlenik olarak emisyon miktarı hesaplanır iken (3.12)'de yer alan formül kullanılır.

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{CO}_2 + 25 \text{CH}_4 + 298 \text{N}_2\text{O} \quad (3.12)$$

Burada; CO₂e eşlenik karbondioksit emisyonu miktarı, CH₄ metan gazı, N₂O ise diazot monoksit gazlarının salım miktarını ifade eder.

Enerji tüketimi ve emisyon hesaplamalarında yakıt ve enerji üretimi ile ilgili tüketimler göz önüne alınırken; aşağıdaki faktörler göz önüne alınmaz (Ecotransit, 2018):

- Taşıma aracının üretimi ve bakımı sırasında tüketilen enerji ve salım yapılan emisyon,
- Ulaştırma altyapısının yapımı ve bakımı sırasında tüketilen enerji ve salım yapılan emisyon,
- Ulaştırma sisteminin yönetim binalarında tüketilen enerji ve salım yapılan emisyon.

EcoTransit; ulaştırma süreci için tüketilen yakıtın hammadde olarak çıkarılmasından, aracın deposuna konulmasına kadar olan enerji tüketimi/emisyon miktarını hesaplar ve bunu endirekt enerji tüketimi/endirekt emisyon miktarı olarak adlandırır. Diğer taraftan; ulaştırma aracının deposundan tüketilen yakıtın enerji ve emisyon miktarı da direkt enerji/direkt emisyon olarak adlandırır. Direkt enerji/emisyon ve endirekt enerji/emisyon miktarları toplamı, toplam enerji tüketim miktarı/toplam emisyon miktarını verir.

$$\text{Endirekt Enerji Tüketimi} + \text{Direkt Enerji Tüketimi} = \text{Toplam Enerji Tüketimi} \quad (3.13)$$

$$\text{Endirekt Emisyon Mik.} + \text{Direkt Emisyon Mik.} = \text{Toplam Emisyon Mik.} \quad (3.14)$$

Direkt ve endirekt enerji tüketim miktarları megajoule (MJ) cinsinden, direkt ve endirekt emisyon miktarları da her emisyon bileşeni için ayrı olarak ya da CO₂ eşlenik olarak metrik ton cinsinden hesaplanır.

3.8.2.2 EcoTransit Emisyon Faktörleri ve Hesaplama Kuralları

Her bir taşıma türünün kendisine ait fiziksel koşulları mevcuttur. Dolayısıyla; enerji tüketimini ve emisyon miktarını etkileyen, taşıma türlerine göre farklılık gösteren, bir çok emisyon faktörü mevcuttur. Bu faktörler aşağıda belirtilmiştir (Ecotransit, 2018):

- Araç/Gemi tipi: Taşıma aracının boyutları, ağırlığı, istifleme kapasitesi, motor tipi, kullandığı yakıt tipi ve diğer teknik özellikleri enerji tüketimini, dolayısıyla emisyon miktarını etkiler.
- Kapasite kullanım oranı: Aracın yükleme kapasitesinin ne kadarının kullanıldığını gösteren yük istif faktörü, aracın boş tur yüzdesini gösteren boş tur oranı faktörleri bu kapsamdadır.
- Kargo özellikleri: Kütle yoğun, hacim yoğun, genel yükler, paletli yükler ve konteyner yükleri gibi yük çeşitlerinin ulaştırılması sonucu tüketilen enerji ve emisyon miktarı farklıdır.
- Sürüş koşulları: Ulaştırma süreci boyunca duruş sayısı, ortalama hız, hızlanma, deniz ve iç su yolu taşımacılığında su direnci, enerji tüketimi ve emisyon miktarı için göz önüne alınan faktörlerdir.
- Rota koşulları: Karayolu sınıfı, demiryolu veya iç su yolu sınıfı, eğim, kurpların özellikleri ve karayolu boyunca yoğunlukları rota koşullarında değerlendirilebilecek önemli faktörlerdir.
- Yükün ağırlığı: Enerji tüketimi ve emisyon miktarını direkt olarak etkileyen bir unsurdur. Yük ağırlığı arttıkça yakıt tüketimi, dolayısıyla enerji tüketimi ve emisyon miktarı artar.

- Mesafe: Ulaştırma süreci boyunca katedilen mesafe yakıt tüketimini, dolayısıyla enerji tüketimi ve emisyon miktarını etkiler. Mesafe arttıkça enerji tüketiminin ve emisyon miktarının artması gerekir.

Enerji tüketimi ve emisyon miktarı hesabı temel olarak yükün ağırlığı ve katedilen mesafe ile direkt olarak ilişkilidir. Bu doğru orantılı ilişkiye dayanılarak aşağıda genel enerji tüketimi ve emisyon miktarı hesaplama formülleri geliştirilmiştir:

$$EMT_i = D_i * M * (EMV_{tkm,i} + EMU_{tkm,i}) \quad (3.15)$$

$$ECT_i = D_i * M * (ECF_{tkm,i} + ECU_{tkm,i}) \quad (3.16)$$

Formüllerde yer alan parametrelerin açıklamaları ve ölçü birimleri aşağıda açıklanmıştır:

EMT_i : i taşıma türü için toplam emisyon miktarı (kg.)

D_i : i taşıma türü ile katedilen mesafe (km.)

M: Taşınan yük ağırlığı (ton)

$EMV_{tkm,i}$: i taşıma türü ile ortaya çıkan mesafe başına direkt emisyon miktarı (g/tkm.)

$EMU_{tkm,i}$: i taşıma türü için endirekt emisyon faktörü (g/tkm.)

ECT_i : i taşıma türü için toplam enerji tüketimi (MJ)

$ECF_{tkm,i}$: i taşıma türü için mesafe başına direkt enerji tüketimi (MJ/tkm)

$ECU_{tkm,i}$: i taşıma türü için mesafe başına endirekt enerji tüketimi (MJ/tkm)

Bir rota boyunca toplam enerji tüketimi her bir taşıma türü için tüketilen enerji miktarlarının, toplam emisyon miktarı ise her bir taşıma türü için emisyon miktarlarının toplamına eşittir.

Formül 3.15 ve 3.16'da verilen enerji tüketimi ve emisyon miktarı ile ilgili terimlerin her biri farklı taşıma türleri için değişkenlik gösteren parametrelere bağlıdır.

Bu parametrelerden en önemlileri EcoTransit (2018) 'de yakıt tipi, yük istif kapasitesi, araç istif faktörü ve boş tur faktörüdür. Bu parametrelerden yük istif kapasitesi aracın ton cinsinden maksimum taşıyabileceği yük miktarını ifade eder. İstif faktörü bahsedilen bu en yüksek kapasitenin ne kadarlık kısmının kullanıldığını % cinsinden belirtir. Boş tur faktörü aracın sevk süreci içerisinde toplam sevk mesafesine ek olarak hangi oranda boş olarak hareket ettiğini % cinsinden ifade eder. Bu faktörlerin her biri, her bir taşıma türü için farklılık gösterir. EcoTransit; faktörleri her bir taşıma türü için rota ile ilgili faktörler, emisyon faktörleri ve kapasite kullanım faktörleri olarak gruplandırarak enerji tüketimi ve emisyon miktarı hesaplamasını yapar.

3.8.2.2.1 Karayolu Emisyon Miktarı Hesaplama. Karayolu yük taşımacılığında en önemli rota faktörü olarak yol sürtünme faktörü ele alınır. EcoTransit tüm dünyada yük taşımacılığı için kullanılan yolları yol sürtünme faktörüne göre sınıflandırmıştır. Hesaplama göz önüne alınan bu sınıflama tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Karayolu sınıflandırması ve sürtünme faktörü (EcoTransit, 2018)

Yol Sınıfı	Sürtünme Faktörü Katsayısı
Otoyol (Kategori 0)	1,00
Şehirler arası geniş yol	1,30
Şehirler arası dar yol	1,50
Kentsel geniş yol	1,67
Kentsel yol	2,50
Kentsel dar yol	3,33

Karayolunda emisyon faktörleri yakıt tipi (yakıt sülfür oranı, biodizel kullanım oranı), bölgesel emisyon düzenlemeleri, topoğrafya, genel araç tipi yoğunluğu gibi faktörlerin yanında, kullanılan taşıma aracının teknik özelliklerine de bağlıdır. Araç ile ilgili faktörler göz önüne alınarak, karayolu yük taşımacılığında kullanılan tırların ağırlık ve boyutları tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Tır sınıflarının boyutları ve ağırlıkları (EcoTransit, 2018)

Tır tipi	Boş ağırlık (ton)	İstif Kapasitesi (ton)	TEU Kapasitesi	Maksimum Ağırlık
7,5 tondan az	4	3,5	-	7,5
7,5-12,0 ton	6	6,0	-	12,0
12,0-20,0 ton	9	11,0	-	20,0
20,0-26,0 ton	9	17,0	1	26,0
26,0-40,0 ton	14	26,0	2	40,0
40,0-60,0 ton	19	41,0	2	60,0

Kapasite kullanımı ile ilgili iki faktör yük istif faktörü ve boş tur faktörüdür. Kapasite kullanım oranı hesaplamak için formül 3.17 kullanılır.

$$CU_{tir} = LF_{tir} / (1+ET) \quad (3.17)$$

$$LF_{tir} = M/CP_{tir} \quad (3.18)$$

Burada CU kapasite kullanım oranı (%), LF yük istif faktörü (%) ve ET boş tur faktörü ((%: yüksüz katedilen mesafe/toplam katedilen mesafe)x100), M yük ağırlığı (ton) ve CP istif kapasitesidir (ton).

Örneğin; 26-40t tipi tır ile taşınan 15 tonluk bir yük için, boş tur faktörü de %20 olarak kabul edilirse; istif faktörü; 15 t /26 t = %58'dir. Kapasite kullanımı ise; %58 / (%100+%20) = %48'dir. Her yük tipi için bir standardizasyon sağlamak amacı ile 3 tip yük temelinde tablo 3.8'de yer alan kapasite kullanım faktörleri oranları önerilmiştir.

Tablo 3.8 Tır için yük tipine göre kapasite kullanım faktörleri oranları (EcoTransit, 2018)

Yük Tipi	İstif Faktörü	Boş Tur Faktörü	Kapasite Kullanımı
Dökme Yük	%100	%60	%63
Ortalama Yük	%60	%20	%50
Hacimli Yük	%30	%10	%27

3.8.2.2.2 *Demiryolu Emisyon Miktarı Hesaplama.* Demiryolu yük taşımacılığında da temel rota faktörü olarak, yol sürtünme faktörü ele alınır. EcoTransit tüm dünyada yük taşımacılığında demiryolları için de karayollarında olduğu gibi sürtünme faktörüne göre bir sınıflandırma yapmıştır. Hesaplama göz önüne alınan bu sınıflama tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9 Demiryolu sınıflandırması ve sürtünme faktörü (EcoTransit, 2018)

Yol Sınıfı	Sürtünme Faktörü Katsayısı
Yük taşınan raylar	1,00
Yük taşınmayan raylar	1,80
Elektrikli trenlerin çalıştığı raylar	4,00

Demiryolunda emisyon faktörleri yakıt tipi (yakıt sülfür oranı, biodizel kullanım oranı), elektrikli tren kullanımı, topoğrafya, genel olarak kullanılan tren tipleri gibi bölgesel alt faktörlerin yanında kullanılan trenin teknik özelliklerine bağlıdır. Araç teknik özellikleri göz önüne alındığında; demiryolu yük taşımacılığında konteyner taşıyan trenlere ait ağırlık ve boyutlar tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10 Konteyner treni boyutları ve ağırlıkları (EcoTransit, 2018)

Tren tipi	Brüt ağırlık	Boş vagon ağırlığı	Vagon istif kapasitesi	Vagon TEU kapasitesi	Vagon maksimum ağırlık
Konteyner	1000t	21t	65t	2,6	86t

Demiryolunda da emisyon faktörü olarak; yük istif faktörü ve boş tur faktörü kapasite kullanımını ile iki önemli alt parametredir. Bir konteyner trenine ait kabul gören kapasite kullanım parametreleri tablo 3.11’de gösterilmiştir.

Tablo 3.11 Tren için yük tipine göre kapasite kullanım faktörleri oranları (EcoTransit, 2018)

Tren Tipi	İstif Faktörü	Boş Tur Faktörü	Kapasite Kullanımı
Konteyner	%50	%20	%41

3.8.2.2.3 *Denizyolu Emisyon Miktarı Hesaplama*. Dünya deniz taşımacılığında; her rotada genel olarak kullanılan gemi tipleri bilinmektedir. Bu sebeple EcoTransit, hesaplamalarında denizyolu yük taşımacılığı için rota faktörlerini değerlendirme dışı tutmuştur. Emisyon kontrolü olmayan bölgelerde emisyon salımını bölgesel parametreler olarak, katedilen mesafe, çıkış varış limanları, tercih edilen denizyolu rotası etkiler. Emisyon kontrolü olmayan bölgeler için çıkış-varış limanları bölgesel düzenlemeleri dahilinde seçilecek yakıt tipini belirler. Gemi teknik özelliklerine dayalı olarak da, gemi tipi (dökme yük gemisi, RoRo, konteyner gemisi v.b.), geminin emisyon salımı azaltılması amaçlı hız düşürme opsiyonunun olup olmaması gibi değişkenler emisyon faktörleri kapsamındadır.

Denizyolu taşımacılığı için istif faktörü ve boş tur faktörü parametreleri birleştirilerek kapasite kullanım oranı olarak adlandırılır. Konteyner gemileri için kapasite kullanım oranı %70'e yakındır (BSR, 2015). Denizyolu emisyon miktarının hesaplanmasında bir diğer önemli faktör hız düşürme faktörüdür. Gemilerde salım yapılan emisyon miktarı gemi hızının karesi ile ilişkilidir. Hızdaki %10'luk bir azalma ton-km. başına emisyon miktarını %19 azaltır (IMO, 2009). Her geminin hız düşürebilme performansı farklı olduğu için çalışmada IMO tarafından %25 olarak önerilen değer kullanılmıştır.

3.8.2.3 *EcoTransit Veri Giriş Arayüzü*

Heidelberg Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü (IFEU: Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH) tarafından geliştirilen EcoTransit emisyon hesaplama aracı standart ve genişletilmiş olarak veri girişi sağlayan iki adet arayüze sahiptir. Standart arayüzde taşınacak yükün ağırlığı ya da TEU bilgisi, yükün çıkış noktası-varış noktası koordinatları ve taşıma türü girildikten sonra daha önceki aşamalarda bahsedilen faktörlerle ilgili ortalama değer kabulleri kullanılarak, enerji tüketimi ve emisyon miktarı hesaplanır. Standart arayüze ait ekran görüntüsü şekil 3.3'de gösterilmiştir.

CALCULATION PARAMETERS

Input mode: Standard

Freight: Amount: 100, Weight: Bulk and Unit Load (Tonnes)

Origin: City district, Please press ENTER to confirm.

Choose transport modes: Multiple choice possible

Truck Train Airplane Sea ship Barge

Destination: City district, Please press ENTER to confirm.

CALCULATE RESET

Şekil 3.3 EcoTransit standart arayüzü (Ecotransit, 2018)

Çalışmada da tercih edilen genişletilmiş arayüzde yükün ağırlığı, yükün çıkış ve varış noktası, aktarma noktaları koordinatları ve taşıma türünün yanında, yükün tipi, kullanılan taşıma aracının tipi, yakıt tipi, yük istif faktörü, boş tur faktörü, hız düşürme faktörü bilgileri kullanıcı tarafından girilir. Genişletilmiş arayüze ait ekran görüntüsü şekil 3.4’de gösterilmiştir.

CALCULATION PARAMETERS

Input mode: Extended

Freight: Amount: 2, Weight: Container (TEU), Type: average goods, VTEU: 10, Define handling: -

Ferry: Ferry routing: normal

Origin: City district, Please press ENTER to confirm., On-site rail track available

Transport service: TS 1

Transport mode	Vehicle type	Fuel type	Emission standard	Load factor	ETF
Truck	26-40 t	diesel	EURO 5	91.92%	20%

+ VIA

+ TRANSPORT SERVICE

Destination: City district, Please press ENTER to confirm., On-site rail track available

CALCULATE RESET

Şekil 3.4 EcoTransit genişletilmiş arayüzü (Ecotransit, 2018)

Genişletilmiş arayüzde enerji tüketimi ve emisyon miktarı hesaplaması için girişi yapılması gereken parametreler aşağıdaki gibi açıklanır:

- **Freight (Yük ile ilgili bilgiler):** Açılan menüde yük tipi olarak ağır yük, ortalama yük ve hafif yükler seçenekleri yer alır. Konteyner yüklerinde seçilen taşıma kabının türüne bağılı olarak miktar bilgisi girilir. Bu miktar 20' DC bir konteyner taşıma kabı için 1 TEU, 40' DC bir konteyner taşıma kabı için 2 TEU'dur. Yükün ağırlığı ve taşıma kabının türüne bağılı olarak TEU başına ağırlık bilgisi de t/TEU kısmına girilir.

- **Origin-Destination (Çıkış-varış noktası bilgileri):** Yükün çıkış noktası ve ara veya son hedef noktası hedef merkezlerin adı, adres kodu, liman, istasyon veya aktarma merkezi kodu veya koordinatları girilerek belirlenir.

- **Transport Service (Taşıma türü ile ilgili bilgiler):** Taşıma türü seçilerek her bir taşıma ayağına ait emisyon veya her taşıma türü seçiminden sonra VIA seçeneğine basılarak tüm ulaştırmaya ait hesaplamalar yapılır. Taşıma türü seçiminden sonra ilgili türe ait araç tipi, yakıt tipi, emisyon standardı, ilgili sekmelerde seçilir. Yük türü ve araç türüne göre değışen yük istif faktörü, boş tur faktörü ve hız düşürme faktörü (denizyolu taşıması var ise) önceki bölümde bahsedilen emisyon hesaplama kabulleri ile ilgili standart tablolardan elde edilerek yazılır.

3.8.2.4 EcoTransit Veri Girişi İçin Kabuller

Araştırmanın emisyon analizi aşamasında tüm veri girişleri genişletilmiş arayüzde, 40'DC (2 TEU) bir konteynerde taşınan bir ortalama yük sınıfı için yapılmıştır. Yük ağırlığı ortalama 20 ton olduğu varsayılarak TEU başına ağırlık 10 ton olarak girilmiştir. Araştırma için hesaplamalarda kabul edilen araç tipleri ve teknik özellikleri tablo 3.12' deki gibi belirlenmiş ve bu araç tipi kabulleri ve araç teknik özellikleri lojistik hizmet sağılayıcı 2 firma yöneticisi ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nden 2 uzman akademisyen tarafından incelenmiş ve onaylanmıştır. Araç

kabullerine göre her bir taşıma türüne ait emisyon faktörleri de tablo 3.12’de belirtilmiştir.

Tablo 3.12 Veri girişi için taşıma türü kabulleri (EcoTransit, 2018)

Taşıma Türü	Araç	Araç Sınıfı	Yakıt Tipi	Emisyon Standardı	İstif Fak.	Kap. Kul. Orn.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.
Karayolu	Tır	26-40t	Dizel	EURO 5	%60	%50	%20	-
Denizyolu	Kont. Gemisi	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	EURO 5	-	%70	-	%25
Demiryolu	Tren	EU IUC 1 (1000t)	Dizel	EURO 5	%50	%41	%20	-

Araştırmada EcoTransit (2018)’den belirlenen kabullere göre; karayolunda konteyner taşıma amaçlı kullanılan 26-40t tırların kullandığı yakıt tipi dizel yakıt ve referans alınan emisyon standardı EURO 5’dir. Yük istif faktörü %60 ve boş tur faktörü %20’dir. Akdeniz ve Kuzey Denizi rotalarında denizyolu taşımacılığında kullanılan, 1.000-2.000 TEU arasında konteyner taşıyabilen handysize sınıfındaki gemilerin dizel yakıt kullanmakta olduğu ve bu gemilerde EURO 5 emisyon standardında yakıt tükettiği var sayılmıştır. Gemiler için kapasite kullanım oranı kabulü %70’dir. Genel olarak IMO tarafından tüm gemi sınıflarında ortalama hız düşürme faktörü olarak %25 önerilmektedir. Avrupa RoRo hatlarının bir ayağını içeren demiryolu taşımacılığında EU IUC1 tipi 1000t ağırlığında, EURO 5 standardında dizel yakıt kullanan trenlerin istif faktörü %50, kapasite kullanım oranı %41 ve boş tur faktörü %20 ‘dir.

3.9 Rota Güvenlik Analizi

Rota güvenliği ile ilgili ISO 39001- Yol Trafik Güvenliği Yönetim Sistemi standardizasyonu güncel bir konudur. Bu standardizasyon yol trafik sistemi ile etkileşimde olan kamu ve özel sektör kuruluşlarının etki edebileceği yol trafik çarpışmalarına bağlı ölümleri ve ciddi yaralanmaları azaltmak, riskleri yöneterek

azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmaya yönelik olarak yol trafik güvenliği sistemi şartlarını ortaya koymaktadır (TSE, b.t.). Dolayısıyla yük ile ilgili karar vericiler bu standardizasyonun rota değerlendirmesini yaparak güvenli rotaları belirleyebilir. Rotaların güvenliğini değerlendirebilecek bir diğer gösterge ölümlü ağır taşıt trafik kaza sayılarıdır.

Bu aşamada; Avrupa Ülkeleri'nde yaşanan ağır taşıtların karıştığı kaza sayıları ve bu ülkelerin karayolu ağı uzunlukları ile ağır taşıt kaza puanı oluşturulmaya çalışılmıştır. İlk olarak; 2010-2016 yılları arasında, ülkelerde ağır taşıtların karıştığı kaza sayıları elde edilmiştir. İlgili ülke için mevcut ise 2016 yılı verisi esas alınarak, mevcut değil ise bilginin mevcut olduğu yıllara ait kaza sayıları ortalaması alınarak, her ülkenin 100 km. başına düşen kaza puanı oluşturulmuştur. Sonrasında; rotaların geçtiği ülkeler belirlenmiş ve her bir rotanın, ilgili ülkenin karayolunu kullanım oranı tespit edilmiştir. Hesaplanan oran ile rotanın ilgili ülkeden geçen kısmı için bir risk puanı elde edilmiştir. Rotanın geçtiği her bir ülkenin ağır taşıt kaza risk puanları toplanarak rota ağır taşıt kaza risk puanı elde edilmiştir.

Araştırmada karayolu kaza riskinin incelenmesinin sebebi; karayolunda kaza oranının diğer taşıma türlerine göre oldukça yüksek olması ve demiryolu, denizyolu taşıma türlerinin karayolu taşıma türüne göre daha güvenli olmasıdır.

Tablo 3.13 Yük ve yolcu taşımacılığında taşıma türü bazında ölümlü kaza sayıları (EU Transport in Figures, 2017)

Taşıma Türü	2014 Kaza Sonucu Ölüm	2015 Kaza Sonucu Ölüm
Karayolu	25.974	26.134
Demiryolu	15	27
Toplam	25.989	26.161

EMSA (2018)' e göre denizyolunda yaşanan kazaların %52'si kayma ve denize düşme olaylarıdır. Diğer taraftan; denizyolu taşımacılığında 2017 yılında Avrupa Birliği ülkeleri karasularında 61 adet deniz kazası yaşanmıştır. Farklı taşıma türlerinde yolcuların ölüm riski ile ilgili bir başka araştırmada; her bir taşıma türünde yolcu ölüm

verileri belirlenerek, karayolunun en riskli ulaştırma türü olduğu ortaya konmuştur (EUROPA, 2017).

Tablo 3.14 AB ülkeleri taşıma türüne göre bir milyar yolcu km. başına ölüm sayıları-2011-2015 (EUROPA, 2017'den uyarlanmıştır)

Taşıma Türü	Bir milyar yolcu km. başına ölüm
Havayolu	0,06
Demiryolu	0,10
Karayolu (Otobüs) (2010-2014 arası veri)	0,19
Karayolu (Binek Araba)	5,34
İki Tekerlekli Araçlar	37,80

Tablo 3.13 ve 3.14'de verilen istatistiksel veriler göstermektedir ki; yük ve yolcu taşımacılığında en riskli taşıma türü karayoludur. Diğer taşıma türleri ile karayolu taşıma türü arasında trafik kaza sayısı açısından büyük fark olduğundan hareket ile çalışmada güvenlik göstergesi açısından sadece karayolundaki trafik kaza verisi ele alınmıştır.

Rotaların karayolu kaza risklerinin ortaya konulabilmesi için gerekli olan, Avrupa Birliği Ülkeleri'nde 2016 yılında yaşanan ağır taşıtların karıştığı kazalar sonucu ölüm vakaları verisi, ülkelerin karayolu ağı uzunlukları ve bu iki değerin bölünerek 100 değerine ile çarpımından elde edilen, 100 km. başına düşen ağır taşıtların karıştığı ölümlü kaza oranları tablo 3.15'de verilmiştir.

Tablo 3.15 AB ülkeleri ağır taşıt ölümlü kaza istatistikleri (ERSO, 2018; Statistical Office of Republic of Serbia, 2015 ve EUROSTAT, 2017'den uyarlanmıştır.)

Ülke	Ağır Taşıt Kaza Sayısı (2016)	Ülke Karayolu Uzunluğu	Ağır Taşıt Ölümlü Kaza Oranı (Kaza sayısı/100 km)
Polonya	783	420.236	0,19
Belçika	109	154.012	0,07
Almanya	620	229.970	0,27
Fransa	493	1.090.129	0,05
İtalya	403	249.629	0,16
Romanya	96	85.333	0,11
Çekya	136	129.454	0,11
Macaristan	93	204.661	0,05
Bulgaristan	104	19.162	0,54
Hollanda	76	129.561	0,06
Avusturya	74	139.015	0,05
İsveç	46	212.787	0,02
Letonya	40	83.415	0,05
Hırvatistan	39	25.444	0,15
Litvanya	29	58.416	0,05
Danimarka	47	73.303	0,06
Slovenya	31	38.164	0,08
Lüksemburg	4	2.908	0,14
Estonya	5	58.936	0,01
Avrupa Birliği	3.255	3.474.623	0,09
İsviçre	27	70.093	0,04
Türkiye	455	240.048	0,19
Sırbistan	20	40.845	0,05

Karayolunun en az güvenli taşıma türü olması ve güvenli rotaların seçimini kolaylaştırma amacı ile karayolu kullanımının azaltılması gerekliliğinden de hareket ile rotada karayolu kullanımının oranı ile bir karayolu kullanımı ceza puanı ölçeği oluşturulmuştur. Bu ölçek tablo 3.16' da gösterilmiştir.

Tablo 3.16 Karayolu ceza puanı ölçeği

Karayolu Kullanım Yüzdesi	Karayolu Ceza Puanı
0%≤Karayolu Kullanım Yüzdesi≤6%	1
7%≤Karayolu Kullanım Yüzdesi≤30%	2
Karayolu Kullanım Yüzdesi > 30%	3

Buna göre; eğer rotada karayolu kullanım oranı %5'i aşmıyor ise rota ağır taşıt kaza puanına 1 ceza puanı, %6 ve %30 arasında ise 2 ceza puanı, %30'dan fazla ise 3 ceza puanı eklenmiştir.

3.10 Rota Emniyet Analizi

Araştırmanın bu aşamasında; emniyet göstergesi açısından, taşımacılık sektöründe son yıllarda sıkça yaşanan, araçlar içerisinde saklanılarak yasal olmayan yolcu geçişi vakaları değerlendirilmiştir. Bu amaçla; Avrupa Birliği'nde yasal olmayan geçiş vakaları ile ilgili istatistiksel veriden hareketle her bir rotanın emniyet riski ortaya çıkarılmıştır.

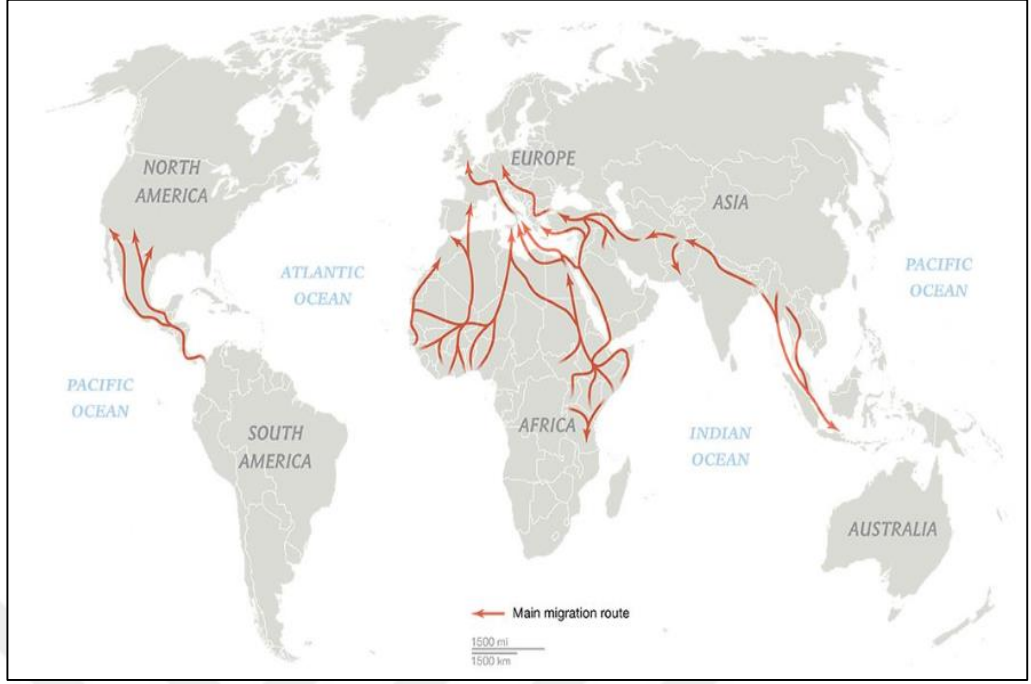
Az gelişmiş ülkelerdeki kötü yaşam koşulları ve savaşlar bu ülkelerde yaşayan insanları daha iyi şartlarda yaşamak amacı ile refah seviyesinin yüksek olduğu ülkelere göç etmeye zorlamıştır. EUROSTAT (2015) verilerine göre 2015 yılında AB Ülkelerine resmi sığınma başvurusu yapan kişi sayısı 1,26 milyon'dur. EUROSTAT (2019) verilerine bakıldığında 2019 yılının ilk 6 ayında başvuru sayısının 285.695 olduğu görülmektedir. Başvuruların göç anlaşmaları ile sınırlandırılması göç akımlarını yavaşlatmış, fakat yasal olmayan geçişleri önleyememiştir. Yasal olmayan geçişlerin kullanıldığı taşıma türlerini de içeren 2016, 2017 ve 2018 yılı ilk altı aylık verileri tablo 3.18'de gösterilmiştir. Taşıma türleri bazında yasal olmayan geçiş vakalarının gösterildiği tablo 3.17'de hesaplanan yüzde değerlerine bakıldığında yasal olmayan geçişlerin büyük çoğunluğu denizyolu ile yapılmasına rağmen, araçta saklanarak yapılan yasal olmayan girişler karayolunda daha yoğundur. Araçta geçiş vakalarına özellikle yük taşımacılığında son yıllarda oldukça fazla rastlanmaktadır.

EUROSTAT (2019) verilerine göre AB Ülkeleri'ne 285.695 sığınma başvurusunun 72.920 adedi (yaklaşık %26'sı) Almanya'ya yapılmıştır. İkinci olarak en yüksek başvuru 14.550 (%5) adet ile Birleşik Krallık'a yapılmıştır. Bu veriler göstermektedir ki sığınmacıların hedeflediği ilk iki ülke Almanya ve Birleşik Krallık'tır. Diğer taraftan 2015 yılı içerisinde AB Ülkeleri'ne yapılan sığınmacı başvurularının üçte ikisi Almanya, Macaristan, İsveç, Avusturya ve Birleşik Krallık ülkelerine yapılmıştır (Lietuvnike ve diğer., 2018). Her ne kadar bu veriler yasal sığınmacı başvurularını içerse de, bu ülkelerin de yüksek başvuru oranına sahip olması, yasal olmayan sığınmacı vakalarını da arttıracaktır. Bu sebeple; bu hedef noktalara ulaşan tüm rotalar yasal olmayan giriş veya araç içerisinde saklanarak yasal olmayan giriş vakaları konusunda riskli rotalardır.

Tablo 3.17 Yasal olmayan geçişler taşıma türleri (FRONTEX, 2018' den uyarlanmıştır.)

Vaka	Sınır Kapısı	Vaka Sayısı (2016)	Vaka Sayısı (2017)	Vaka Sayısı (2018 Ocak-Haziran)
Toplam Yasal Olmayan Geçiş Sayısı	Denizyolu yolu ile yasal olmayan geçiş vaka Sayısı	364.705	175.246	44.355
	Karayolu yolu ile yasal olmayan geçiş vaka sayısı	140.936	21.249	14.501
	Toplam yasal olmayan geçiş vaka sayısı	505.641	196.495	58.856
	Denizyolu yolu ile yasal olmayan geçiş vaka oranı	%72	%89	%75
	Karayolu yolu ile yasal olmayan geçiş vaka oranı	%28	%11	%25
Araçta Saklanarak Yasal Olmayan Geçiş Vaka Sayısı	Araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerde denizyolu vaka sayısı	132	414	160
	Araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerde karayolu vaka sayısı	1.896	1.207	831
	Toplam	2.028	1.621	991
	Araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerde denizyolu oranı	%6,51	%25,54	%16,15
	Araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerde karayolu oranı	%93,49	%74,46	%83,85
	Araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerin tüm yasal olmayan geçişlerdeki payı	%0,40	%0,82	%1,68

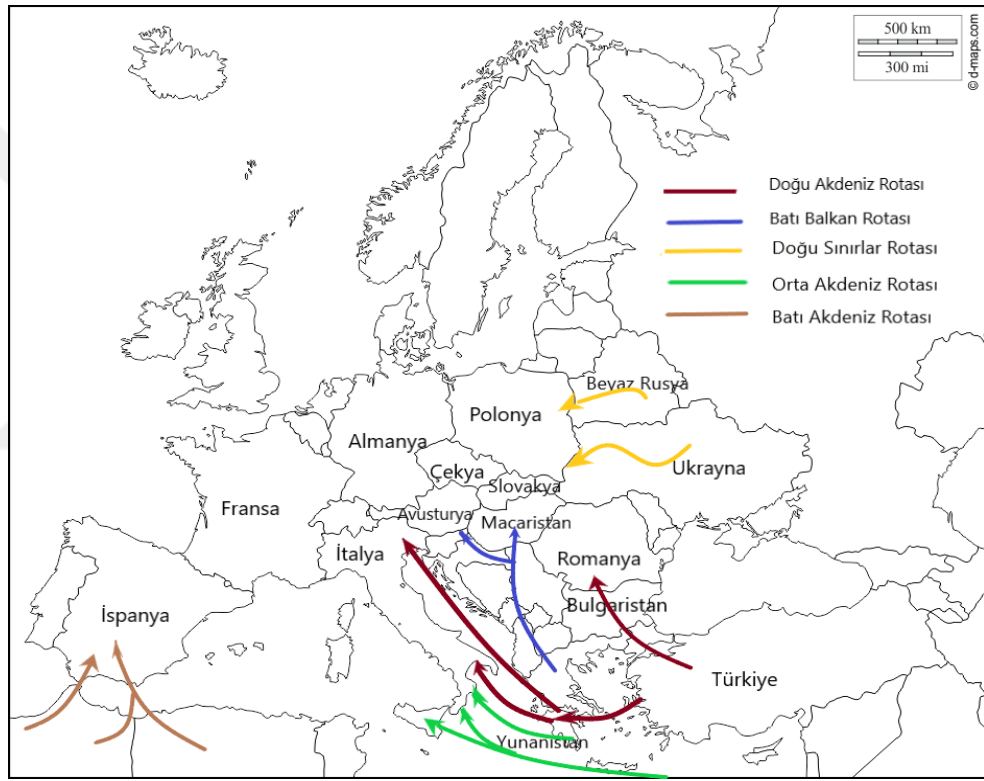
Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen Kayıp Göçmen Projesi'nde (Missing Migrants Project) dünyada ana göç rotaları şekil 3.5'deki gibi belirtilmiştir. Ana göç rotalarına bakıldığında Uzak Doğu'dan başlayan ve Avrupa'ya uzanan göç rotasının dünyanın en büyük ticaret rotaları üzerinde olduğu açıktır.



Şekil 3.5 Dünya ana göç rotaları (National Geographic, 2015)

Aynı projede Avrupa ve Akdeniz Havzası için de göç rotaları ortaya çıkarılmıştır. Şekil 3.6’ da Avrupa ve Akdeniz Havzası için ana rotalar, şekil 3.7’ de yine aynı bölge için deniz göç rotaları görülmektedir. Almanya ve Birleşik Krallık’ın sığınmacıların hedef noktası ülkeler olduğu bu haritalarda da görülmektedir.

Şekil 3.6 ve şekil 3.7'deki Avrupa ve Akdeniz Havzası'ndaki rotalar 5 adet göç rotası olarak şekil 3.8'de özetlenmiştir. Buna göre bu bölgede bulunan rotalar; Batı Balkan Rotası, Doğu Akdeniz Rotası, Orta Akdeniz Rotası, Doğu Sınır Rotası ve Batı Akdeniz Rotası'dır. Avrupa ve Akdeniz'de yer alan tüm bu rotalara ait yasal olmayan giriş sayıları bu rotaların yakınından geçen çoklu taşıma rotalarında yasal olmayan giriş vakası ile karşılaşma riskini ortaya koyacaktır. Buna göre göç rotalarının yasal olmayan giriş sayıları ve yasal olmayan girişlerin taşıma türü her bir rota için tablo 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Akdeniz-Avrupa özet göç rotaları (IOM, 2015'den uyarlanmıştır.)

Tablo 3.18 Göç rotalarına ait yasal olmayan geçişler ve taşıma türleri (FRONTEX, 2018' den uyarlanmıştır.)

Göç Rotası	Vaka sayısı			Tüm geçişlerdeki oranı		
	2016	2017	(2018 Ocak-Haziran)	2016	2017	(2018 Ocak-Haziran)
<i>Batı Balkan Rotası</i>	<i>130.325</i>	<i>12.179</i>	<i>2.296</i>	<i>%26</i>	<i>%6</i>	<i>%4</i>
Karayolu ile giriş	130.325	12.179	2.296	%92	%57	%16
<i>Doğu Akdeniz Rotası</i>	<i>182.277</i>	<i>42.319</i>	<i>25.524</i>	<i>%36</i>	<i>%22</i>	<i>%43</i>
Denizyolu ile giriş	174.605	34.732	14.084	%48	%20	%32
Karayolu ile giriş	7.672	7.587	11.440	%5	%36	%79
<i>Orta Akdeniz Rotası</i>	<i>181.459</i>	<i>118.962</i>	<i>16.313</i>	<i>%36</i>	<i>%61</i>	<i>%28</i>
Denizyolu ile giriş	181.459	118.962	16.313	%50	%68	%37
<i>Doğu Sınır Rotası</i>	<i>1.349</i>	<i>872</i>	<i>411</i>	<i>%0</i>	<i>%0</i>	<i>%1</i>
Karayolu ile giriş	1.349	872	411	%1	%4	%3
<i>Batı Akdeniz Rotası</i>	<i>10.231</i>	<i>22.163</i>	<i>14.312</i>	<i>%2</i>	<i>%11</i>	<i>%24</i>
Denizyolu ile giriş	8.641	21.552	13.958	2%	%12	%31
Karayolu ile giriş	1.590	611	354	%1	%3	%2
<i>Toplam Vaka Sayısı</i>	<i>505.641</i>	<i>196.495</i>	<i>58.856</i>	<i>%100</i>	<i>%100</i>	<i>%100</i>
Denizyolu ile giriş	364.705	175.246	44.355	%100	%100	%100
Karayolu ile giriş	140.936	21.249	14.501	%100	%100	%100

2016 yılı yasal olmayan giriş vakalarının Suriye'deki iç savaşın etkileri sebebi ve 2018 yılı verilerinin 6 aylık olması sebebi ile araştırmada 2017 yılı yasal olmayan giriş vakaları üzerinden çoklu taşıma rotaları yasal olmayan göç vakası ile karşılaşma riski açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılır iken, göç rotalarının yasal olmayan geçiş risk puanını oluşturmak amacı ile istatistiksel olarak normal dağılıma uygun bir risk puanı ölçeği oluşturulmuştur. Belirtilen ölçek Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nden 3 uzman akademisyen tarafından değerlendirilmiş ve araştırmada kullanılması uygun bulunmuştur. Göç rotalarının yasal olmayan geçiş riskini ortaya koyan Avrupa-Akdeniz göç rotaları risk ölçeği tablo 3.19'da görülebilir.

Tablo 3.19 Avrupa-Akdeniz Göç Rotaları risk puanı ölçeği

Yasal olmayan geçiş vakası sayısı	Risk Puanı
0-10.000	1
10.001-50.000	2
50.001-100.000	3
100.001-150.000	4
150.000 ve fazlası	5

3.11 Optimizasyon

Bu aşamada; önceki aşamalarda elde edilen gösterge önem ağırlıkları, rota maliyetleri, transit süreleri, güvenilirlik kaybı riski, yük hasarı riski ve bürokratik riskler ile ilgili puanlar, emisyon miktarları, güvenlik, emniyet risk puanları bir doğrusal programlama çeşidi olan 0-1 Hedef Programlama optimizasyon yöntemi ile değerlendirilmiş ve en iyi rotalar sadece ekonomik, ekonomik ve çevresel, ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Optimizasyon uygulamasında, gösterge ağırlıklandırma aşamasında kullanılan sekiz adet göstergenin önem düzeyine göre ilgili göstergelerin hedef değerlerinden (hedef maliyet: bütçe, hedef transit süre, katlanılabilir risk seviyeleri v.b) toplam sapma miktarı hesaplanarak, sapma değeri en az olan rota en uygun rota olarak seçilmiştir. Daha sonraki aşamada seçilen en uygun rota, aday rota havuzundan çıkarılarak, kalan rotalar arasından en iyi ikinci rota seçilmiş ve bu işleme aday rota havuzunda bir tek rota kalana kadar devam edilmiştir. Bu sayede ilgili orijin destinasyonda seçilen gösterge grupları ve bunların önem düzeyleri göz önüne alınarak en iyi rota sıralaması ortaya çıkarılmıştır.

3.11.1 0-1 Hedef Programlama

Doğrusal Programlama birbiri ile etkileşim içerisinde olan birden fazla değişkeni çözmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir (Charnes ve Cooper, 1955). Doğrusal programlama modelleri üç temel bileşen içerir (Taha, 2017). Bu bileşenler; değeri belirlenmeye çalışılan karar değişkenleri, maksimize veya minimize edilmeye

çalışılan amaç fonksiyonu ve her biri sağlanmaya çalışılan kısıtlardır. Doğrusal programlamada amaç fonksiyonu ve kısıtları belirten tüm fonksiyonlar doğrusaldır. Bu fonksiyonları oluşturmak için kullanılan değişkenler ise sürekli değişkenlerdir.

Hedef Programlama ise, birden çok ve birbiri ile çatışan amaçları direkt olarak optimize etmeyen, arzulanan hedef değerler ile gerçekleşen değerler arasındaki farkı minimize etmeye çalışan bir doğrusal programlama çeşididir. Hedef değerlerden sapma miktarlarını belirten değişkenlere sapma değişkenleri denir.

Hedef Programlama ilk olarak Charnes ve Cooper (1955), tarafından doğrusal programlamanın bir çeşidi olarak geliştirilmiştir. Daha sonra 1961 yılında Charnes ve Cooper hedef programlamayı belirli kısıtlar altında, hedeflere olabildiğince ulaşabilecek amaç fonksiyonunun optimizasyonunu sağlayan bir yöntem olarak tanımlamışlardır (Marthirajan ve Ramanathan, 2006).

Hedef programlamada çoklu amaçlar bir önem sıralamasına göre önceliklendirilir. Çalışmada bu öncelikleri belirleyebilmek için çok kriterli karar verme yöntemi olarak BWM (Best-Worst Method) kullanılmıştır. Hedef programlama çizelgeleme, kaynak dağıtımı, atama problemleri gibi karar verme problemlerine uygulandığında 0-1 karar değişkenleriyle formüle edilebilmektedir (Ertuğrul ve Öztaş, 2016). Bir hedef programlama modelinde, eğer bütün tamsayılı değişkenler sadece iki değer (0 ve 1) alacak şekilde kısıtlandıysa ortaya çıkan modele 0-1 hedef programlama modeli denir (Karaman, 2014). Önerilen KDS modelinin de rota seçimi içermesi, bahsedilen sebepler ile birlikte 0-1 hedef programlama kullanımını gerektirmektedir.

Kwak, Schniederjans ve Warkentin (1991), hedef programlama problemlerini matematiksel olarak formül 3.19 – 3.21’de gösterildiği gibi modellemiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i w_i (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.19)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=i}^m a_{ij} x_{ij} + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (3.20)$$

$$x_{ij}, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (3.21)$$

Yukarıdaki hedef programlama matematiksel modelinde P_i hedeflerin önem düzeyi sıralamasını belirtir. P_1 en yüksek düzeydeki hedefi belirtir iken P_2 ikinci öncelikli hedefi belirtir. w_i hedeflerin önem düzeyine bağlı olarak ağırlıklarını temsil eden negatif olmayan katsayılarıdır. d_i^+ ve d_i^- her j ' inci b_i hedef değerinden pozitif ve negatif sapmaları belirten sapma değişkenleridir. x_{ij} karar değişkeni iken a_{ij} bu karar değişkenine ait karar değişkeni sabitidir. Kısıtlarda yer alan b_i hedef değerine ulaşması gereken kısıtın b_i hedef değerini aşmaması veya aşmasının gerekli olduğu durumlarda ilk kısıt denklemini değiştirecektir. Buna göre;

Formül 3.20 kısıt denkleminde b_i hedef değerinin aşılması gerekiyor ise bu denklem;

$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} - d_i^+ \leq b_i \quad (i=1,2,\dots,m)$, şeklinde, b_i hedef değerinin aşılması gerekiyor ise; $\sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} + d_i^- \geq b_i \quad (i=1, 2,\dots,m)$, şeklinde olacaktır.

Yukarıda verilen hedef programlama matematiksel modelinde x_{ij} karar değişkenlerinin 0 ya da 1 gibi değerler alması istenirse, x_{ij} kesikli karar değişkeni halini alacak ve modele tam sayı kısıtı eklenecektir. Bu durumda model 0-1 hedef programlama modeli oluşacaktır. 0-1 Tam Sayılı Programlama Modeli aşağıda gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i w_i (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.22)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (3.23)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3.24)$$

$$x_{ij} = 0, \text{ veya } 1, \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (3.25)$$

3.11.2 KDS'ye ait 0-1 Hedef Programlama Modeli

Optimizasyon aşamasında uygulanan 0-1 hedef programlama modelinde gösterge ağırlıkları önemli birer girdidir. Gösterge ağırlıklarının modelden çıkarılabilme esnekliği sürdürülebilirlik açısından optimal rotaların seçilebilmesinin yanında, sürdürülebilirlik kavramının bazı ana göstergelerini çıkararak veya ekleyerek optimal rotaların bulunmasını sağlamaktadır. Bu esneklikten faydalanılarak araştırmada ilk olarak sürdürülebilirliğin 3 ana boyutu olan, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterlerin ağırlıkları girdi olarak alınmış ve sürdürülebilirlik açısından optimal rota elde edilmiştir. İkinci aşamada sadece ekonomik ve çevresel göstergeler dahilinde optimal rotalar bulunmaya çalışılmış, son aşamada ise sadece ekonomik olarak optimal rota tespit edilmeye çalışılmıştır.

Optimizasyon aşaması için sürdürülebilirlik boyut ve kriterlerinin altında yer alan göstergelerin eklenip çıkarılması esnekliğinden faydalanılması, KDS'de göstergelerin göreceli önem derecesinden önce kullanıcının değerlendirmeyi yapmak istediği bakış açısına göre gösterge gruplarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak; optimizasyon modellemesi sonunda kullanıcı kendi belirlediği göstergeler dahilinde bu göstergelerin önem ağırlığını kendi bakış açısıyla değerlendirerek ilgili çıkış ve varış noktası arasında optimal rotayı elde edebilecektir.

3.11.2.1 Ekonomik Olarak En Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli

Bu aşamada ekonomik olarak optimal rotanın belirlenebilmesi için maliyet, transit süre, güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski ve bürokratik riskler olarak belirlenmiş 6 adet ekonomik göstergenin Best-Worst Method (BWM) ile elde edilen önem ağırlıkları ve bu ekonomik göstergelere ait kısıtlar kullanılarak 0-1 Hedef Programlama modeli kurulur. Ekonomik olarak optimal rota tespiti amacı ile kurulan 0-1 Hedef Programlama modeli aşağıda gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i w_i (d_i^+) = w_1(P_1 d_1^+) + w_2(P_2 d_2^+) + w_3(P_3 d_3^+) + \dots + w_m(P_m d_m^+) \quad (3.26)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet

$$c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \leq C \quad (3.27)$$

Transit süre

$$t_1 X_1 + t_2 X_2 + \dots + t_n X_n \leq T \quad (3.28)$$

Güvenilirlik kaybı riski

$$r_{g1} X_1 + r_{g2} X_2 + \dots + r_{gn} X_n \leq R_g \quad (3.29)$$

Yük hasar riski

$$r_{h1} X_1 + r_{h2} X_2 + \dots + r_{hn} X_n \leq R_h \quad (3.30)$$

Bürokratik riskler

$$r_{b1} X_1 + r_{b2} X_2 + \dots + r_{bn} X_n \leq R_b \quad (3.31)$$

Sadece bir optimum çözüm varlığı

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 \quad (3.32)$$

Pozitiflik koşulları

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1, 2, \dots, m) \quad (3.33)$$

$$c_n, t_n, r_{gn}, r_{hn}, r_{bn} \geq 0 : (j=1, 2, \dots, n) \quad (3.34)$$

Tam sayı koşulu

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3.35)$$

3.11.2.2 Ekonomik ve Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli

Araştırmanın bu kısmında ekonomik göstergelere emisyon miktarı çevresel göstergesi eklenerek optimal rotalar tespit edilmeye çalışılır. Bu durumda modelde ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski bürokratik riskler olarak ekonomik göstergeler ve emisyon miktarı çevresel gösterge olarak birlikte, Best-Worst Method (BWM) ile yeniden ağırlıklandırılmış ve 0-1 Hedef Programlama modeline girdi sağlanmıştır. Ekonomik ve çevresel sürdürülebilir olarak optimal rotanın seçilmeye çalışıldığı 0-1 hedef programlama modeli aşağıda gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i w_i (d_i^+) = w_1(P_1 d_1^+) + w_2(P_2 d_2^+) + w_3(P_3 d_3^+) + \dots + w_m(P_m d_m^+) \quad (3.36)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet

$$c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \leq C \quad (3.37)$$

Transit süre

$$t_1 X_1 + t_2 X_2 + \dots + t_n X_n \leq T \quad (3.38)$$

Güvenilirlik kaybı riski

$$r_{g1}X_1+r_{g2}X_2+\dots+r_{gn}X_n \leq R_g \quad (3.39)$$

Yük hasar riski

$$r_{h1}X_1+r_{h2}X_2+\dots+r_{hn}X_n \leq R_h \quad (3.40)$$

Bürokratik riskler

$$r_{b1}X_1+r_{b2}X_2+\dots+r_{bn}X_n \leq R_b \quad (3.41)$$

Emisyon miktarı

$$e_1X_1+e_2X_2+\dots+e_nX_n \leq E \quad (3.42)$$

Sadece bir optimum çözüm varlığı

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 \quad (3.43)$$

Pozitiflik koşulları

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1,2,\dots,m) \quad (3.44)$$

$$c_n, t_n, r_{gn}, r_{hn}, r_{bn}, e_n \geq 0 : (j=1,2,\dots,n) \quad (3.45)$$

Tam sayı koşulu

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (3.46)$$

3.11.2.3 Ekonomik-Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için Hedef Programlama Modeli

Araştırmanın bu kısmında daha önce Best-Worst Method (BWM) yöntemi ile tespit edilen sürdürülebilirlik göstergeleri ağırlıkları, elde edilen rota maliyetleri ve transit süreleri, risk, güvenlik ve emniyet puanlarının girdi olarak kullanıldığı, sürdürülebilir olarak optimal rotanın seçilmeye çalışıldığı 0-1 hedef programlama modeli aşağıda gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m P_i w_i(d_i^+) = w_1(P_1 d_1^+) + w_2(P_2 d_2^+) + w_3(P_3 d_3^+) + \dots + w_m(P_m d_m^+) \quad (3.47)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet

$$c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \leq C \quad (3.48)$$

Transit süre

$$t_1 X_1 + t_2 X_2 + \dots + t_n X_n \leq T \quad (3.49)$$

Güvenilirlik kaybı riski

$$r_{g1} X_1 + r_{g2} X_2 + \dots + r_{gn} X_n \leq R_g \quad (3.50)$$

Yük hasar riski

$$r_{h1} X_1 + r_{h2} X_2 + \dots + r_{hn} X_n \leq R_h \quad (3.51)$$

Bürokratik riskler

$$r_{b1} X_1 + r_{b2} X_2 + \dots + r_{bn} X_n \leq R_b \quad (3.52)$$

Emisyon miktarı

$$e_1 X_1 + e_2 X_2 + \dots + e_n X_n \leq E \quad (3.53)$$

Güvenlik risk puanı

$$g_1 X_1 + g_2 X_2 + \dots + g_n X_n \leq G \quad (3.54)$$

Emniyet risk puanı

$$s_1 X_1 + s_2 X_2 + \dots + s_n X_n \leq S \quad (3.55)$$

Sadece bir optimum çözüm varlığı

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 \quad (3.56)$$

Pozitiflik koşulları

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1,2,\dots,m) \quad (3.57)$$

$$c_n, t_n, r_{gn}, r_{hn}, r_{bn}, e_n, g_n, s_n \geq 0: (j=1,2,\dots,n) \quad (3.58)$$

Tam sayı koşulu

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (3.59)$$

Modelde X_j 0-1 karar değişkenlerini temsil eder. Bu değişkenler çıkış ve varış noktası arasındaki rotalardır. $X_j = 1$ olması rotanın seçileceği, $X_j = 0$ olması rotanın seçilemeyeceği anlamındadır. Ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ekonomik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet başlığı altındaki her bir değişkenin sağlanması gereken kısıtlar mevcuttur. Göstergelere ait kısıt denklemlerinde eşitsizliklerin sağ tarafı hedef değerlerdir ve bu hedef değerler KDS'de kullanıcı tarafından belirlenir. Örneğin; 3.48 kısıt denkleminde, karar değişkenlerinden bir tanesi $X_j = 1$ değeri aldığı anda ortaya çıkan değer C hedef maliyet değerini aşmamalıdır. Amaç fonksiyonu kullanıcı tarafından belirlenen bu hedeflerden sapma miktarını göstergelerin BWM (Best-Worst Method) ile tespit edilen önem düzeyini de göz önüne alarak minimize etmeye çalışır. 3.47 nolu eşitlikte d_i^+ sapma değişkenleri her bir hedef değer üzerinde gerçekleşen sapma vektörüdür. w_i her bir hedefin BWM (Best-Worst Method) ile belirlenen önem ağırlığıdır. w_i için $0 \leq w_i \leq 1$ koşulu sağlanmalıdır. Matematiksel model içerisindeki her bir hedefin farklı bir birimi olduğu için her bir hedef değer ve eşitsizliklerdeki katsayılar bir normalizasyon işlemi ile yüzdesel birime dönüştürülmelidir. Çalışmada Kengpol, Meethom ve Touminen (2012a) tarafından rota seçimi ile ilgili bir hedef programlama çalışmasında kullanılan normalizasyon yöntemi tercih edilmiştir.

Optimizasyon işlemi sırasında ortaya çıkan toplam sapma yani; amaç fonksiyonundaki Z değerini minimize eden $X_j = 1$ olan j rotası optimal rota olarak

seçilir . Ortaya konan modelin çözümü ile optimal rota elde edildikten sonra optimal olan bu rota alternatif havuzundan çıkarılıp, geri kalan rotalar ile tekrar optimizasyon işlemi uygulanır ise ikinci optimal rota tespit edilebilir. Bu işleme rota havuzunda son bir adet rota kalana kadar devam edilir ise ilgili çıkış ve varış noktası arasında optimal rotalar sıralaması elde edilmiş olur.

3.11.3 Hedef Değerlerin Belirlenmesi

Min (1990)' a göre bir ulaştırma türü seçiminde firmanın hedef ve öncelikleri maliyet ve transit süredeki değişimlerden daha önemlidir. 0-1 Hedef Programlama yönteminin de gerekliliklerinden olan hedef belirleme, ulaştırma faaliyeti yöneticilerince firma politikaları göz önüne alınarak oluşturulmalıdır. Hedef programlama için firmanın maliyet hedefi bu aşamada ulaştırma bütçesidir. Transit süre hedefi de ulaştırma bütçesi-maliyet gibi zaman zaman aşılması mümkün değişkenler olsa da güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski, bürokratik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet gibi değişkenler için elde edilen hedef değerler kabul edilebilir maksimum değerler olmalıdır.

3.12 Sonuç

Üçüncü bölümde; çoklu taşıma koridorları için sürdürülebilirlik kapsamında optimal rotaların seçimini sağlayan bir KDS önerilmiştir. Önerilen KDS gösterge önem düzeyi ağırlıklandırma, rota oluşturma, maliyet-transit süre analizi, ekonomik risk analizi, emisyon analizi, güvenlik analizi, emniyet analizi ve optimizasyon aşamaları içermektedir. Önerilen modelin ilk aşamasında sürdürülebilir çoklu taşıma için gerekli göstergelerin belirlenmesinin ardından, bu göstergeler ikili karşılaştırmalar ile ağırlıklandırılmaktadır. Rota tespitinin ardından maliyet-transit süre analizi aşamasında, tespit edilen rotaların taşıma maliyetleri ve kapıdan kapıya taşıma süreleri analiz edilir. Ekonomik risk analizi aşamasında ekonomik açıdan risk oluşturan tehlikeler analiz edilir ve rotaların ekonomik riskleri ve bu risklerin düzeyleri tespit edilir. Emisyon analizi aşamasında, ilgili rotaların her taşıma ayağında ortaya çıkan emisyon miktarları CO₂ eşlenik olarak belirlenmektedir. Güvenlik analizi aşamasında

rotaların karayolu ayakları trafik kaza riski açısından değerlendirilmektedir. Emniyet analizi aşamasında ise yasal olmayan yolcu girişleri ve dünya göç rotaları göz önüne alınarak, rotaların bu durumla karşılaşma riskleri belirlenmektedir. Tüm bu aşamalarda, rotaların performansları belirlenir ve kriter ağırlıklandırma aşaması ile beraber 0-1 Hedef programlama optimizasyon modeline girdi sağlanır. Optimizasyon aşamasında ise alternatif rotalar arasında, belirlenen göstergeler ve bu göstergelerin önem düzeyleri göz önüne alınarak, ekonomik olarak, ekonomik ve çevresel olarak ve ekonomik-çevresel-sosyal yani; sürdürülebilir olarak optimal rotalar belirlenir.

Önerilen model çoklu taşıma sürecini en az girdi ile etkili bir şekilde tamamlanması hedefine ne derece ulaştırıyor ise performansı o kadar yüksektir. Modelin en temel amacı belirli bir çıkış ve varış noktası arasında, önemi ulaştırma sistemi kullanıcısı veya yöneticisinin algısına göre değişen göstergeleri göz önüne alarak, sürdürülebilirlik performansı en yüksek rotayı tespit etmektir. KDS modelinin oluşturulması öncesi ve tasarım sürecini gösteren aşamalar, bu aşamalarda kullanılan yöntemler ve aşamaların amaçları tablo 3.20’de özetlenmiştir.

Tablo 3.20 KDS modeli tasarım süreci aşamaları

Aşama	Yöntem	Amaç
1. Önceki çalışmaların ortaya konması	Literatür taraması	Çoklu Taşıma ve sürdürülebilir ulaştırma çalışmalarını amaç-yöntem ve kullanılan değişkenler açısından inceleyerek, literatürdeki teorileri ortaya koymak ve sürdürülebilir ulaştırma göstergelerini elde etmek.
2. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi	Uzman görüşmesi	Birinci Aşamada literatür araştırması ile ortaya konan sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinden çoklu taşıma için uygun olan göstergeleri belirlemek.
3. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin önem düzeyi tespiti	BWM (Best-Worst Method) Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi	Önceki aşamada elde edilen sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin karar verici (yük taşıtan) açısından önemini tespit ederek ağırlıklandırmak.
4.Rota Analizi	Maliyet-Transit Süre Analizi, Karbon ayak izi ile emisyon tespiti ve istatistiksel analizler	Rota tespiti sonrası maliyet analizi, emisyon analizi, güvenlik ve emniyet analizi yapılarak ve sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerini kullanarak rota performanslarını tespit etmek.
6. Optimizasyon	0-1 Hedef Programlama	Gösterge ağırlıkları, rota performansları ve göstergeler ile ilgili ulaştırma sistemi kısıtları göz önüne alınarak uygun rota tespiti yapılması.

BÖLÜM DÖRT

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU TAŞIMACILIK ROTASI SEÇİMİ İÇİN KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİNİN TÜRKİYE-AVRUPA TAŞIMA KORİDORUNDA UYGULANMASI

4.1 Giriş

Araştırmanın bu bölümünde önerilen KDS gerçek bir probleme uygulanmıştır. Bunun için Türkiye-Avrupa çoklu taşıma koridorlarını kullanan, ambalaj sektöründe uluslararası lider konumunda olan, Çiğli-İzmir merkezli bir firmanın çoklu taşıma rotaları ele alınmıştır. Literatür araştırması sonuçlarına göre; çoklu taşıma uygulama bölgeleri genelde Uzak Doğu'dan Avrupa'ya yük taşımacılığı koridorlarını kapsamaktadır. Anadolu Ajansı (2019) verilerine göre Ekim 2019 sonu itibari ile Türkiye'den Avrupa Ülkeleri'ne yapılan ihracatın toplam ihracattaki payı % 48,2'dir. Polonya ise Türkiye'den ihracat yapılan ülkeler arasında ilk 20 ülke arasında olup, 3,2 milyar dolar ile 12. Sırada bulunmaktadır (Türkiye İhracatçılar Meclisi,2020). İzmir orijinli, Avrupa Ülkeleri'ne yapılan ihracat rakamlarına bakıldığında; yaklaşık 159 milyon dolar ile 8. sıradadır (Türkiye İhracatçılar Meclisi, 2020). İhracat payının yüksek olması sebebi ile ve veri ulaşılabilirliği açısından çalışmada Türkiye-Avrupa Koridoru'nun Polonya Rotaları uygulama için örnek seçilmiştir. Çalışmanın sadece bir firmanın rotaları ile sınırlandırılması bir araştırma kısıtı olmasının yanında ileride daha global bir model oluşturulabilmesi için test fırsatıdır. Uygulamanın Türkiye'den Avrupa'ya ihracat yapan firmanın mevcutta kullandığı bir mevcut unimodal rota ve alternatif olarak üretilen altı adet çoklu taşıma rotası ekonomik olarak, çevresel olarak ve tüm bu kriterler bir arada sürdürülebilir olarak değerlendirilmiş, firmanın ulaştırma sistemi ile ilgili öneriler getirilmiştir. Değerlendirme için maliyet-transit süre analiz modeli, ekonomik risk analizi modeli, emisyon analiz modeli, güvenlik ve emniyet analiz modelleri, BWM (Best-Worst Method) çok kriterli karar verme modeli ve bir optimizasyon modeli olarak 0-1 hedef programlama optimizasyon modeli entegre edilmiş ve firmanın ulaştırma sistemi için bir karar desteği sunulmuştur.

Araştırmada KDS önerisi geliştirilmeden önce tüm analizlerde yararlanılacak sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri ulaştırma ve lojistik alanındaki uzmanlarla yapılan görüşme ve bu görüşme sonrası yapılan analizler ile belirlenmiştir. Nitel gözlem kapsamındaki bu analizde KDS'deki nicel analizlerde kullanılmak üzere sekiz adet sürdürülebilir çoklu ulaştırma göstergesi belirlenmiştir. Bu göstergelerden maliyet, transit süre, güvenilirlik, yük hasar riski, bürokratik riskler ekonomik gösterge olarak, emisyon miktarı, çevresel gösterge olarak, güvenlik ve emniyet sosyal gösterge olarak ele alınmıştır.

KDS'nin test edildiği firmanın genel müşteri portföyü, paketleme işlemi ile üretim sürecini tamamlamak için firmadan çıkan sevklerin zamanında yapılmasını bekleyen gıda işletmeleridir. Modelin mikro anlamda uygulama bölgesi olarak firmanın Çiğli-İzmir-Türkiye'deki üretim merkezi ile yoğun sipariş akışı gerçekleştirilen Lodz-Polonya'daki müşterisi arasındaki ulaştırma koridoru seçilmiştir. Firma Lodz'da bulunan müşterisine siparişlerini sadece karayolu alternatifini kullanarak, tam kapasite yükleme (FTL: Full Truck Load) olarak yapmaktadır. Mevcut durumda Çiğli-Lodz arası taşımalarda sadece karayolunun kullanılması sebebi ile denizyolunun ölçek ekonomisi avantajından yararlanılamamaktadır. Karayolu alternatifinin emisyon seviyesi açısından üst seviyelerde olması da Çiğli-Lodz arası taşımalarda çevresel etkiyi arttırmaktadır. Ayrıca firmanın yaşadığı, müşteriye teslim aşamasında araçların içerisinden ülkelere yasal olmayan giriş yapmaya çalışan şahısların çıkması, sosyal açıdan incelenmesi gereken bir başka durumdur.

Bu işleyiş içerisinde gerçekleştirilen sevkıyatlara ilgili olarak önerilen KDS, firma ulaştırma sistemine uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. KDS uygulaması; kriter ağırlıklandırma, rota oluşturulması, maliyet-transit süre analizi, ekonomik risk analizi, emisyon analizi, güvenlik analizi, emniyet analizi ve optimizasyon aşamaları içermektedir. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi aşamasında SPSS 22.0 analiz programından yararlanılmıştır.

Kriter ağırlıklandırma aşaması sonuçları Excel-Solver uzantısında, optimizasyon aşaması ise IBM CPLEX 12.8.0 programında çözümlenmiştir. Tüm aşamalar

sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ve öneriler yönetsel bir bakış açısıyla da uygulama sonunda tartışılmıştır.

Araştırmanın bu bölümünde; 4.2 başlığında veri toplama sürecinden bahsedilmiş, 4.3 başlığında mevcut sistem analiz edilmiş, 4.4’ de araştırmanın kapsamı ve varsayımları ortaya konmuş, 4.5 başlığında KDS uygulamasının analiz ve bulguları sunulmuş, son bölüm 4.6’da ise sonuçlar ve getirilen öneriler tartışılmıştır.

4.2 Veri Toplama Süreci

Önerilen KDS’nin bahsedilen firmada uygulanabilmesi için Şubat 2019 – Ağustos 2019 dönemleri arasında firma ulaştırma yöneticileri, ihracat operasyon sorumluları ve firma taşıma işleri organizatörü temsilcileri ile veri toplama amacı ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sürecinde yapılan görüşme tarihleri ve katılımcıları tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Veri toplama sürecinde yapılan görüşmeler

Tarih	Görüşme İçeriği	Katılımcılar
26.02.2019	Firma ve taşıma işleri organizatörü hakkında saha ziyareti ile veri toplanması	Firma lojistik direktörü, ihracat yöneticileri ve sorumluları, taşıma işleri organizatörü yöneticisi ve operasyon sorumluları
02.04.2019	Firma yük ulaştırma sistemi mevcut durum analizi ile ilgili veri toplanması	Firma ihracat yöneticileri ve sorumluları, taşıma işleri organizatörü yöneticisi ve operasyon sorumluları
23.05.2019	Rotaların, rota maliyet ve transit sürelerinin belirlenmesi.	Firma ihracat yöneticileri ve sorumluları, Taşıma işleri organizatörü yöneticisi ve operasyon sorumluları
10.06.2019	Kriter ağırlıklandırma	3 firma operasyon sorumlusu, 1 operasyon yöneticisi, 1 Satınalma Loj. Yöneticisi
20.06.2019	Ekonomik Risk Analizi: Alt risklerin (tehlikelerin) belirlenmesi, risk puanlaması	3 firma operasyon sorumlusu, 1 operasyon yöneticisi, 1 Satınalma Loj. Yöneticisi, 2 Risk Değ. Uzmanı
04.07.2019	Optimizasyon için hedef ve kabul edilebilir limit değerlerin belirlenmesi	Firma Lojistik Direktörü
22.08.2019	Analizler ile ilgili ön bulguların paylaşarak geri bildirimlerin alınması	Firma lojistik direktörü, ihracat yöneticileri ve sorumluları, taşıma işleri organizatörü yöneticisi ve operasyon sorumluları

Veri toplama sürecinde yapılan görüşmelerde katılımcılar, araştırmanın aşamaları ile ilgili, karar verici konumundaki kişilerden seçilmiştir. Mevcut ulaştırma sisteminin

işleyişi hakkında bilgi almak için yapılan mevcut sistem analizi aşamasında ve rota maliyet-transit sürelerinin belirlenmesi aşamalarında firmanın taşıma işleri organizatörlüğünü üstlenen lojistik firmasından da destek alınmıştır. Ekonomik risk analizi aşamasında analizin güvenilirliğini arttırmak amacı ile firmanın risk değerlendirme biriminden 2 risk uzmanı desteği alınmıştır. Veri toplamının son aşamasında toplanan veri grupları ile yapılan analizlerin ön bulguları tartışılmış ve geri dönüşler alınarak veri güvenilirliği arttırılmaya çalışılmıştır.

4.3 Mevcut Sistem Analizi

Önerilen KDS'nin ilgili firmada test edilmeden önce firmanın mevcut yük ulaştırma sistemi incelenmiştir. KDS uygulamasının yürütüldüğü firma tedarik zincirini make-to-order (sipariş üzerine üretim) sipariş sistemi temelinde yönetmektedir. Lodz'da bulunan müşteriden sipariş iletdikten sonra, sipariş üretim planına dahil edilmekte ve 3 haftalık süre içerisinde ürünün müşteriye ulaştırılması hedeflenmektedir. Firmada şu ana kadar tüm yüklemeler tam kapasite yükleme (FTL: Full Truck Load) olarak yapılmış ve konteyner taşımacılığı alternatifleri değerlendirilmemiştir. İlgili destinasyon için aylık 20 tır sevkiyat yapılmaktadır. Tüm sevkler Çiğli'de yükleme aşaması sonrası, gümrük işlemleri için Bayraklı-İzmir UND Gümrük'üne yönlendirilmekte ve gümrük işlemlerinin ardından karayolu ile 7-8 gün içerisinde Lodz'a ulaştırılmaktadır. Mevcut durumda ortaya çıkan semptom ve şikayetler aşağıdaki gibi listelenebilir:

1. Kapıdan kapıya ulaştırmada sadece karayolunun kullanılması transit sürelerinin arzu edildiği gibi düşük olmasını sağlamakta fakat bu faydaya karşılık aylık 20 konteyner yük akışının olduğu hedef nokta için toplam taşıma maliyetlerini ciddi oranda arttırmaktadır.
2. Mevcut ulaştırma sisteminde şoför kaynaklı, gümrüklerde bekleme kaynaklı veya rota kaynaklı sebeplerle taahhüt edilen süreden geç veya erken teslimatlarla karşılaşmaktadır. Bu durum güvenilirliği azaltma riski doğurmaktadır. Hatta;

ürünün erken teslim edilmesi bile sözleşme gereği firmanın müşteri tarafından yaptırımlarla karşılaşmasına sebep olmaktadır.

3. Karayolu taşımacılığında trafik kazası riskinin yüksek olması ve bunun sonucu yük hasar görme gibi ekonomik veya yaralanma, ölüm gibi sosyal risklerin ortaya çıkması firmanın mali ve yasal sorumluluklarını arttırmaktadır.
4. Özellikle karayolu taşımacılığında diğer taşıma türlerinden farklı olarak daha sıkı gümrük politikaları sebebi ile bürokratik risklerin daha fazla olduğu durumların ortaya çıkması ve gümrük kapılarında bekleme sorunları ile karşılaşılması sevki geciktirerek, müşteri ilişkilerinde problemlere yol açabilecektir. Ayrıca gümrük kapılarında yükün bekletilme riski yük sahibi üretici için bir prestij kaybı riski doğurmaktadır.
5. Firmanın çevresel etkinin aza indirilmesi ile ilgili bir sürdürülebilirlik politikası olmasına rağmen, karayolu taşıma süreçlerinin nakliyeciler firmalar aracılığı ile gerçekleştirilmesi emisyon değerlerinin tam olarak tespit edilememesi, izlenememesi ve raporlanamamasına yol açmaktadır.
6. Firmanın yapmış olduğu sevklerde taşıma kaplarının içerisinde Batı ve Kuzey Avrupa Ülkeleri'ne yasal olmayan bir şekilde giriş yapmaya çalışan mültecilerin çıkması, ürünün kontaminasyon sebebiyle hasar görmesi gibi bir ekonomik riskin yanında, emniyet gibi sosyal bir risk de doğurmaktadır. Bu durumun sürekli hale gelmesi firma prestiji açısından zarara yol açabileceği için sevklerde göz önüne alınması gereken bir konudur.

4.4 Kapsam ve Varsayımlar

Araştırma Çiğli-Lodz arası taşıma koridorlarında, İzmir-Çiğli'de ambalaj malzemesi üretimi ve ihracatı yapan firma üzerinden uygulanmış olup, görüş gerektiren konularda sadece bu firma ve firmanın lojistik hizmet sağlayıcısının görüşleri ile sınırlandırılmıştır. Araştırmanın varsayımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Araştırmada Çiğli-Lodz arasındaki 2 TEU; yani 1 adet 40' konteyner ile yapılan sevkler üzerinden hareket edilmiştir.
2. Karar verici olarak bilgilerine başvuru yapan yöneticiler ve operasyon sorumluları, operasyonlar hakkında bilgi sahibi olup, görüşmelerde şirketin tercihini yansıtmışlardır. Yönetici ve operasyon sorumluları geçerli ve güvenilir bilgiler paylaşmışlardır.
3. Çalışma bir ön araştırma ile belirlenmiş sekiz adet gösterge ile sınırlıdır. Yukarıda bahsedilen kısıtlar genel kısıtlar olup, analizlere özel kısıt ve varsayımlardan her bir analiz içerisinde bahsedilecektir.

4.5 Analizler ve Bulgular

Çalışma ardışık olarak, her biri bir sonraki aşamaya girdi olacak şekilde analizler içermektedir. İlk olarak gerçekleştirilen *Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi* aşaması bir ön analiz şeklinde değerlendirilebilir. Burada elde edilen sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri, araştırmanın sonraki her aşamasında kullanılmıştır.

Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi sonrası sırası ile BWM (Best-Worst Method) ile kriter ağırlıklandırma, rota oluşturma, rota maliyet-transit süre analizi, rota ekonomik risk analizi, rota emisyon analizi, güvenlik ve emniyet analizi sonrası, optimizasyon aşaması ile araştırmanın sonuçlarına ulaşılabilecektir.

4.5.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde; yüz yüze görüşme sonucu elde edilen bulgular ve buna bağlı sonuçlar verilmiştir. Uzman görüşü alma süreci Aralık 2018'de başlatılmış olup, uzmanlara üç şekilde ulaşılmaya çalışılmıştır: İlk olarak; uzman görüş formu, uzmanlardan randevu alınarak ve uzmanlar ziyaret edilerek yüz yüze görüşme tekniği ile doldurulmuştur. İkinci olarak; uzmanlara araştırmanın detaylarının belirtildiği bir

kapak yazısı dahilinde uzman görüş formu elektronik posta olarak gönderilmiş ve formun doldurulup e-mail olarak geri gönderilmesi talep edilmiştir. Bir hafta içerisinde örneklem içerisinde yer alan uzmanlara bir hatırlatma elektronik-posta da gönderilmiştir. Üçüncü olarak; uzman görüş formu google form platformuna aktarılarak, uzmanlara formun linki elektronik posta ile iletilmiş ve formun bahsedilen platformda doldurulması talep edilmiştir. Araştırma kapsamında toplam 45 uzmanın görüşünün alınması hedeflenmiş, 30 uzman talebe olumlu yanıt vermiş ve konu hakkındaki görüşlerini paylaşmışlardır. Araştırmanın güvenilirliğini ve geçerliliğini ortaya koymak amacı ile Şubat 2019’da ulaşılan 30 kişilik örneklem grubundan rassal olarak seçilen 10 uzman ile aynı görüşme formu ile tekrar görüşme yapmak amacıyla iletişime geçilmiş, ger dönüş alınan 6 kişilik bir uzman örneklem grubu ile ikinci aşama görüşmeler yapılmıştır.

Bu kapsamda görüşme formlarından elde edilen veri ile ilgili tanımlayıcı istatistikler ortaya konarak sürdürülebilir çoklu taşıma için gerekli göstergeler belirlenmiştir. Araştırmanın iki aşamalı saha çalışması sonunda elde edilen toplam 36 adet uzman görüş formu SPSS 22.0 programına girilerek analizi yapılmıştır.

Görüş alma amacı ile ulaşılmaması hedeflenen ve ulaşılan uzman kategorileri; ulaştırma-lojistik alanında uzman akademisyenler, çoklu ulaştırma işletmeleri üst düzey yöneticileri, çoklu ulaştırma hizmeti kullanan firmaların üst düzey yöneticileri, ulaştırma alanında stratejik kararlar üzerine çalışan kamu yöneticileri ve ulaştırma, lojistik alanında hizmet veren danışmanlık firmaları yöneticileridir. Görüşülen uzmanların ulaştırma ve/veya sürdürülebilirlik alanlarındaki ortalama deneyim süreleri 17,2 yıldır. Uzman örnekleminin detayları tablo 4.2’ de belirtilmiştir.

Tablo 4.2 Uzman örnekleme

Uzman Grubu	Hedef Örneklem	Ulaşılan Örneklem	Ortalama Deneyim Süresi
Uzman Akademisyen	16	12	16,8
Çoklu Ulaştırma İşletmeleri Yöneticileri	11	7	13,6
Çoklu Ulaştırma Hizmet Kullanıcı Firma Yöneticileri	12	6	18,7
Ulaştırma Kamu Otoriteleri	3	2	17,5
Ulaştırma – Lojistik Danışmanlık Firma Yöneticileri	3	3	24,3
Toplam	45	30	17,2

Uygulamada oluşturulan sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri kümesi literatür taraması sonucu elde edilen göstergelerden seçilmiştir. Bu seçim yapılırken, en sık referans olarak gösterilen göstergeler, yük taşımacılığında sürdürülebilirlik düzeyini tespit edebilmek için uyumlu olabilecek göstergeler, gösterge kümesine dahil edilmiştir. Özetle; literatürden elde edilen göstergeler yorumlanarak, ekonomik boyutta 19 adet, çevresel boyutta 7 adet, sosyal boyutta 4 adet olmak üzere toplam 30 adet sürdürülebilir ulaştırma göstergesi kümeye dahil edilmiştir. Tespit edilen göstergeler ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Ekonomik Göstergeler

- **EKO1: Gelir veya GSMH’ya yapılan katkı (%):** Ulaştırma faaliyeti sonucu elde edilen yıllık gelir veya gelirin GSMH’ya oranıdır.
- **EKO2: Ulaştırma olanağı çeşitliliği:** Ulaştırma hizmetinin yarattığı taşıma hizmeti imkanı sayısıdır.
- **EKO3: Ulaştırma bütçesi-Maliyet:** Talep edilen ulaştırma hizmeti için katlanılmasına planlanan veya katlanılan toplam maliyettir.
- **EKO4: Yerel işletmelere destek (%):** Ulaştırma hizmetinin bölgedeki işletmelerin faaliyetlerine katkısıdır.
- **EKO5: Transit süre:** Ulaştırma faaliyetinin başlangıcından bitişine kadar terminallerde, aktarma merkezlerinde bekleme süreleri de dahil olmak üzere geçen toplam süredir.

- **EKO6: Sefer sıklığı:** Ulaştırma hizmetinin günlük/haftalık/aylık tekrar sayısıdır.
- **EKO7: Mesafe:** Çıkış noktası ve hedef varış noktası arası katedilen mesafedir.
- **EKO8: İstihdama katkı (%):** Bölgedeki ulaştırma hizmetinin yarattığı istihdamın toplam istihdamdaki payıdır.
- **EKO9: Trafik sıkışıklığı:** Ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirildiği bölgede taşıma türü hizmet talebinin kapasiteyi aşması durumunun varlığıdır.
- **EKO10: İzlenebilirlik imkanları:** Ulaştırma hizmeti ile ilgili yolcuya/yüke ait hareket bilgilerinin elde edilmesine yönelik imkanların varlığıdır.
- **EKO11: Yük hasar riski:** Yükün güvenlik/emniyet eksikliği sonucu zarar görme olasılığı ve bu durumun etkisinin bileşkesidir.
- **EKO12: Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği:** Tam talep edilen zamanda hedef noktaya ulaştırılma durumudur.
- **EKO13: Ağda/rotada karayolu kullanımı:** Karayolu kullanım hacminin ton.km cinsinden ifadesidir.
- **EKO14: Ağda/rotada demiryolu kullanımı:** Demiryolu kullanım hacminin ton.km cinsinden ifadesidir.
- **EKO15: Ağda/rotada denizyolu kullanımı:** Denizyolu kullanım hacminin ton.km cinsinden ifadesidir.
- **EKO16: Ağda/rotada havayolu kullanımı:** Havayolu kullanım hacminin ton.km cinsinden ifadesidir.
- **EKO17: Ağda/rotada iç-suyolu kullanımı:** İç-suyolu kullanım hacminin ton.km cinsinden ifadesidir.
- **EKO18: Alt-yapı ve ekipman riski:** Ekipman, malzeme ve mevsimsel kaynaklı beklenmeyen durumlarla karşılaşma olasılığı ve bu durumun etkisinin bileşkesidir.
- **EKO19: Bürokratik riskler:** Geçiş ülkesinde politik problem, ülkeler arası prosedür farklılıkları durumlarının var olma olasılığı ve bu durumun etkisinin bileşkesidir.

Cevresel Göstergeler

- **ÇEV1: Sera gazları emisyon miktarı:** Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, iklim değişikliğine sebep olan CO₂, CFC'ler, CH₄ v.b. salım miktarıdır.
- **ÇEV2: Diğer hava kirleticilerin salım miktarı:** Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, lokal hava kalitesini düşüren CO, VOC, NO_x gazları ve PM salım miktarıdır.
- **ÇEV3: Enerji tüketimi:** Ulaştırma faaliyeti için tüketilen enerji miktarıdır.
- **ÇEV4: Arazi kullanımı:** Ulaştırma alt-yapısının oluşturulması için kullanılan verimli arazi miktarıdır.
- **ÇEV5: Gürültü:** Ulaştırma ekipmanlarının ortaya çıkardığı istenmeyen, rahatsız edici ses seviyesidir.
- **ÇEV6: Su kirliliği:** Ulaştırma sürecindeki ekipmanların hareketi ve bakım işlemleri sonucunda doğaya salınan yakıt-yağ ve diğer kirletici sıvıların kullanımınıdır.
- **ÇEV7: Yenilenebilir yakıt kullanımı:** Doğal süreçteki akıştan elde edilen enerjiye dayalı yakıt tüketimidir (biyodizel, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi v.b.).

Sosyal Göstergeler

- **SOS1: Sosyal refaha katkı:** Ulaştırma faaliyetinin, yapılan yatırımlar ile gelişen bölgelerin sosyal refah gelişimindeki katkısıdır.
- **SOS2: Güvenlik:** Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personel veya çevredeki şahısların muhtemel kaza sonucu ölüm ya da yaralanma durumlarının var olmamasını ifade eder.
- **SOS3: Emniyet:** Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin kriminal olay sonucu ölüm ya da yaralanma durumlarının var olmamasını ifade eder.
- **SOS4: Solunum sistemi rahatsızlıkları-kanser vakaları:** Ulaştırma kaynaklı solunum sistemi rahatsızlığı ve kanser vakalarının görülme sıklığıdır.

Uzmanlara sunulan 30 adet sürdürülebilir ulaştırma göstergesi ve bu göstergelerin çoklu yük taşımacılığı için gerekliliği, önem düzeyi ve bu göstergeler ile ilgili veriye ulaşılabilirliğin kolaylığı ile ilgili cevapların tanımlayıcı istatistikleri tablo 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.3 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerleri

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
EKO1					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,93	0,25
Önem Düzeyi	28	3,00	5,00	3,96	0,74
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	1,86	0,65
EKO2					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	3,00	5,00	4,60	0,62
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	2,03	0,72
EKO3					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	2,00	5,00	4,27	0,78
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	1,80	0,71
EKO4					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	2,00	5,00	3,67	0,68
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	2,00	1,37	0,49
EKO5					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	3,00	5,00	4,50	0,57
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	2,10	0,66
EKO6					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,83	0,38
Önem Düzeyi	27	3,00	5,00	4,04	0,89
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	2,48	0,65
EKO7					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,83	0,38
Önem Düzeyi	25	1,00	5,00	4,12	1,01
Veri Ulaşım Kolaylığı	25	1,00	3,00	2,60	0,65
EKO8					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,83	0,38
Önem Düzeyi	25	2,00	5,00	3,50	1,03
Veri Ulaşım Kolaylığı	25	1,00	3,00	1,72	0,68
EKO9					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	2,00	5,00	4,10	0,84
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	1,73	0,69

Tablo 4.3 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
EKO10					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,93	0,25
Önem Düzeyi	29	2,00	5,00	3,96	1,00
Veri Ulaşım Kolaylığı	29	1,00	3,00	2,11	0,74
EKO11					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,93	0,25
Önem Düzeyi	28	2,00	5,00	4,29	0,98
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	1,71	0,81
EKO12					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	2,00	5,00	4,33	0,88
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	1,87	0,73
EKO13					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,83	0,38
Önem Düzeyi	28	2,00	5,00	4,04	0,93
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	2,16	0,75
EKO14					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,87	0,35
Önem Düzeyi	28	2,00	5,00	4,19	0,85
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	2,31	0,74
EKO15					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,87	0,35
Önem Düzeyi	28	2,00	5,00	4,08	0,84
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	2,42	0,64
EKO16					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,77	0,43
Önem Düzeyi	25	2,00	5,00	4,13	0,87
Veri Ulaşım Kolaylığı	25	1,00	3,00	2,43	0,66
EKO17					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,67	0,48
Önem Düzeyi	22	0,00	5,00	3,60	1,14
Veri Ulaşım Kolaylığı	22	0,00	3,00	1,95	0,83
EKO18					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,80	0,41
Önem Düzeyi	24	1,00	5,00	3,71	1,04
Veri Ulaşım Kolaylığı	24	1,00	3,00	1,50	0,72
EKO19					
Gereklilik	30	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	30	1,00	5,00	4,13	1,07
Veri Ulaşım Kolaylığı	30	1,00	3,00	1,63	0,72

Tablo 4.3 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
ÇEV1					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,93	0,25
Önem Düzeyi	28	2,00	5,00	4,32	0,77
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	1,89	0,79
ÇEV2					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	2,00	5,00	4,15	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	1,85	0,82
ÇEV3					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,93	0,25
Önem Düzeyi	28	3,00	5,00	4,36	0,68
Veri Ulaşım Kolaylığı	28	1,00	3,00	2,11	0,69
ÇEV4					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,70	0,47
Önem Düzeyi	21	2,00	5,00	3,76	0,83
Veri Ulaşım Kolaylığı	21	1,00	3,00	1,90	0,62
ÇEV5					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,73	0,45
Önem Düzeyi	22	1,00	5,00	3,41	1,18
Veri Ulaşım Kolaylığı	22	1,00	3,00	1,68	0,72
ÇEV6					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,83	0,38
Önem Düzeyi	27	1,00	5,00	3,76	1,05
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	1,40	0,58
ÇEV7					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	2,00	5,00	4,22	0,85
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	1,56	0,70

Tablo 4.3 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
SOS1					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	1,00	5,00	3,78	0,93
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	2,00	1,30	0,47
SOS2					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	2,00	5,00	4,30	0,95
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	1,81	0,68
SOS3					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,90	0,31
Önem Düzeyi	27	2,00	5,00	4,15	0,95
Veri Ulaşım Kolaylığı	27	1,00	3,00	1,70	0,72
SOS4					
Gereklilik	30	0,00	1,00	0,67	0,48
Önem Düzeyi	21	1,00	5,00	3,86	1,11
Veri Ulaşım Kolaylığı	21	1,00	3,00	1,48	0,75

Ekonomik göstergeler grubunun tanımlayıcı istatistiklerine bakıldığında; *EKO2 ulaştırma olanağı çeşitliliği*, *EKO3 ulaştırma bütçesi-maliyet*, *EKO5 transit süre*, *EKO9 trafik sıkışıklığı*, *EKO12 ulaştırma hizmetinin güvenilirliği*, *EKO19 bürokratik riskler* göstergelerinin gerekliliği tüm uzman katılımcılar tarafından onaylanmıştır. Gereklilik düzeyi %90' nın üzerinde olup, önem düzeyi ortalaması 5,00 üzerinden, 4,00 değerinin üzerinde olan göstergeler; *EKO2 ulaştırma olanağı çeşitliliği*, *EKO3 ulaştırma bütçesi-maliyet*, *EKO5 transit süre*, *EKO9 trafik sıkışıklığı*, *EKO11 yük hasar riski*, *EKO12 ulaştırma hizmetinin güvenilirliği* ve *EKO19 bürokratik risklerdir*. Trafik sıkışıklığının etkilerini farklı bölgelerde tespit etmenin zorluğundan olduğu tahmin edilmektedir ki; katılımcıların bu göstergeye ait veri ulaşılabilirliği konusunda verdiği cevap ortalaması 2,00'ın altındadır. Veriye ulaşımın kısıtlı olduğu düşünüldüğünden *EKO9 trafik sıkışıklığı* göstergesi, sürdürülebilir çoklu ulaştırma ekonomik kriter grubuna dahil edilmemiştir. *EKO2 Ulaştırma olanağı çeşitliliği* göstergesi ile ilgili değişken ortalamaları yüksek çıkmasına rağmen, uzmanlar tarafından çoklu taşımanın temel felsefesi tüm taşıma türlerinin etkinliğinden yararlanarak ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirilmesi olduğu, fakat rota şartlarına göre, özellikle kısa mesafe taşımalarında bazen sadece karayolu alternatifinin daha verimli olabileceği belirtilmiştir. *EKO10 İzlenebilirlik imkanları* göstergesinin gereklilik ve önem düzeyi yüksektir, fakat uzman görüşlerine göre; bu tür izlenebilirlik

hizmetlerinin genellikle sadece denizyolu ve sadece karayolu taşımalarında var olduğu, birden çok taşıma alternatifi içeren çoklu taşıma hizmetlerine henüz tam olarak entegre edilemediği bu yüzden bir rotada izlenebilirlik varlığı ile ilgili ölçüm yapmanın pek imkanı olmadığı belirtilmiştir.

Bu durumda sürdürülebilir ulaştırma ekonomik göstergeleri içerisinde, sürdürülebilir çoklu taşıma için, *EKO3 ulaştırma bütçesi-maliyet*, *EKO5 transit süre*, *EKO11 yük hasar riski*, *EKO12 ulaştırma hizmetinin güvenilirliği* ve *EKO19 bürokratik riskler* göstergeleri araştırmanın sonraki aşamalarında kullanılmak üzere gösterge havuzuna dahil edilmiştir.

Çevresel boyut kapsamındaki göstergelere ait tanımlayıcı istatistiklere bakıldığında; *ÇEV1 Sera gazları emisyon miktarı*, *ÇEV2 diğer hava kirleticilerin salım miktarı*, *ÇEV3 enerji tüketimi* ve *ÇEV7 yenilenebilir yakıt kullanımı* göstergeleri %90'ın üzerinde gerekli görülmüştür. Bu göstergelerin ortalama önem düzeyleri 4,00 değerinin üzerindedir. *ÇEV1 Sera gazları emisyon miktarı*, *ÇEV2 diğer hava kirleticilerin salım miktarı*, *ÇEV3 enerji tüketimi* ile doğru orantılı bir şekilde artar ve azalır. Emisyon miktarları enerji tüketim miktarından hareketle bazı modeller ile hesaplanır. *ÇEV1 Sera gazları emisyon miktarı* CO₂e ton değeri üzerinden hesaplanır ise salımı yapılan kirleticilerin de salım miktarı elde edilmiş olur. Diğer taraftan, önceki bölümde de belirtildiği gibi Sera gazları emisyon miktarı hesaplanır iken bölgesel faktörler içerisinde *ÇEV7 yenilenebilir yakıt kullanım miktarı* emisyon faktörleri içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla belirtilen üç gösterge için tek bir çevresel gösterge olarak; *ÇEV1 emisyon miktarı* olarak addlandırılmış ve sürdürülebilir çoklu taşıma gösterge havuzuna dahil edilmiştir.

Son olarak sosyal sosyal boyut kapsamındaki göstergelere bakıldığında; gereklilik olarak %90'ın üzerinde ve önem düzeyi olarak 4,00 değerinin üzerinde olan güvenlik ve emniyet göstergeleri dikkat çekmektedir. Her ne kadar bu iki gösterge ile ilgili veriye ulaşılabilirlik değerleri 2,00 değerinin altında olsa da, sosyal göstergeler kapsamında ulaşılabilirlik düzeyi en yüksek iki gösterge *SOS2 güvenlik* ve *SOS3 emniyet* göstergeleridir. Sonuç olarak, sürdürülebilir çoklu taşıma sosyal boyutu için

güvenlik ve emniyet kriterleri analizlerde kullanılmak üzere gösterge havuzuna dahil edilmiştir.

Tüm bu değerlendirmelerden sonra, araştırmanın sonraki analizlerinde kullanılmak üzere sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinden, sürdürülebilirliği ekonomik boyutu kapsamında **ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski, bürokratik riskler**, çevresel boyutu kapsamında **emiyon miktarı** sosyal boyut kapsamında **güvenlik ve emniyet** göstergeleri çoklu taşıma sürecinin sürdürülebilirlik performansının ölçülebilmesi için belirlenmiştir.

4.5.1.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi Çalışması *Güvenilirliği*

Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi çalışmasında cevapların güvenilirliği Cronbach alfa (α) değerinin hesaplanması ile belirlenmiştir. Cronbach (1951) tarafından geliştirilen bu değer teorik olarak 0 ile 1 arasında değişirken, 1 olması cevapların güvenilir olduğu, 0 olması güvenilir olmadığı anlamına gelir ve bu değer 0,80'den büyük olması da güvenilirlik için yeterlidir.

Çalışmada, iki elemanlı gereklilik ölçeği için $\alpha = 0,84$ elde edilmiştir. Beş elemanlı önem düzeyi likert ölçeği için $\alpha = 0,92$ ve 3 elemanlı veri ulaşılabilirliği ölçeği için $\alpha = 0,87$ olarak hesaplanmıştır. Tüm bu değerler araştırmanın güvenilirliğini ortaya koyabilmek için gerekliliği sağlayan değerlerdir.

4.5.1.2 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergelerinin Belirlenmesi Çalışması *Geçerliliği*

Çalışmanın geçerliliği kapsamında, ilk olarak oluşturulan form kapsam geçerliliği açısından değerlendirilmiştir. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nden uzman 4 uzman akademisyen uzman görüş formunun amaca ne kadar hizmet ettiğini, anlaşılabilirliğini ve ölçeklerin yeterliliğini değerlendirmiş ve onaylamıştır.

İkinci olarak çalışmanın güvenilirliğini arttırmak amacı ile üçgenleme tekniği uygulanmıştır. Üçgenleme yöntemi nitel araştırmalarda sıkça kullanılan bir tekniktir. Üçgenleme yönteminde, veri toplamak için birden çok kaynak kullanma, veri analizini birden çok araştırmacı ile gerçekleştirme, birden çok metod kullanma veya veri yorumlaması için birden çok teorik kaynak kullanma gibi alt yöntemler vardır (Kaplan, Yildirim, Gulden ve Aktan, 2015).

Geçerliliği sağlayabilmek adına, çalışmada elde edilen sonuçlar ile ilgili üçgenleme yapılmış olup, daha önce görüşü alınan 30 uzman arasından 10 kişilik rastgele bir örneklem seçilip, ilk görüşmenin yapıldığı Kasım 2018 tarihinden 3 ay sonra aynı uzman görüş formu ile tekrar görüş alınmış ve sonuçlarda farklılık olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada, ilk aşamadaki örneklemin yüzdesel dağılımına paralel olarak, daha önce görüşme yapılan ekibin içerisinde on kişilik uzman ekibi ile yüz yüze ikinci görüşmeler yapılması hedeflenmiştir. Hedef örneklem içerisinde altı uzmandan randevu alınarak Şubat 2019'da görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ikinci aşamadaki örneklem tanımlayıcı istatistikleri tablo 4.4'de ve değişkenlere ait tanımlayıcı istatistik değerleri tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.4 İkinci aşama uzman örnekleme

Uzman Grubu	Hedef Örneklem	Gerçekleşen Örneklem
Uzman Akademisyen	4	3
Çoklu Ulaştırma İşletmeleri Yöneticileri	2	2
Çoklu Ulaştırma Hizmet Kullanıcı Firma Yöneticileri	2	1
Ulaştırma Kamu Otoriteleri	1	0
Ulaştırma – Lojistik Danışmanlık Firma Yöneticileri	1	0
Toplam Uzman Sayısı	10	6

İkinci aşamada, tablo 4.5' de yer alan ekonomik boyut dahilindeki gösterge grubunun tanımlayıcı istatistiklerine bakıldığında; *EKO2 ulaştırma olanağı çeşitliliği*, *EKO3 ulaştırma bütçesi-maliyet*, *EKO5 transit süre*, *EKO9 trafik sıkışıklığı*, *EKO11 yük hasar riski* *EKO12 ulaştırma hizmetinin güvenilirliği*, ve *EKO19 bürokratik riskler* göstergelerinin gerekliliği tüm uzman katılımcılar tarafından onaylanmıştır. Bu aşamada elde edilen ekonomik boyut kapsamındaki göstergeler ile ilgili sonuçlar ve

önceki aşamada elde edilen göstergeler arasındaki tek fark *EKO11 yük hasar riski* göstergesinin gerekliliğinin %93'ten %100'e çıkmasıdır. Ayrıca ilk aşamada gereklilik oranları düşük olan göstergelerin ikinci aşamada gereklilik oranlarının daha da düştüğü görülmektedir. Bu sonuçla; ilk aşamada elde edilen tüm ekonomik göstergeler yapılan ikinci görüşmelerde onaylanmıştır.

Tablo 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ikinci aşama ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
EKO1					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	2,00	5,00	3,40	1,14
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,80	0,45
EKO2					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	2,00	3,00	2,17	0,41
EKO3					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	2,00	3,00	1,83	0,41
EKO4					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	3,00	4,00	3,80	0,45
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,40	0,55
EKO5					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	2,00	3,00	2,50	0,55
EKO6					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	3,00	4,00	3,75	0,50
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	2,00	3,00	2,50	0,58
EKO7					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	3,00	4,00	3,60	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	3,00	3,00	3,00	0,00
EKO8					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	2,00	4,00	3,00	1,00
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,20	0,45
EKO9					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	3,00	5,00	4,17	0,75
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	1,67	0,82

Tablo 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ikinci aşama ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
EKO10					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	2,00	5,00	3,40	1,14
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	3,00	3,40	1,14
EKO11					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,83	0,41
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	1,83	0,98
EKO12					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,67	0,52
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	2,00	0,89
EKO13					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	2,00	4,00	3,00	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	2,00	3,00	2,50	0,58
EKO14					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	2,00	4,00	3,00	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	2,00	3,00	2,50	0,58
EKO15					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	2,00	4,00	3,00	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	2,00	3,00	2,50	0,58
EKO16					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	2,00	4,00	3,00	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	2,00	3,00	2,50	0,58
EKO17					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,50	0,55
Önem Düzeyi	3	2,00	3,00	2,33	0,58
Veri Ulaşım Kolaylığı	3	2,00	3,00	2,67	0,58
EKO18					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	2,00	5,00	4,00	1,41
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	1,00	1,00	1,00	0,00
EKO19					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	3,00	5,00	4,33	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	1,67	0,82

Tablo 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ikinci aşama ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
ÇEV1					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	2,00
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	2,00	0,89
ÇEV2					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	2,00
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	3,00	2,00	0,89
ÇEV3					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,33	0,52
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	2,00	3,00	2,67	0,52
ÇEV4					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	2,00	4,00	3,40	0,89
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,80	0,45
ÇEV5					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	1,00	5,00	3,20	1,48
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	3,00	1,80	0,84
ÇEV6					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	3,00	5,00	3,80	0,84
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,40	0,55
ÇEV7					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	3,00	5,00	4,33	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	2,00	1,33	0,52

Tablo 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri belirlenmesi ikinci aşama ile ilgili tanımlayıcı istatistik değerler (devam)

Gösterge	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
SOS1					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,83	0,41
Önem Düzeyi	5	2,00	5,00	3,60	1,14
Veri Ulaşım Kolaylığı	5	1,00	2,00	1,20	0,45
SOS2					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	2,00	1,50	0,55
SOS3					
Gereklilik	6	1,00	1,00	1,00	0,00
Önem Düzeyi	6	4,00	5,00	4,50	0,55
Veri Ulaşım Kolaylığı	6	1,00	2,00	1,50	0,55
SOS4					
Gereklilik	6	0,00	1,00	0,67	0,52
Önem Düzeyi	4	3,00	5,00	4,00	0,82
Veri Ulaşım Kolaylığı	4	1,00	2,00	1,25	0,50

Çevresel boyut kapsamındaki gösterge grubunun tanımlayıcı istatistiklerine bakıldığında; *EKO6 su kirliliği* göstergesinin gereklilik oranı sabit kalmış, diğer tüm göstergelerin gereklilik oranı artmıştır. Emisyon ile ilgili göstergeler (Sera gazları emisyon miktarı, diğer hava kirleticilerin salım miktarı, enerji tüketimi, yenilenebilir yakıt kullanımı) haricindeki tüm göstergelerin önem derecesi ortalaması 4,00 değerinin altındadır. Dolayısıyla; bu aşamada da Sera gazları emisyon miktarı göstergesini diğer emisyon salımı ile ilgili göstergeleri temsilen **emisyon miktarı** sürdürülebilir çoklu taşıma çevresel göstergesi olarak seçilmesi onaylanmıştır.

Sosyal boyut kapsamındaki göstergelerin gerekliliği incelendiğinde, daha önceki aşamada sürdürülebilir çoklu ulaştırma için seçilen sosyal göstergeler, *SOS2 güvenlik* ve *SOS3 emniyetin* gereklilik puanlarının %90'dan %100'e çıktığı görülmektedir. Bu da; ilk durumda elde edilen sosyal göstergelerin seçiminin doğruluğunu onaylamaktadır.

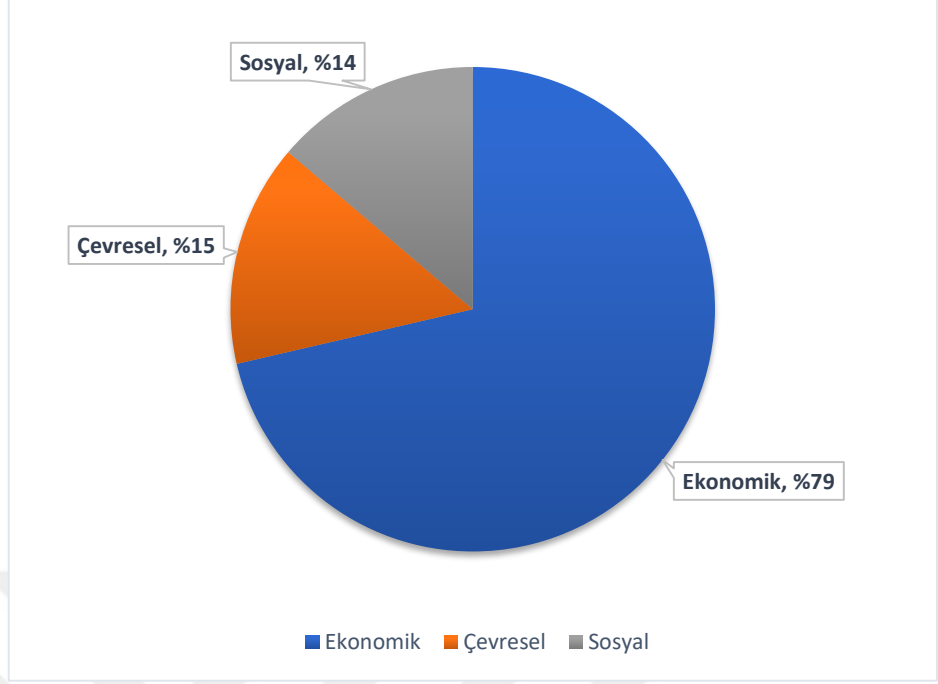
Araştırmadaki geçerlilik yöntemi de uzman görüşlerinden elde edilen gösterge gruplarının güvenilirlik ve geçerliliğini onaylamaktadır. Sonuç olarak; araştırmanın sonraki analizlerinde kullanılmak üzere sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinden,

ekonomik boyut kapsamında **ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski, bürokratik riskler**, çevresel boyut kapsamında **emisyon miktarı** sosyal boyut kapsamında **güvenlik** ve **emniyet** göstergeleri olmak üzere sekiz adet gösterge belirlenmiştir.

4.5.2 Best-Worst Method (BWM) ile Gösterge Ağırlıklandırması

Önceki aşamada belirlenen sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin önem düzeylerinin ağırlıklandırılması amacı ile araştırmanın yapıldığı firmada, Lodz sevkleri ile ilgili üç operasyon sorumlusu, bir operasyon yöneticisi ve firma lojistik satınalma faaliyetlerinden sorumlu bir yönetici olmak üzere beş uzman ile EK-2' de sunulan BWM (Best-Worst Method) formu aracılığı ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu form aracılığı ile ilgili kişilerden sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinden en çok önemli ve en az önemli bulduklarını belirtmeleri ve sonrasında en çok önemli ve en az önemli gördükleri göstergeleri, belirtilen formda ve tablo 3.1' de görülen, ikili karşılaştırma ölçeğini kullanarak karşılaştırmaları istenmiştir. Verilen cevaplar Excel Solver eklentisi ile analiz edilmiş ve aşağıda belirtilen bulgulara ulaşılmıştır.

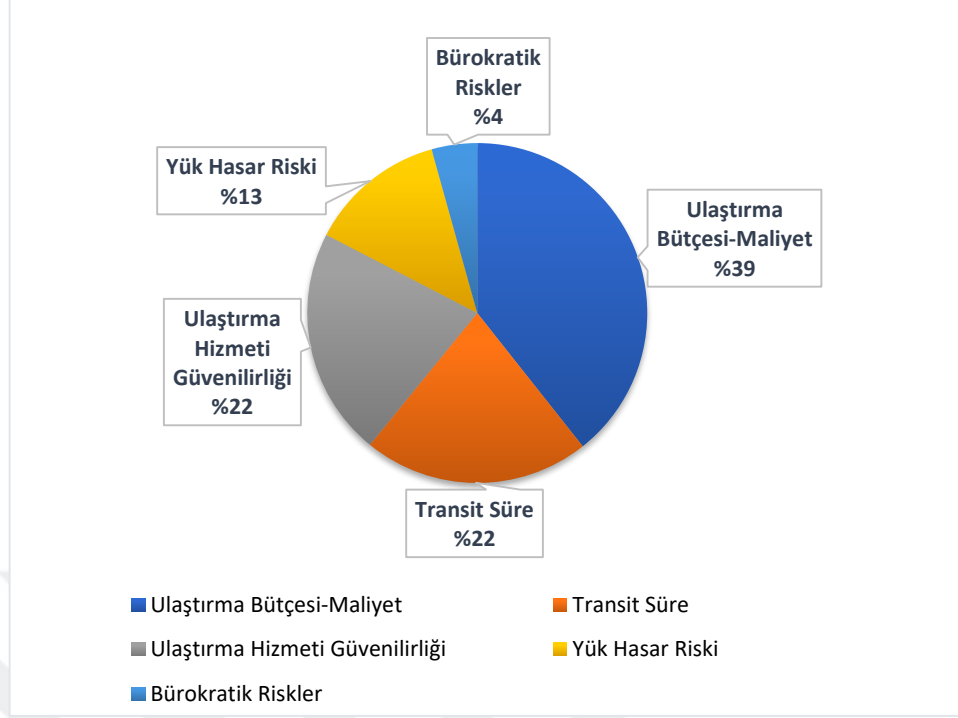
İlk olarak sürdürülebilirlik temel boyutları ağırlıklandırıldığında; üç temel sürdürülebilirlik boyutu içerisinde firma için en önemlisi %71 oranında bir önem derecesi ile **ekonomik** boyuttur. Bunu %15 önem derecesi ile **çevresel boyut** ve %14'lük önem derecesi ile **sosyal boyut** takip etmektedir. Üç temel boyutun ağırlıklandırılması ile ilgili tutarlılık oranı $0,062 < 0,10$ olduğu için elde edilen sonuçlar tutarlıdır. Temel boyutların önem düzeylerinin karşılaştırma grafiği şekil 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Sürdürülebilirlik temel boyutları önem düzeyleri

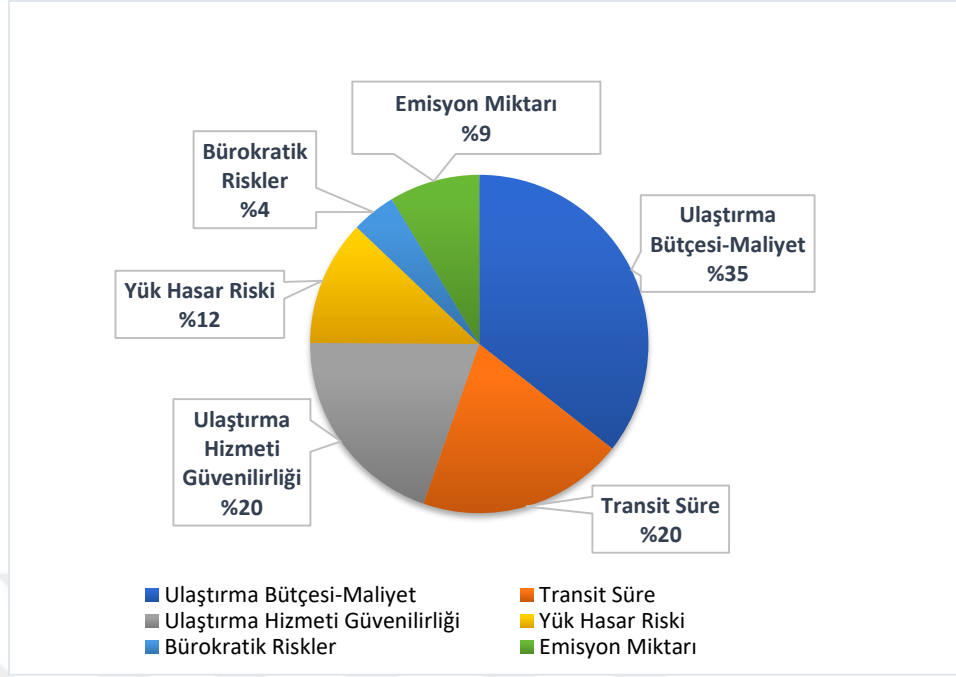
Sürdürülebilir çoklu taşıma için ekonomiklik boyutunun altında yer alan ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler olarak beş adet gösterge arasında en önemli ve en az önemli olanlar belirlendikten sonra ikili karşılaştırmalar yapılmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

Buna göre sürdürülebilirliğin ekonomiklik boyutu içerisinde %39 'luk bir ağırlık ile ulaştırma bütçesi-maliyet en önemli göstergedir. Transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği gibi iki göstergenin önem ağırlıklarınının %22 olarak eşit olması bu iki kriterin birbiri ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yük hasar riski önem düzeyi % 13 olarak belirlenirken, ekonomiklik boyutu kapsamında bürokratik risklerin %4'lük bir önem ağırlığı ile en az önemli gösterge olduğu görülmektedir. Ekonomiklik kriterine ait göstergelerin ağırlıklandırılması ile ilgili tutarlılık oranı (ξ^L) $0,089 < 0,10$ olduğu için elde edilen sonuçlar tutarlıdır. Ekonomik sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyleri karşılaştırma grafiği şekil 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Ekonomik sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri

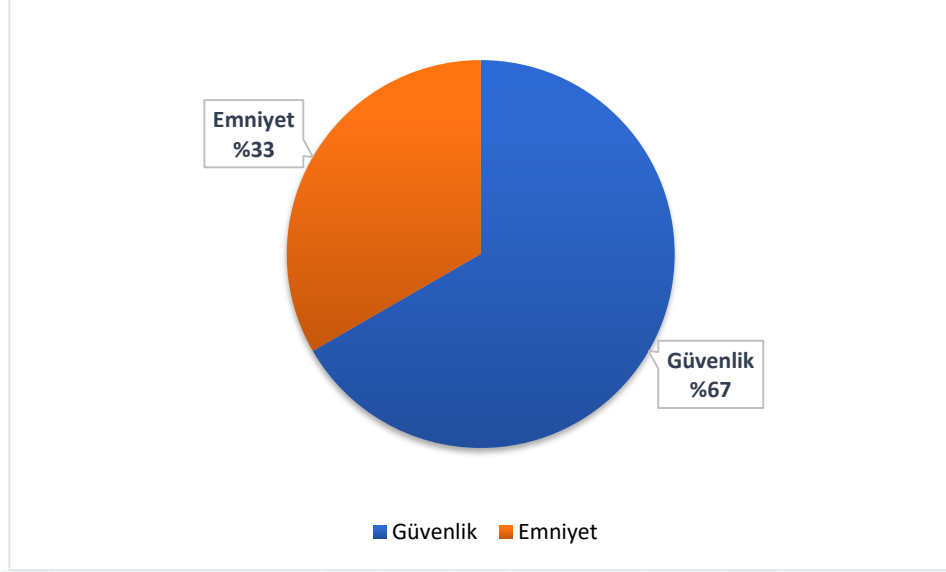
Ekonomik boyut altındaki, yukarıda ağırlıklandırması yapılan beş adet göstereye, çevresel boyut kapsamındaki emisyon miktarı göstergesi eklenerek; yani ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik kapsamında bir karşılaştırma yapılarak; önceki karşılaştırmaya göre gösterge ağırlıklarında bir değişiklik olup olmayacağı gözlemlenmiş ve sonuçlar şekil 4.3' de gösterilmiştir. Bu değerlendirme ile ilgili tutarlılık oranı (ξ^L) $0,087 < 0,10$ 'dir. Bu değer elde edilen ağırlıklandırma sonuçlarının tutarlılığını göstermektedir.



Şekil 4.3 Ekonomik-çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri

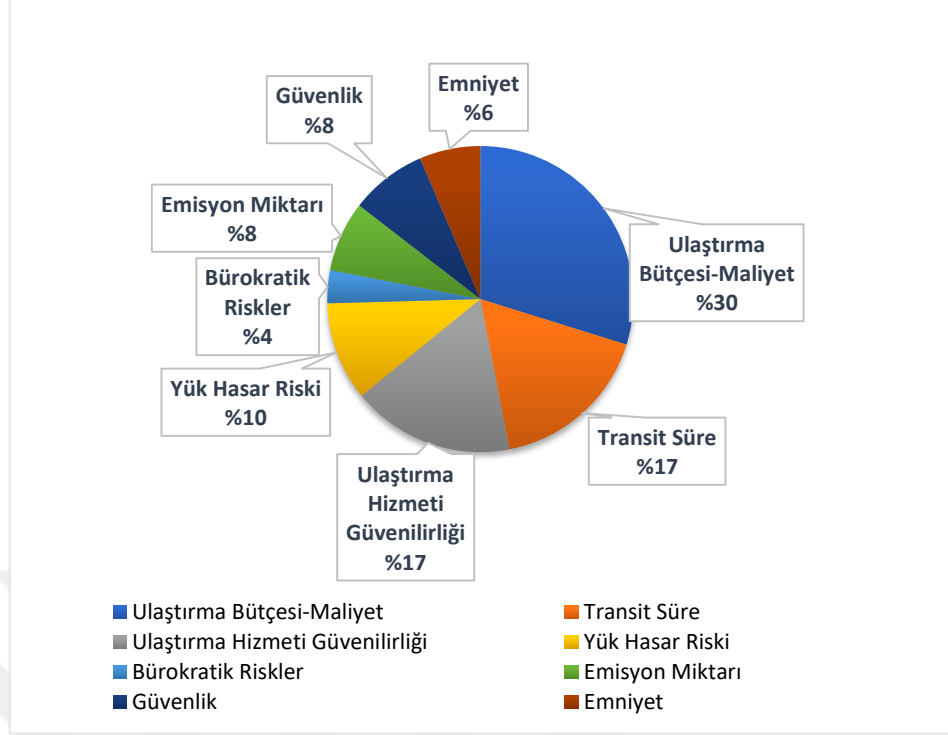
Ekonomikliği sağlayan göstergelere çevresel bir göstergenin eklenmesi herhangi bir göstergenin önem düzeyinin çok fazla düşmesine sebep olmamıştır. Buna göre; beş adet ekonomik sürdürülebilirlik göstergesine emisyon salım miktarı göstergesi eklendiğinde; ulaştırma bütçesi-maliyet göstergesinin önem ağırlığı %39'dan %35'e, transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği göstergelerinin her ikisinin de önem düzeyi %22'den %20'ye düşmüştür. Yük hasar riski göstergesinin önem düzeyi bir puanlık düşüşle %12'ye inmiş, bürokratik riskler göstergesinin önem düzeyi önceki %4 olarak aynı kalmıştır. Emisyon miktarı göstergesinin önem düzeyi %9'dur.

Sürdürülebilir çoklu taşıma kavramının sosyal boyutu için güvenlik ve emniyet olarak iki gösterge değerlendirilmiş, güvenlik göstergesi emniyet göstergesinden yaklaşık iki kat önemli bulunmuştur. Bu iki gösterge karşılaştırıldığında Şekil 4.4 'te de görüldüğü üzere güvenlik göstergesi %67, emniyet göstergesi ise %33 önem ağırlığına sahiptir. Burada iki gösterge karşılaştırıldığı için \mathcal{E}^L değeri 0,00 olarak elde edilir.



Şekil 4.4 Sosyal sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri

Son olarak ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilir çoklu taşımacılık dahilinde mevcut sekiz adet gösterge karşılaştırıldığında; ulaştırma bütçesi-maliyet %30 önem düzeyi ile en önemli gösterge olarak, bürokratik riskler tüm karşılaştırma analizlerinde olduğu gibi bu analizde de %4 önem düzeyi ile en az önemli gösterge olarak tespit edilmiştir. Tüm aşamalarda gözlemlendiği gibi bu aşamada da transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği göstergelerinin %17 ile eşit önem ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan; yük hasar riski %10, emisyon miktarı ve güvenlik %8 ve emniyet göstergesi de %6 önem düzeyine sahiptir. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri ağırlıklandırması için tutarlılık oranı (ξ^L) 0,082 elde edilmiştir. (ξ^L) < 0,10 olduğu için elde edilen değerlendirme sonuçları tutarlıdır. Sürdürülebilir çoklu taşımada, tüm göstergelerin önem ağırlıkları değerlendirmesinde sekiz adet göstergenin önem düzeyleri şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem düzeyleri

Ekonomik-çevresel-sosyal sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem düzeyleri; ulaştırma bütçesi-maliyet %30, transit süre %17, ulaştırma hizmeti güvenilirliği %17 yük hasar riski %10, bürokratik riskler %4, emisyon miktarı %8, güvenlik %8 ve emniyet %6' dır.

Beş adet ekonomik sürdürülebilir ulaştırma göstergesi karşılaştırıldığında elde edilen önem ağırlıkları tablo 4.6'da, ekonomik-çevresel sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri karşılaştırıldığında elde edilen gösterge önem ağırlıkları tablo 4.7' de, ekonomik-çevresel-sosyal sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri karşılaştırıldığında gösterge önem ağırlıkları tablo 4.8' de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Ekonomik sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları

Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Boyutu	Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Göstergeleri	Önem Ağırlığı (w_i)
Ekonomik	Ulaştırma bütçesi-Maliyet	0,39
	Transit süre	0,22
	Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği	0,22
	Yük hasar riski	0,13
	Bürokratik riskler	0,04

Tablo 4.7 Ekonomik-çevresel sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları

Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Boyutu	Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Göstergeleri	Önem Ağırlığı (w_i)
Ekonomik	Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	0,35
	Transit süre	0,20
	Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği	0,20
	Yük hasar riski	0,12
	Bürokratik riskler	0,04
Çevresel	Emisyon miktarı	0,09

Tablo 4.8 Ekonomik-çevresel-sosyal sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem ağırlıkları

Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Boyutu	Sürdürülebilir Çoklu Ulaştırma Göstergeleri	Önem Ağırlığı (w_i)
Ekonomik	Ulaştırma bütçesi-Maliyet	0,30
	Transit süre	0,17
	Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği	0,17
	Yük hasar riski	0,10
	Bürokratik riskler	0,04
Çevresel	Emisyon miktarı	0,08
Sosyal	Güvenlik	0,08
	Emniyet	0,06

Elde edilen bu değerler optimizasyon aşamasında 0-1 Hedef Programlama yönteminde girdi olarak kullanılacaktır.

4.5.3 Çiğli-Lodz Çoklu Taşıma Rotalarının Belirlenmesi

Uygulamanın gerçekleştirildiği firmanın bulunduğu Çiğli AOSB (Atatürk Organize Sanayi Bölgesi)'den Lodz'da bulunan hedef müşterinin yer aldığı lokasyon arasında firmanın mevcut olarak kullandığı bir unimodal rotaya ek olarak, farklı taşıma türü kombinasyonları içeren altı adet çoklu taşıma rotası ile birlikte toplam yedi adet rota tespit edilmiştir. Bu aşamada; Google Maps (2019) arayüzünden karayolu alternatiflerinin belirlenmesi, Ships Go (2019) ve Port Distance (2019) arayüzünden denizyolu ulaştırma alternatiflerinin belirlenmesi için faydalanılmıştır. Ayrıca firmadan, firmanın lojistik hizmet sağlayıcısı firmadan ve sektördeki lojistik hizmet sağlayıcı diğer firmalardan da ilgili çıkış ve varış noktaları arasındaki ulaştırma alternatifleri elde edilerek rotalar oluşturulmuştur. Çiğli-Lodz arası elde edilen rotalar ve içerdikleri taşıma türleri tablo 4.9' da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Çiğli-Lodz ulaştırma rotaları

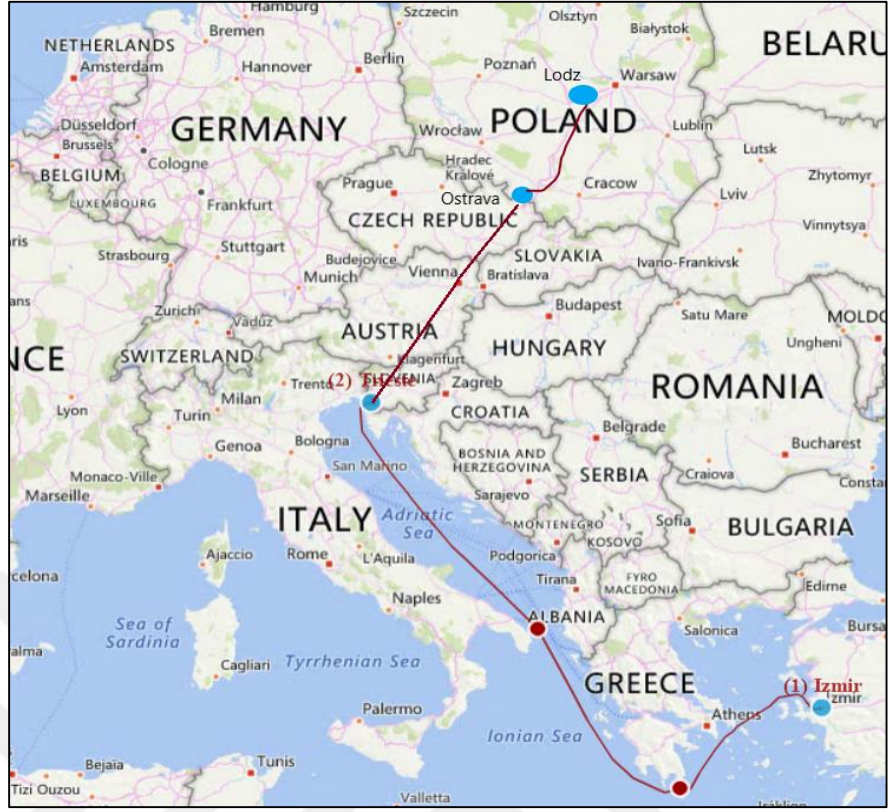
Rota No	Taşıma Türleri	Rota
Rota 1	Karayolu	Çiğli-Lodz Unimodal Rotası
Rota 2	Karayolu-Denizyolu-Demiryolu-Karayolu	Çiğli - İzmir - Trieste - Ostrava - Lodz Çoklu Taşıma Rotası
Rota 3	Karayolu-Denizyolu-Denizyolu-Karayolu	Çiğli - İzmir - Hamburg - Gdynia - Lodz Çoklu Taşıma Rotası
Rota 4	Karayolu-Denizyolu-Denizyolu-Karayolu	Çiğli - İzmir - Bremerhaven - Gdansk - Lodz Çoklu Taşıma Rotası
Rota 5	Karayolu-Denizyolu-Demiryolu-Karayolu	Çiğli - Aliğa - Bremerhaven - Poznan - Lodz Çoklu Taşıma Rotası
Rota 6	Karayolu-Denizyolu-Denizyolu-Karayolu	Çiğli - İzmir - Rotterdam - Gdynia - Lodz Çoklu Taşıma Rotası
Rota 7	Karayolu-Denizyolu-Denizyolu-Karayolu	Çiğli - Aliğa - Bremerhaven - Gdynia - Lodz Çoklu Taşıma Rotası

Rota 1 Çiğli-Lodz Unimodal Rotasında, konteynera firma fabrika deposunda yükleme yapıldıktan sonra, Bayraklı UND Gümrük Alanı'nda gümrükleme ile ilgili işlemler tamamlanmakta, yük karayolu ile Türkiye'den ayrılarak Bulgaristan, Sırbistan, Macaristan, Slovakya, Çekya üzerinden Lodz Polonya'ya ulaştırılır. Rota 1'e ait izlenen yol şekil 4.6' da harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Rota 1 Çiğli-Lodz Unimodal Rotası

Rota 2; karayolu, denizyolu ve demiryolu olarak üç farklı taşıma türü içeren bir intermodal taşıma rotasıdır. Bu rotada Çiğli'den İzmir Alsancak Limanı'na giden yük denizyolu ile İtalya Trieste Limanı'na ulaştırıldıktan sonra, bu limandan demiryolu ile Slovakya'daki Ostrava aktarma merkezine yönlendirilmektedir. Ostrava'dan tıra yüklenen konteyner son taşıma ayağında karayolu ile hedef nokta Lodz'a ulaştırılır. Rota 2'ye ait izlenen yol şekil 4.7' de harita üzerinde gösterilmiştir.



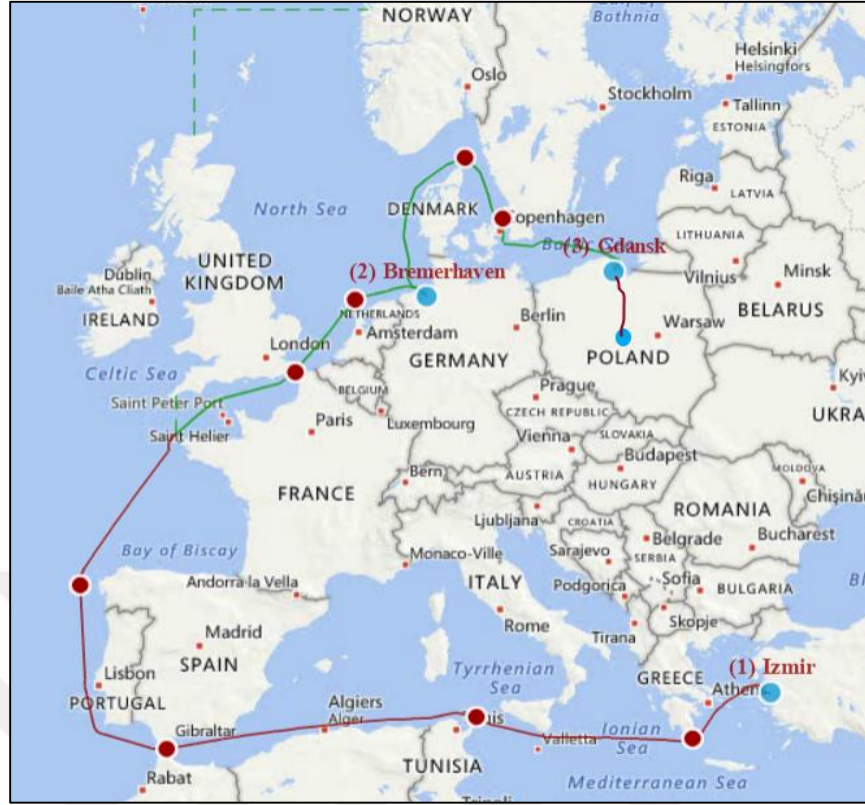
Şekil 4.7 Rota 2 Çiğli-İzmir-Trieste-Ostrava-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

Rota 3; büyük kısmı deniz taşıması içeren ilk taşıma ve son taşıma kısımları karayolu olan bir intermodal rotadır. Çiğli üzerinden İzmir Limanı'nda gemiye yüklenen konteyner Hamburg Limanı'nda aktarma sonrası Gdynia Limanı'na tekrar denizyolu ile sevk edilmekte ve Gdynia üzerinden karayolu ile Lodz'a ulaştırılmaktadır. Rota 3' e ait izlenen yol şekil 4.8' de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Rota 3 Çiğli-İzmir-Hamburg-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

Rota 4' de Rota 3' e benzer bir şekilde büyük kısmı deniz taşıması içeren, ilk taşıma ve son taşıma kısımları karayolu olan bir intermodal rotadır. Çiğli üzerinden İzmir Limanı'nda gemiye yüklenen konteyner Bremerhaven Limanı'nda aktarma sonrası Gdansk Limanı'na tekrar deniz yolu ile sevk edilmekte ve Gdansk üzerinden karayolu ile Lodz'a ulaştırılmaktadır. Rota 4' e ait izlenen yol şekil 4.9' da harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Rota 4 Çiğli-İzmir-Bremerhaven-Gdansk-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

3 ve 4 numaralı rotalarda deniz taşıması sonrası taşıma kısmı tamamı ile karayolu ile sağlanırken, 5 numaralı rota için bu süreçte daha çok demiryolu hakimdir. Buna göre Rota 5'te Çiğli'den Aliğa Limanı'na karayolu ile sevk edilen yük, Aliğa Limanı'ndan Bremerhaven Limanı'na ve buradan demiryolu ile Poznan aktarma merkezine ve son olarak karayolu ile hedef varış noktası Lodz'a ulaştırılmaktadır. Rota 5' e ait izlenen yol şekil 4.10' da harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Rota 5 Çiğli-Aliğa-Bremerhaven-Poznan-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

6 numaralı rotada Çiğli'den İzmir Limanı'na aktarılan yük, İzmir'den Rotterdam ve ardından Gdynia Limanları'na aktarılır. Daha sonra; yük Gdynia Limanı'ndan karayolu ile hedef nokta Lodz'a ulaştırılır. Rota 6'ya ait izlenen yol şekil 4.11'de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Rota 6 Çiğli-İzmir-Rotterdam-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

7 numaralı rotada Çiğli'den Aliğa Limanı'na aktarılan yük, Aliğa'dan Bremerhaven ve ardından Gdynia Limanları'na aktarılır. Daha sonra Gdynia Limanı'ndan karayolu ile hedef nokta Lodz'a ulaştırılır. Rota 7' ye ait izlenen yol şekil 4.12' de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Rota 7 Çiğli-Aliğa-Bremerhaven-Gdynia-Lodz Çoklu Taşıma Rotası

Bu aşamada; Çiğli-Lodz merkezleri arasında elde edilen yedi adet rotanın sonraki analizlerde ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ekonomik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet performansları ortaya konacaktır.

4.5.4 Çiğli-Lodz Koridoru Rotalarına ait Maliyet-Transit Süre Analizi Bulguları

Çiğli ve Lodz arasındaki unimodal ve çoklu taşıma rotalarına ait taşıma maliyetleri, kullanılan rotalarda firmanın ihracat departmanı ile yapılan görüşmelerden, alternatif rotalarda firmanın lojistik hizmet sağlayıcısının gerçekleştirdiği piyasa araştırmasından ve lojistik hizmet sağlayıcılar ile yapılan görüşmelerden, transit süreler ise yukarıda belirtilen kaynaklara ek olarak Ships Go (2019) 'dan elde edilmiştir. Rotalara ait maliyet, transit süre bilgileri ve rotaların içerdiği taşıma türleri tablo 4.10'da görülmektedir.

Tablo 4.10 Rotalara ait ulaştırma maliyeti ve transit süreler

Rota No	Rota Adı	Maliyet (Euro)	Transit Süre (gün)
Rota 1	Çiğli- (KY)- Lodz	2.950	8
Rota 2	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	2.748	13
Rota 3	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.858	25
Rota 4	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	2.116	33
Rota 5	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	2.397	28
Rota 6	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.345	25
Rota 7	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.600	24

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Bu kapsamda elde edilen maliyet; navlun, yükleme boşaltma, iç dış nakliyeler ve gümrükleme masraflarını içermektedir. Transit süre ürünün fabrikada yüklemesinin yapılmasından itibaren, boşaltma, aktarma, bekleme olmak üzere kapıdan-kapıya ulaştırma için gerekli tüm süreleri içermektedir.

Tablo 4.10' a göre; maliyet açısından en uygun rota 6 numaralı çoklu taşıma rotasıdır. Süre açısından bakıldığında en yüksek maliyetli 1 numaralı unimodal karayolu rotası 8 günlük transit süre ile en hızlı sürede ulaştırmayı sağlamaktadır. Denizyolu yoğun rotalarda maliyet düşük olmasına rağmen transit sürenin artmakta, karayolu yoğun rotalarda ise maliyet yüksek olmasına rağmen transit süre düşmektedir.

4.5.5 Rota Ekonomik Risk Analizi Bulguları

Rotalarda ekonomik risk analizi; ulaştırma hizmeti güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler göstergeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında elde edilen sekiz adet sürdürülebilir çoklu taşıma göstergesi içerisinde yer alan ulaştırma hizmeti güvenilirliği, risk modeline terminolojik uyum sağlamak adına

bu aşamaya güvenilirlik kaybı riski olarak uyarlanmıştır. Uygulama firmasından iki operasyon yöneticisi ve bir operasyon uzmanı ve firmanın 2 risk uzmanının katılım desteği ile yapılan görüşmelerde, ekonomik risklere ait, literatür araştırması ile elde edilmiş alt risklerin (tehlike) olasılık puanları ve etki puanları oluşturulmuş, üç uzmanın belirttiği tehlike olasılık puanlarının ortalaması alınarak risk olasılık puanı, tehlike etki puanlarının ortalaması alınarak risk etki puanı elde edilmiştir. Sonrasında; risk olasılık puanı ortalaması ile risk etki puanı ortalaması çarpımından ana riske ait puan elde edilmiştir. Bu işlem her bir rota için tekrar edilmiş olup, analiz sonunda rotaların güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski ve bürokratik risk seviyelerine ait değerler tablo 4.11'deki gibi elde edilmiştir. En yüksek olasılık puanı ve etki puanı 5 olacağı için bu iki değer çarpımından elde edilecek en yüksek tehlike ya da risk puanı 25'tir.

Rota ekonomik risk analizinde kullanılan matris yöntemi risk yönetimi alanında oldukça fazla kullanılan, geçerliliği onaylanmış bir yöntemdir. Gerçekleştirilen risk analizinin de güvenilirliğini ortaya koymak amacı ile bu aşamada kullanılan ölçeğin Cronbach alfa (α) değeri belirlenmiştir. Beş elemanlı olasılık ölçeği için hesaplanan $\alpha = 0,934$ değeri, beş elemanlı etki ölçeği için $\alpha = 0,972$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler araştırmanın güvenilirliğini ortaya koyabilmek için gerekliliği sağlayan değerlerdir.

Üç firma uzmanı ile yapılan risk analizi görüşmelerinde firmanın Lodz sevkleri ile ilgili risk algı düzeyi de ölçülmüş, firma tarafından risk puanı 1-7 arası olan risklerin **düşük riskler**, 8-16 arası olan risklerin **orta derece riskler**, 17-25 arası risklerin **yüksek riskler** olarak algılandığı ortaya çıkarılmıştır. Risk analizi sonuçlarına göre; rota risklerinin 1 ile 8 puan arasında değiştiğini göz önüne alırsak, 1 numaralı Çiğli-Lodz unimodal rotasının yük hasar riski açısından orta derece riske sahip olduğu, 5 numaralı çoklu taşıma rotasının güvenilirlik kaybı açısından orta derece riske sahip olduğu görülmektedir. Belirtilen iki durum dışında her rota üç ana risk grubu açısından kabul edilebilir düşük risklere sahiptir.

Tablo 4.11 Rota ekonomik risk analizi sonuçları

Rota No	Rota Adı	Güv. Kaybı Riski	Yük Hasar Riski	Bür. Risk
Rota 1	Çiğli (KY)- Lodz	7,40	7,85	4,56
Rota 2	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	5,73	6,36	3,38
Rota 3	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	7,04	6,47	3,46
Rota 4	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	7,04	6,47	3,46
Rota 5	Çiğli (KY)- Aliağa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	7,52	6,47	3,46
Rota 6	Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	6,84	6,47	3,46
Rota 7	Çiğli (KY)- Aliağa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	7,04	6,47	3,46

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Güvenilirlik kaybı risk seviyelerine bakıldığında; güvenilirliğini kaybetme riski en yüksek olan rota, diğer bir deyişle ulaştırma hizmeti güvenilirliği en düşük rota; yoğun denizyolu ve demiryolu taşıma türlerini içeren 5 numaralı çoklu taşıma rotasıdır. Burada güvenilirliğin düşük olmasının sebebi; denizyolu ve demiryolu taşıma türlerinde aktarma operasyonlarının fazla olması, aktarma operasyonlarının bekleme sürelerinin değişkenliğini arttırmasıdır. Diğer taraftan; özellikle demiryolu taşıma türünde hedeflenen tren seferine yetişilmez ise yükün bir sonraki tren seferini beklemesi transit süreyi uzatmakta, bu da güvenilirliği azaltmaktadır. Dolayısıyla denizyolu yoğun rotalara demiryolu alternatifi eklenmesi güvenilirlik kaybı riskini arttırmaktadır. Diğer taraftan karayolunun süre avantajı, Rota 1’de güvenilirlik kaybı riskinin Rota 2’den düşük olması beklentisini yaratırken, 2 numaralı rotadaki hizmetlerin düzenli seferler, aktarma sürelerinin kısa ve net olan seferler içermesi bu beklentiyi ortadan kaldırmıştır.

Ulaştırma yöneticileri yük hasar riski açısından, karayolunu diğer taşıma türlerine göre daha yüksek bir kaza olasılığına sahip olduğunu belirtmiştir. Yük hasarı açısından en riskli rota olarak 1 numaralı unimodal rota tespit edilmiştir. Diğer tüm rotalarda yük hasar riski eşit olarak değerlendirilmiştir.

Her bir rotanın bürokratik riskler açısından risk puanları incelendiğinde; 1 numaralı Unimodal Rota en riskli rotadır. 1 numaralı rota için bu durumun sebebinin; rota geçiş ülkeleri Bulgaristan ve Macaristan tarafından sınır kapılarında Türk ağır taşıt araç geçişlerinin sınırlandırılmasının olduğu düşünülmektedir. Diğer altı rotanın bürokratik risk puanının unimodal rotanın risk puanından düşük ve birbiri ile eşit olmasının sebebi; Türkiye-Avrupa koridorunda çoklu yük taşımacılığında AB Gümrük yasalarının sağladığı standardizasyon ve kolaylıklar olduğu söylenebilir.

4.5.6 Rota Emisyon Analizi Bulguları

Bu aşamada her bir rotada ortaya çıkan emisyon miktarının hesaplanabilmesi için rotaların içerdiği taşıma türlerinin emisyon miktarı EcoTransit emisyon hesaplama aracı ile hesaplanmış ve bu değerler toplanarak rotaya ait, dolaylı, direkt ve toplam emisyon miktarı değerleri CO₂e olarak elde edilmiştir. Enerji tüketimi ve emisyon miktarı ilgili taşıma türüne ait araç tipi, yakıt tipi, katedilen mesafe, yük ağırlığı, yük istif faktörü, boş tur faktörü, denizyolu taşımaları için hız düşürme faktörü gibi değişkenlere bağlıdır. Emisyon analizi modelinin oluşturulmasında bu değişkenlerden mesafe haricindekiler bazı kabuller gerektirir. Buna göre emisyon hesaplaması yapılırken aşağıdaki kabuller göz önüne alınmıştır:

Emisyon hesaplamalarında elde edilen sonuç değerler bir adet 40' (2 TEU) konteyner için ortaya çıkan değerlerdir. Firmanın sevkini yaptığı ürünlerin ortalama ağırlığı 20 ton olduğundan hareketle TEU başına yük 10 tondur. Bir adet 40' konteynerın taşınması için karayolunda 26-40t tipinde, EURO5 emisyon standardında, dizel yakıt tüketen araçların kullanıldığı kabul edilmiştir. Denizyolu taşımalarında dizel yakıt tüketen Handysize (1k-2k) tipi konteyner gemilerinin, demiryolu taşımalarında ise dizel yakıt ile çalışan EU IUC 1 (1000t) yük trenlerinin kullanıldığı varsayılmıştır. Yük istif faktörü karayolunda %60, denizyolunda %70 ve demiryolunda %50 olarak kabul edilmiştir. Boş tur faktörü tüm araç tipleri %20'dir. Gemi için geçerli olan hız düşürme faktörü olarak IMO tarafından önerilen oran %25'tir.

Rotaların emisyon analizi EcoTransit emisyon hesaplayıcı arayüzünde gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan dolaylı, direkt ve toplam emisyon miktarı CO₂ e ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre tüm rotalara ait taşıma ayakları, başlangıç ve hedef noktası koordinatları, emisyon faktör kabulleri ve emisyon değerleri tablo 4.12 – tablo 4.18’ de gösterilmiştir.



Tablo 4.12 Rota 1 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-Bayraklı	KY	38.48N-27.04E	38.44N-27.17E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	15	0,01	0,02	0,03
Bayraklı-Lodz	KY	38.44N-27.17E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	2.365	1,00	3,00	4,00
ROTA TOPLAMI										2.380	1,01	3,02	4,03

Tablo 4.13 Rota 2 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-İzmir	KY	38.48N-27.04E	38.44N-27.14E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	17	0,01	0,02	0,03
İzmir-Trieste	DY	38.44N-27.14E	45.64N-13.76E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	1.961	0,04	0,49	0,53
Trieste-Ostrava	DEY	45.64N-13.76E	49.82N-18.20E	Tren	EU IUC 1 (1000t)	Dizel	%50	%20	-	779	0,10	0,40	0,50
Ostrava-Lodz	KY	49.82N-18.20E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	298	0,10	0,40	0,50
ROTA TOPLAMI										3.055	0,25	1,31	1,56

Tablo 4.14 Rota 3 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-İzmir	KY	38.48N-27.04E	38.44N-27.14E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	17	0,01	0,02	0,03
İzmir-Hamburg	DY	38.44N-27.14E	53.50N-9.96E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	6.146	0,18	1,55	1,73
Hamburg-Gdynia	DY	53.50N-9.96E	54.52N-18.52E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	%20	%25	829	0,06	0,21	0,27
Gdynia-Lodz	KY	54.52N-18.52E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	366	0,10	0,50	0,60
ROTA TOPLAMI										7.358	0,35	2,28	2,63

Tablo 4.15 Rota 4 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-İzmir	KY	38.48N-27.04E	38.44N-27.14E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	17	0,01	0,02	0,03
İzmir-Bremerhaven	DY	38.44N-27.14E	53.53N-8.58E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	6.052	0,18	1,52	1,70
Bremerhaven-Gdansk	DY	53.53N-8.58E	54.40N-18.67E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	%20	%25	897	0,06	0,23	0,29
Gdansk-Lodz	KY	54.40N-18.67E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	350	0,10	0,50	0,60
ROTA TOPLAMI										7.316	0,35	2,27	2,62

Tablo 4.16 Rota 5 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-Aliğa	KY	38.48N-27.04E	38.75N-26.92E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	40	0,01	0,06	0,07
Aliğa-Bremerhaven	DY	38.75N-26.92E	53.53N-8.58E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	6.013	0,18	1,51	1,69
Bremerhaven-Poznan	DEY	53.53N-8.58E	52.38N-17.00E	Yük Treni	EU IUC 1 (1000t)	Dizel	%50	%20	-	665	0,10	0,30	0,40
Poznan-Lodz	KY	52.38N-17.00E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	202	0,10	0,30	0,40
ROTA TOPLAMI										6.920	0,39	2,17	2,56

Tablo 4.17 Rota 6 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-İzmir	KY	38.48N-27.04E	38.44N-27.14E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	17	0,01	0,02	0,03
İzmir-Rotterdam	DY	38.44N-27.14E	51.94N-4.14E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	5.628	0,15	1,41	1,56
Rotterdam-Gdynia	DY	51.94N-4.14E	54.52N-18.52E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	%20	%25	1.252	0,08	0,32	0,40
Gdynia-Lodz	KY	54.52N-18.52E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	366	0,10	0,50	0,60
ROTA TOPLAMI										7.263	0,34	2,25	2,59

Tablo 4.18 Rota 7 emisyon analizi sonuçları

Rota Ayağı	Taşıma Türü	Koordinatlar		Araç	Araç sınıfı	Yakıt	İstif Fak.	Boş Tur Fak.	Hız Düş. Fak.	Mesafe (km.)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
		Başlangıç	Hedef								Dolaylı	Direkt	Toplam
Çiğli-Aliğa	KY	38.48N-27.04E	38.75-N-26.92E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	40	0,01	0,06	0,07
Aliğa-Bremerhaven	DY	38.75-N-26.92E	53.53N-8.58E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	-	%25	6.013	0,18	1,51	1,69
Bremerhaven-Gdynia	DY	53.53N-8.58E	54.52N-18.52E	Kont. Gem.	Handysize (1-2k TEU)	Dizel	%70	%20	%25	896	0,06	0,23	0,29
Gdynia-Lodz	KY	54.52N-18.52E	51.73N-19.35E	Tır	26-40t	Dizel	%60	%20	-	366	0,10	0,50	0,60
ROTA TOPLAMI										7.315	0,35	2,30	2,65

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Emisyon miktarları incelendiğinde; en yüksek çevresel etkiye tamamen karayolu taşıma türünün kullanıldığı 1 numaralı Unimodal Çiğli-Lodz alternatifi sahiptir. Karayolu kullanım oranı azaltılıp, denizyolu ve demiryolu kullanım oranı arttırıldığı zaman çevresel etki azalmaktadır. Bu durum Rota 1 ve Rota 2 karşılaştırmasında görülmektedir. Rotaların emisyon miktarları özet olarak tablo 4.19’ da gösterilmiştir.

Tablo 4.19 Rota emisyon salım miktarları

Rota No	Rota	Toplam CO₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)
1	Çiğli (KY)- Lodz	4,03
2	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	1,56
3	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	2,63
4	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)-	2,62
5	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan	2,56
6	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)-	2,59
7	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)-	2,65

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Rota 1 ve Rota 2 haricindeki tüm rotaların çevresel etkisi aynı düzeyde ve CO₂ eşdeğer emisyon miktarları 2,50-2,65 CO₂e aralığında, birbirlerine çok yakındır. Bu sebeple emisyon analizi sonuçlarını taşıma türü kullanım oranları ile birlikte yorumlamak daha doğru olacaktır. Rotaların taşıma türü kullanım mesafeleri ve bu mesafelerin toplam katedilen mesafe içerisindeki oranları tablo 4.20’ de belirtilmiştir.

Tablo 4.20 Rota taşıma türü kullanım oranları

Rota	Karayolu (km.) - %		Denizyolu (km.) - %		Demiryolu (km.) - %		Mesafe (km.)
Rota 1: Çiğli (KY)- Lodz	2.547	%100	0	%0	0	%0	2.380
Rota 2: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	315	%10	1.961	%64	779	%26	3.055
Rota 3: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	383	%5	6.975	%95	0	%0	7.358
Rota 4: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	367	%5	6.949	%95	0	%0	7.316
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	242	%3	6.013	%87	665	%10	6.920
Rota 6: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	383	%5	6.880	%95	0	%0	7.263
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	406	%6	6.909	%94	0	%0	7.315

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

2 numaralı çoklu taşıma rotası için karayolu taşıma türü kullanım oranı Rota 1 haricindeki diğer rotalara göre yüksek olmasına rağmen, bu rotanın demiryolunu yüksek oranda kullanması sebebi ile en düşük çevresel etkiye sahiptir. Rota 5 çoklu taşıma rotasının karayolu kullanım oranı Rota 2 çoklu taşıma rotasından daha düşük olmasına rağmen, demiryolu kullanım oranının daha düşük olması ve bu rotada katedilen mesafenin daha yüksek olması sebepleri ile çevresel etkisi Rota 2'ye göre daha yüksektir. Sonuç olarak Rota 5 çevresel etkinin en az olduğu ikinci rotadır. Rota 4 ve Rota 7 birbirlerine çok benzeyen ve çevresel etkileri de hemen hemen aynı olan iki rotadır. Rota 7'de karayolunun % 1 oranında daha fazla kullanımı emisyon miktarını Rota 4'e göre bir miktar arttırmıştır.

Sonuç olarak; Rota 1 Unimodal Rotasının en yüksek çevresel etkiye, Rota 2 çoklu taşıma rotasının en düşük çevresel etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bir rotada, karayolu kullanımı arttıkça konteyner başına emisyon miktarı artmakta, demiryolu kullanımı arttıkça konteyner başına emisyon miktarı azalmaktadır.

4.5.7 Rota Güvenlik Analizi Bulguları

Rota ülkelerinden geçerken her bir rotanın kullandığı karayolu mesafeleri Google Maps (2019)' dan ve EcoTransit (2018)'den elde edilerek, tablo 3.15 ve tablo 3.16' daki bilgiler doğrultusunda rota ülkelerinin ağır taşıt ölümlü kaza puanları tablo 4.21 – tablo 4.27 arasında verilmiştir. Kilometre başına ölümlü ağır taşıt kaza oranlarına bakıldığında; AB Ülkeleri ortalaması 0,09 kaza/100km.'dir. Rota başlangıç ve hedef ülkeleri olan Türkiye ve Polonya 0,19 kaza/100km ile ortalamanın üzerinde ölümlü ağır taşıt kaza oranına sahiptir. Diğer taraftan yine Türkiye' nin Avrupa'ya çıkış rotası üzerinde bulunan Bulgaristan için bu oran 0,54'dür ve Avrupa'da en yüksek ölümlü ağır taşıt kaza oranı Bulgaristan'a aittir.

Rota geçiş ülkelerine bakıldığında; 1 numaralı rota Türkiye, Bulgaristan, Sırbistan, Macaristan, Slovakya, Çekya ve Polonya'dan geçerken, 2 numaralı rota Türkiye, Çekya ve Polonya'dan geçerek hedefe ulaşır. Belirtilen iki rota haricindeki tüm rotalar son taşıma ayakları hariç karayolu içermez. Bu karayolu taşıma türü kullanımları da Türkiye ve Polonya'da gerçekleşir.

Analizde rotanın geçtiği ülkenin 100 km. başına ağır taşıt kaza oranı, rotanın ülkeden geçen uzunluğu ile çarpılarak 100 değerine bölünmesi sonucu rota kaza oranları elde edilmiştir. Karayolu kullanımının yoğunluğuna göre tablo 3.16'daki ölçek kullanılarak her bir rota için ağır taşıt ölümlü kaza puanları elde edilmiştir.

Tablo 4.21 Rota 1 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri								Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	BUL	SIR	MAC	SLO	ÇEK	POL	Toplam			
Rota 1: Çiğli (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri									100%	3,00	6,51
	Karayolu Mesafesi	559	351	524	340	79	241	286	2.380			
	100km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,54	0,05	0,05	0,08	0,11	0,19	1,11			
	Rota Kaza Oranı	0,50	1,89	0,26	0,17	0,06	0,26	0,54	3,51			

Tablo 4.22 Rota 2 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri				Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	ÇEK	POL	Toplam			
Rota 2: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri					%10	2,00	2,56
	Karayolu Mesafesi	18	22	276	315			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,11	0,19	0,39			
	Rota Kaza Oranı	0,02	0,02	0,52	0,56			

Tablo 4.23 Rota 3 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri			Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	POL	Toplam			
Rota 3: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri	TR	POL	Toplam	%5	1,00	1,72
	Karayolu Mesafesi	17	366	383			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,19	0,28			
	Rota Kaza Oranı	0,02	0,70	0,72			

Tablo 4.24 Rota 4 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri			Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	POL	Toplam			
Rota 4: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri	TR	POL	Toplam	%5	1,00	1,69
	Karayolu Mesafesi	17	350	367			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,19	0,28			
	Rota Kaza Oranı	0,02	0,67	0,69			

Tablo 4.25 Rota 5 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri			Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	POL	Toplam			
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri				%3	1,00	1,42
	Karayolu Mesafesi	40	202	242			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,19	0,28			
	Rota Kaza Oranı	0,04	0,38	0,42			

Tablo 4.26 Rota 6 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri			Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	POL	Toplam			
Rota 6: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri				%5	1,00	1,72
	Karayolu Mesafesi	17	366	383			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,19	0,28			
	Rota Kaza Oranı	0,02	0,70	0,72			

Tablo 4.27 Rota 7 ağır taşıt ölümlü kaza analizi sonuçları

Rota	Değişkenler	Rota Ülkeleri			Karayolu Kullanım %	Karayolu Ceza Puanı	Ölümlü Kaza Puanı
		TR	POL	Toplam			
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Rota Ülkeleri				%6	1,00	1,74
	Karayolu Mesafesi	40	366	406			
	100 km. Başına Ağır taşıt kaza miktarı	0,09	0,19	0,28			
	Rota Kaza Oranı	0,04	0,70	0,74			

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Rota güvenlik analizi sonuçlarına göre; güvenlik düzeyi en düşük rota ağır taşıt ölümlü kaza puanı 6,51 olan 1 numaralı Unimodal Rotadır. 2 numaralı rotada demiryolu kullanımı olması, karayolu kullanım oranını azaltmıştır. Fakat 2 numaralı Çoklu Taşıma Rotası'nın çoklu taşıma rotaları arasında en yüksek karayolu kullanımına sahip olması, bu karayolu kullanımının kaza puanı en yüksek ülkelerden olan Polonya sınırları dahilinde gerçekleştirilmesi, rotanın ağır taşıt ölümlü kaza puanını arttırmıştır. 5 numaralı rota karayolu kullanımının en düşük seviyede olması, Polonya sınırları içerisinde karayolunu kısa mesafede kullanması ve demiryolu taşıma türünü de kullanması sebebi ile en düşük ağır taşıt ölümlü kaza puanına sahip ve en güvenli rotadır. Denizyolunun yoğun kullanıldığı diğer tüm rotalarda kaza puanları düşük ve birbirine yakındır. Tüm rotalara ait ağır taşıt ölümlü kaza risk puanları tablo 4.28'de özetlenmiştir.

Tablo 4.28 Rotalara ait ölümlü ağır taşıt kaza puanları

Rota No	Rota	Ağır Taşıt Ölümlü Kaza Puanı
1	Çiğli (KY)- Lodz	6,51
2	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	2,56
3	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1,72
4	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	1,69
5	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	1,42
6	Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1,72
7	Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1,74

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Bu sonuçlara göre bir rotada karayolu kullanımı arttıkça rota güvenlik düzeyi düşmekte, denizyolu ve demiryolu kullanımı arttıkça rota güvenlik düzeyi artmaktadır.

4.5.8 Rota Emniyet Analizi Bulguları

Firmanın Lodz destinasyonundaki sevklerinde, konteyner ve araç içerisinde, yasal olmayan giriş yapma amacıyla bulunan kişilerin çıkması vakalarıyla karşılaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple; Polonya sevkleri için kullanılan ve önerilen alternatif rotaların Avrupa ve Akdeniz göç rotalarına yakınlığı, göç rotalarında karşılaşılan vaka sayısı göz önüne alınarak rotaların yasal olmayan mülteci girişleri açısından emniyet riskleri analiz edilmiştir.

Tablo 3.17’de yer alan 2016, 2017 yılları ve 2018 yılı Ocak-Haziran verilerine göre yasal olmayan geçişlerdeki en büyük pay denizyolunda iken, araç içerisinde saklanarak yasal olmayan girişlerde karayolunun payı daha yüksektir. İlgili yıllar arasında araçta saklanarak yasal olmayan geçişlerde karayolu vaka sayısı azalmasına rağmen, oranı artış göstermiştir. Yasal olmayan geçişlerle ilgili denizyolunda alınan önlemlerin artması karayolunda araç içerisinde saklanarak yasal olmayan geçiş vakalarını arttırmıştır.

Yasal olmayan geçiş vaka sayıları göç rotaları bazında tablo 3.18’de gösterilmiştir. Tabloya göre 2016 yılı için en yoğun yasal olmayan girişlerin yapıldığı rota; Doğu Akdeniz ve Orta Akdeniz Rotaları’dır. Karayolu ile yasal olmayan giriş oranlarında ise Batı Balkan Rotası %92 ile ciddi bir paya sahiptir. Deniz yolunda ise Orta Akdeniz ve Doğu Akdeniz rotaları en yüksek yasal olmayan giriş oranına sahiptir. Batı Akdeniz Rotası hariç tüm rotalardan yasal olmayan girişlerde 2017 yılında 2016’ya göre azalma olduğu görülmektedir. Balkan Rotaları’ndaki yasal olmayan karayolu girişlerinin payının Macaristan ve diğer ülkelerin önlemleri arttırması ile Orta ve Doğu Akdeniz’deki denizyolu ile yasal olmayan geçişlere aktarıldığı düşünülmektedir. Yapılan analiz dahilinde tablo 3.19’da yer alan ölçek referans alınarak, Avrupa ve Akdeniz Bölgesi için şekil 3.6, şekil 3.7 ve şekil 3.8’de yer alan göç rotalarının yasal olmayan geçiş vakalarına göre risk puanları tablo 4.29’ daki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.29 Göç rotaları risk puanı

Göç Rotası	Vaka Sayısı	Risk Puanı
Batı Balkan Rotası	12.179	2,00
Doğu Akdeniz Rotası	42.319	2,00
Orta Akdeniz Rotası	118.962	4,00
Doğu Sınır Rotası	872	1,00
Batı Akdeniz Rotası	22.163	2,00

Tablo 3.17 ve tablo 3.18' e göre, alınan önlemlerin artması ve mülteci kampları kurulması ve AB ülkelerinin mülteci alım anlaşmalarının sonucu yasal olmayan yolla mülteci girişlerinde düşüşler yaşanmıştır. Alınan önlemler ile 2016'dan 2017 yılına yasal olmayan mülteci giriş vakalarında ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. 2018 yılı verileri de 6 aylık veriler olduğu için rotaların emniyet analizi yapılır iken 2017 yılı yasal olmayan geçiş vakaları göz önüne alınmıştır.

Değerlendirilen 7 adet taşıma rotası ile yakın temas halinde olan iki göç rotası Batı Balkan Rotası ve Doğu Akdeniz Rotası'dır. Ulaştırma rotasına en yakın göç rotaları, bu rotaların yasal olmayan geçiş istatistiklerine göre risk puanları, ulaştırma rotası ile göç rotasının ortak kısmına ait mesafe verisi ve tüm bu verilerden hareket ile ulaştırma rotasının yasal olmayan geçişle ilgili risk puanı tablo 4.30' da gösterilmiştir. Analiz yapılır iken ulaştırma rotasının en yakın göç rotası ile ortak olan kısımlara ait mesafeler karayolunda Google Maps (2019), denizyolunda Port Distance (2019) aracılığı ile tahmini olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.30 Rota emniyet analizi sonuçları

Rota	En Yakın Göç Rotası	Yasal olmayan giriş risk Puanı	Taşıma Rotası ve Göç Rotası Ortak Riskli Kısım (Tahmini)	Toplam Rota mesafe	Riskli kısma ait mesafe	Riskli Rota oranı	Yasal olmayan giriş risk Puanı (Rota Emniyet Risk Puanı)
Rota 1: Çiğli (KY)- Lodz	Batı Balkan Rotası-Doğu Akdeniz Rotası	2,00	Macaristan Budapeşte yakınlarına (47.41N-19.19E) kadar rotada	2.380	1.785	%75	1,50
Rota 2: Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Trieste'ye (45.64N-13.76E) kadar rotada	3.055	1.978	%65	1,30
Rota 3: Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına (38.13N-8.86E) kadar rotada	7.358	2.195	%30	0,60
Rota 4: Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına (38.13N-8.86E) kadar rotada	7.316	2.195	%30	0,60
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına (38.13N-8.86E) kadar rotada	6.920	2.175	%31	0,63
Rota 6: Çiğli (KY)- Alsancak (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına (38.13N-8.86E) kadar rotada	7.263	2.195	%30	0,60
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	Doğu Akdeniz Rotası	2,00	İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına (38.13N-8.86E) kadar rotada	7.315	2.175	%30	0,60

DEY: Demiryolu, DY: Denizyolu, KY: Karayolu

Karayolu ile yasal olmayan girişler daha çok yaşandığı için bu durumdan en çok etkilenen taşıma türü karayolu taşımalarıdır. Bu sebeptir ki; tamamı ile karayolunu kullanan rota olan 1 numaralı Çiğli-Lodz Unimodal Rotası yasal olmayan girişlerin yaşanması konusunda en riskli rotadır. 2 numaralı çoklu taşıma rotası direkt denizyolu göç rotası üzerindedir, fakat araç içerisinde saklanma ile yasal olmayan girişler karayolu ile daha yüksek oranda gerçekleştiği için bu rotanın risk puanı ilk rotaya göre daha düşüktür. Kalan tüm taşıma rotaları İtalya Sicilya ve Sardunya açıklarına kadar Doğu Akdeniz Göç Rotası ile beraber ilerlediği için tüm taşıma rotalarının yasal olmayan giriş risk puanları aynı ve 1 ve 2 numaralı rotalara göre daha düşüktür.

Sonuç olarak; karayolu içeren 1 numaralı Çiğli-Lodz Rotası, iki adet göç rotasını kapsamaması ve tamamı ile karayolu taşıma türünü kullanması sebebi ile emniyet açısından en riskli rotadır.

4.5.9 0-1 Hedef Programlama Optimizasyon Bulguları

Çalışmanın bu son aşaması için daha önce uygulanmış olan kriter ağırlıklandırma, maliyet ve transit süre belirleme, ekonomik risk analizi, emisyon analizi, güvenlik ve emniyet analizi çalışmaları birer girdi oluşturmaktadır. Çiğli-Lodz arasında farklı taşıma türü kombinasyonları içeren ve önceki analizlerde performansları ölçülen rotaların arasından, ağırlıklandırma çalışmasında belirlenen göstergelerin firma yöneticileri için önem düzeyleri göz önüne alınarak, en iyileri seçilmeye çalışılmıştır. Bu aşamada göstergeler gruplandırılarak, ekonomik sürdürülebilir olarak, ekonomik-çevresel sürdürülebilir olarak, son olarak sürdürülebilirliğin tüm ana boyutlarını kapsayacak şekilde ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilir olarak en iyi rotalar seçilmiştir. Her bir sürdürülebilirlik boyutu bakış açısıyla seçim yapılırken, en iyi rota seçildikten sonra, bulunan en iyi rota, alternatifler arasından çıkarılarak kalan rotalar arasından tekrar optimal seçilmeye çalışılmıştır. Bu işlem elde tek bir rota kalana kadar devam ettirilmiş, ve optimal rota sıralaması oluşturulmuştur.

Modelde kullanılan optimizasyon yöntemi 0-1 Hedef Programlamadır. Yöntem, kullanıcının (sevk işleminin yönetimi ve operasyonundan sorumlu kişiler) göstergelere

verdiği önem düzeyini ve göstergeler ile ilgili hedef değerlerini göz önüne alarak optimal rota belirlemektedir.

4.5.9.1 Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergeleri Önem Düzeyleri

BWM (Best-Worst Method) ile gösterge ağırlıklandırılması başlığı altında elde edilen gösterge ağırlıkları optimizasyon aşamasında girdi olarak kullanılmıştır. Buna göre; ekonomik sürdürülebilirlik açısından optimal rota tespit edilmek istenirse; ulaştırma bütçesi-maliyet göstergesi $w_1=0,39$, transit süre $w_2=0,22$, ulaştırma hizmeti güvenilirliği $w_3=0,22$, yük hasar riski $w_4=0,13$, bürokratik riskler $w_5=0,04$ önem düzeyine sahiptir. Bu göstergelere çevresel bir gösterge olarak emisyon miktarı göstergesi eklenirse; ulaştırma bütçesi-maliyeti $w_1=0,35$, transit süre $w_2=0,20$, ulaştırma hizmeti güvenilirliği $w_3=0,20$, yük hasar riski $w_4=0,12$, bürokratik riskler $w_5=0,04$ ve emisyon miktarı $w_6=0,09$ olarak belirlenmiştir. Son olarak güvenlik ve emniyet olarak iki adet sosyal gösterge eklendiğinde; ulaştırma bütçesi-maliyet $w_1=0,30$, transit süre $w_2=0,17$, ulaştırma hizmeti güvenilirliği $w_3=0,17$ yük hasar riski $w_4=0,10$, bürokratik riskler $w_5=0,04$, emisyon miktarı $w_6=0,08$, güvenlik $w_7=0,08$ ve emniyet $w_8=0,06$ olarak belirlenmiştir.

4.5.9.2 Çiğli-Lodz Sevkleri için Hedeflerin Belirlenmesi

KDS modelini kullanacak firmanın hedef değerleri üst yönetimi temsilen firma üst düzey Satınalma yöneticisi ile yapılan görüşme ile belirlenmiştir. Bu görüşme sonunda firmanın hedef değerleri tablo 4.31'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.31 Firma Lodz sevkleri ile ilgili hedef ve limit değerleri

Hedef		Kabul Edilebilir Limit					
Ulaştırma Bütçesi-Maliyet (EUR)	Transit Süre (gün)	Güvenilirlik Kaybı Risk Seviyesi	Yük Hasar Risk Seviyesi	Bürokratik Risk Seviyesi	Emisyon mik. (ton)	Güvenlik (Ağır taşıt kaza puanı)	Emniyet (Yasal olmayan giriş risk puanı)
2,200	15	10	10	10	3	4	4

Firma Lodz'daki müşteriye yapılan sevkler ile ilgili 2,200 Euro'luk bir maliyet ve yük firmanın deposundan çıktığı andan itibaren 15 günlük teslimat süresini hedeflemektedir. Burada maliyet firmanın sınırları dahilinde belirlenmiş bütçedir. Transit süre ise, hedef değer in altında ve üstünde olmamalıdır. Diğer kriterler için belirlenen değerler ise firmanın kabul edilebilir risk seviyesinde olan üst limit değerlerdir.

4.5.9.3 Çiğli- Lodz Sevkleri 0-1 Hedef Programlama Modelleri ve Çözümleri

Çiğli-Lodz arası ulaştırma faaliyeti ile ilgili hedefler belirlendikten sonra ekonomik olarak, ekonomik-çevresel olarak ve ekonomik-çevresel-sosyal olarak 0-1 hedef programlama modelleri oluşturulmuştur. Modellerin çözümü için IBM CPLEX Optimization 12.8.0 programı kullanılmıştır.

4.5.9.3.1 Çiğli-Lodz Ekonomik Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli. Ekonomik olarak optimal rota tespiti için ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmeti güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler göstergeleri ile yapılan önceki rota değerlendirmeleri, gösterge önem düzeyleri ve bu göstergeler ile ilgili firma hedefleri göz önüne alınarak, ekonomik optimal rota tespiti için hedef programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = 0,39(d_1^- + d_1^+) + 0,22(d_2^- + d_2^+) + 0,22(d_3^- + d_3^+) + 0,13(d_4^- + d_4^+) + 0,04(d_5^- + d_5^+) \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet:

$$-34,1X_1 - 24,9X_2 + 15,5X_3 + 3,8X_4 - 9X_5 + 38,9X_6 + 27,3X_7 + d_1^- - d_1^+ = 38,9 \quad (4.2)$$

Transit süre:

$$53,3X_1+86,7X_2+166,7X_3 + 220X_4 + 186,7X_5 + 166,7X_6+160X_7+d_2^- - d_2^+=100 \quad (4.3)$$

Güvenilirlik kaybı riski:

$$26X_1+42,7X_2+29,6X_3 + 29,6X_4+24,8X_5+31,6X_6+29,6X_7+d_3^- - d_3^+=42,7 \quad (4.4)$$

Yük hasar riski:

$$21,5X_1+36,4X_2+35,3X_3 + 35,3X_4+35,3X_5+35,3X_6+35,3X_7+d_4^- - d_4^+=36,4 \quad (4.5)$$

Bürokratik riskler:

$$54,4X_1+66,2X_2+65,4X_3 + 65,4X_4+65,4X_5+65,4X_6+65,4X_7+d_5^- - d_5^+=66,2 \quad (4.6)$$

Sadece bir optimal çözüm varlığı:

$$X_1 + X_2+X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7= 1 \text{ (Toplam 7 rota)} \quad (4.7)$$

Pozitiflik koşulları:

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1, 2, \dots, 5) \quad (4.8)$$

Tam sayı koşulu:

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1,2,\dots,7) \quad (4.9)$$

Model her bir göstergeye ait kısıt denklemi para birimi, gün, risk puanı, ton gibi farklı birimler içerdiği için X_j katsayıları ve eşitliklerin sağ tarafı normalizasyon işlemi gerektirmiştir. Her bir kısıt için normalizasyon işlemi sonucu elde edilen katsayılar ve eşitliklerin sağ tarafındaki değerler şu şekilde elde edilmiştir:

Maliyet (Bütçe) eşitliğinde c_j, X_j maliyet (Bütçe) katsayısıdır ve C hedeflenen maliyet yani bütçe değeridir. $c_j = ((\text{bütçe-j rotası maliyeti}) \times 100 / \text{bütçe})$; $C = ((\text{bütçe-en düşük rota maliyeti}) \times 100 / \text{bütçe})$ şeklinde normalize edilir. Tablo 4.31' e göre bütçe 2,200 EUR olarak belirlenmiş idi. Bu durumda;

$$c_1 = ((2.200 - 2.950) \times 100 / 2.200) = -34,1$$

$$c_2 = ((2.200 - 2.748) \times 100 / 2.200) = -24,9$$

$$c_3 = ((2.200 - 1.858) \times 100 / 2.200) = 15,5$$

$$c_4 = ((2.200 - 2.116) \times 100 / 2.200) = 3,8$$

$$c_5 = ((2.200 - 2.397) \times 100 / 2.200) = -9$$

$$c_6 = ((2.200 - 1.345) \times 100 / 2.200) = 38,9$$

$$c_7 = ((2.200 - 1.600) \times 100 / 2.200) = 27,3$$

$$C = ((2.200 - 1.345) \times 100 / 2.200) = 38,9 \text{ şeklinde normalize edilmiştir.}$$

Transit süre kısıtını tanımlayan eşitlikte; t_j transit süre katsayısı, T hedeflenen transit süredir.

$t = (j \text{ rotası transit süresi} \times 100 / \text{hedef transit süre})$; $T = (\text{en düşük transit süre} \times 100 / \text{hedef transit süre})$ şeklinde normalize edilir. Tablo 4.31'de hedeflenen transit süre 15 gün olarak belirlendiğine göre;

$$t_1 = (8 \times 100 / 15) = 53,3$$

$$t_2 = (13 \times 100 / 15) = 86,7$$

$$t_3 = (25 \times 100 / 15) = 166,7$$

$$t_4 = (33 \times 100 / 15) = 220$$

$$t_5 = (28 \times 100 / 15) = 186,7$$

$$t_6 = (25 \times 100 / 15) = 166,7$$

$$t_7 = (24 \times 100 / 15) = 160,0 \text{ şeklinde normalize edilmiştir.}$$

Burada T hedef sürenin yüzde ifadesi olduğu için toplamda %100'e eşittir ve $T=100$ olarak alınmıştır.

Ulaştırma hizmeti güvenilirliği göstergesi rota ekonomik risklerinin belirlenmesi aşamasında güvenilirlik kaybı riski olarak nitelendirilmiş idi. Güvenilirlik kaybı riski kısıtına ait eşitlikte r_{gj} güvenilirlik kaybı riski katsayısıdır ve bu kısıt denklemi R_g 'ye eşittir.

$r_{gj} = ((\text{güvenilirlik kaybı risk puanı limiti} - j \text{ rotası güvenilirlik kaybı risk puanı}) \times 100 / b \text{ güvenilirlik kaybı risk puanı limiti})$, $R_g = ((\text{güvenilirlik kaybı risk puanı limiti} - \text{en düşük güvenilirlik kaybı risk puanı}) \times 100 / \text{güvenilirlik kaybı risk puanı limiti})$ şeklinde normalize edilir. Güvenilirlik kaybı risk puanı limiti firma tarafından 10 olarak belirlendiğine göre katsayılar ve eşitliğin sağ tarafı;

$$r_{g1} = ((10 - 7,40) \times 100 / 10) = 26,0$$

$$r_{g2} = ((10 - 5,73) \times 100 / 10) = 42,7$$

$$r_{g3} = ((10 - 7,04) \times 100 / 10) = 29,6$$

$$r_{g4} = ((10 - 7,04) \times 100 / 10) = 29,6$$

$$r_{g5} = ((10 - 7,52) \times 100 / 10) = 24,8$$

$$r_{g6} = ((10 - 6,84) \times 100 / 10) = 31,6$$

$$r_{g7} = ((10 - 7,04) \times 100 / 10) = 29,6$$

$$R_g = ((10 - 5,73) \times 100 / 10) = 42,7 \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Yük hasar riski kısıtına ait eşitlikte r_{hj} yük hasar riski katsayısıdır ve bu kısıt denklemi R_h 'ye eşittir.

$r_{hj} = ((\text{yük hasar riski puanı limiti} - j \text{ rotası yük hasar riski puanı}) \times 100 / \text{yük hasar riski puanı limiti})$, $R_h = ((\text{yük hasar riski puanı limiti} - \text{en düşük yük hasar riski puanı}) \times 100 / \text{yük hasar riski puanı limiti})$ şeklinde normalize edilir. Yük hasar riski puanı limiti firma tarafından 10 olarak belirlendiğine göre katsayılar ve eşitliğin sağ tarafı;

$$r_{h1} = ((10 - 7,85) \times 100 / 10) = 21,5$$

$$r_{h2} = ((10 - 6,36) \times 100 / 10) = 36,4$$

$$r_{h3} = ((10 - 6,47) \times 100 / 10) = 35,3$$

$$r_{h4} = ((10 - 6,47) \times 100 / 10) = 35,3$$

$$r_{h5} = ((10 - 6,47) \times 100 / 10) = 35,3$$

$$r_{h6} = ((10 - 6,47) \times 100 / 10) = 35,3$$

$$r_{h7} = ((10 - 6,47) \times 100 / 10) = 35,3$$

$$R_h = ((10 - 6,36) \times 100 / 10) = 36,4 \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Bürokratik riskler kısıtına ait eşitlikte r_{bj} bürokratik riskler katsayısıdır ve bu kısıt denklemi R_b 'ye eşittir.

$r_{bj} = ((\text{bürokratik risk puanı limiti} - j \text{ rotası bürokratik risk puanı}) \times 100 / \text{bürokratik risk puanı limiti})$, $R_b = ((\text{bürokratik risk puanı limiti} - \text{en bürokratik risk puanı}) \times 100 / \text{bürokratik risk puanı limiti})$ şeklinde normalize edilir. Bürokratik risk puanı limiti firma tarafından 10 olarak belirlendiğine göre katsayılar ve eşitliğin sağ tarafı;

$$r_{b1} = ((10 - 4,56) \times 100 / 10) = 54,4$$

$$r_{b2} = ((10 - 3,38) \times 100 / 10) = 66,2$$

$$r_{b3} = ((10 - 3,46) \times 100 / 10) = 65,4$$

$$r_{b4} = ((10 - 3,46) \times 100 / 10) = 65,4$$

$$r_{b5} = ((10 - 3,46) \times 100 / 10) = 65,4$$

$$r_{b6} = ((10 - 3,46) \times 100 / 10) = 65,4$$

$$r_{b7} = ((10 - 3,46) \times 100 / 10) = 65,4$$

$$R_b = ((10 - 3,38) \times 100 / 10) = 66,2 \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Kısıtlarda olduğu gibi amaç fonksiyonu da para birimi, gün, risk puanı, ton gibi farklı birimler içerdiği için normalizasyon işlemi gerektirir. Amaç fonksiyonunda her bir kritere ait önem ağırlığı kendi hedef değerine bölünerek normalize edilir ve d_i^- , d_i^+ sapma değerlerini minimize etmeye çalışan amaç fonksiyonu da IBM CPLEX 12.8.0 programında veri girişi için hazır hale getirilmiştir. Çiğli-Lodz merkezleri arası ekonomik rota tespiti için oluşturulan model yedi aşamalı olarak IBM CPLEX 12.8.0 Optimization programına girilmiş şekilde EK-4'de sunulmuştur.

4.5.9.3.2 Çiğli-Lodz Ekonomik Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü. Ekonomik optimal rota araştırması kapsamında ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler olmak üzere beş adet göstergenin önem düzeyine göre ve firmanın ulaştırma ile ilgili hedeflerine göre, rotaların belirtilen göstergeler ile ilgili performansları da göz önüne alınarak Çiğli-Lodz merkezleri arasında yedi adet rota değerlendirilmiş ve optimal rota sıralaması gerçekleştirilmiştir. Optimal rota

sıralaması yapılırken en iyi rota bulunduktan sonraki aşamada, bulunan optimal rota değerlendirme dışı tutularak, kalan rotalar arasından tekrar optimal rota seçilmiştir. Bu işleme tek bir rota kalana kadar devam edilmiştir. Yapılan optimizasyon işleminde ekonomik rota tespiti ile ilgili her bir optimizasyon aşamasının IBM CPLEX 12.8.0 sonuç çıktıları EK-5’de sunulmuştur. Optimizasyon işlemi sonucunda $X_j=1$ sonucu elde edilen rota alternatifler arasında optimal olarak seçilmiştir. Buna göre firmanın Çiğli-Lodz sevkleri kapsamında ekonomik ulaştırma göstergelerinin firma için önem düzeyi ve firmanın bu koridordaki hedefleri göz önüne alınarak optimal rota sıralaması tablo 4.32’de gösterilmiştir.



Tablo 4.32 Ekonomik olarak optimal rota sıralaması

Rota	Ulaştırma Büt.- Maliyet (Euro)	Transit Süre (Gün)	Güv.Kayıbı Riski	Yük H.Riski	Bür. Risk	Toplam Sapma
Hedef	2.200	15	10	10	10	
Ağırlık	0,39	0,22	0,22	0,13	0,04	
Rota 6: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.345	25	6,84	6,47	3,46	0,1938
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.600	24	7,04	6,47	3,46	0,3063
Rota 3: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.858	25	7,04	6,47	3,46	0,4378
Rota 4: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	2.116	33	7,04	6,47	3,46	0,6614
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	2.397	28	7,52	6,47	3,46	0,6646
Rota 2: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	2.748	13	5,73	6,36	3,38	0,7468
Rota 1 : Çiğli (KY)- Lodz	2.950	8	7,40	7,85	4,56	0,9736

Tablo 4.32'ye göre hedef değerlerden en düşük sapmayı gerçekleştiren rota 6 numaralı Rotterdam ve Gdynia limanları aktarmalı çoklu taşıma rotasıdır. 6 numaralı rotanın optimal olarak seçiminden sonra bu rota dışarıda bırakılarak, yapılan ikinci optimizasyon aşamasında hedef değerlerden en düşük sapmayı 7 numaralı Aliağa çıkışlı, Bremerhaven ve Gdynia aktarmalı çoklu taşıma rotası göstermiştir. Bu durumda; ekonomik olarak ikinci optimal rota 7 numaralı rotadır. Tek alternatifin yer aldığı yedinci aşamada sapma değeri beklendiği gibi en yüksek değer olarak elde edilmiştir.

Firmanın ulaştırma bütçesi-maliyet göstergesine yüksek önem vermesi maliyeti en düşük olan rotayı optimal rota olarak belirlemiştir. Denizyolu tercihlerinde genel olarak maliyetin düşük olduğu, karayolu tercih edildiği zaman veya denizyolu alternatifine demiryolu taşıma türü eklendiği zaman maliyetin arttığı görülmektedir.

Transit süreler bakıldığında yoğun denizyolu kullanılan rotalarda transit süre artmaktadır. Denizyolunda transit sürelerin uzama sebebi aktarma limanlarındaki aktarma ve bekleme süreleridir. Unimodal rotalarda aktarma ve bekleme süreleri olmayacağı ve özellikle karayolu taşıma türünün hız avantajından yararlanılabildiği için transit sürenin diğer alternatiflere göre çok düşük olduğu 1 numaralı Çiğli-Lodz Unimodal Rotası'nda görülmektedir. 4 ve 5 numaralı rotalar karşılaştırıldığında; yöneticiler için transit süre göstergesinin önem ağırlığının maliyet göstergesine göre daha düşük olması, transit süre avantajı olan 5 numaralı Bremerhaven ve Poznan aktarmalı demiryolu kullanan çoklu taşıma rotasının, maliyetinin yüksek olması sebebi ile 4 numaralı Bremerhaven ve Gdansk aktarmalı çoklu taşıma rotasına göre alt sırada kaldığı görülmektedir. 5 numaralı Bremerhaven ve Poznan aktarmalı çoklu taşıma rotasının maliyetinde yaratılabilecek bir iyileşme bu rotayı ekonomiklik sıralamasında üst sıralara çıkarabilecektir.

Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği açısından güvenilirlik kaybı risk puanları incelendiğinde; 6 numaralı Rotterdam ve Gdynia Aktarmalı Çoklu Taşıma Rotası en güvenilir rota iken, 1 numaralı Unimodal Çiğli-Lodz Rotası güvenilirliği en düşük rotadır. Karayolu taşıma türü esneklik ve hız avantajı ile daha güvenilir olması

beklenirken firmanın yaşadığı erken teslimat sorunlarının bu çalışmada 1 numaralı Unimodal Rota'nın, güvenilirliği düşürdüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan aktarma sayısı arttıkça beklemelerden ötürü ulaştırma hizmetinin güvenilirliğinin düşmesi beklenir. Bu durum rota 7, rota 4 ve rota 3'de görülmektedir. Fakat 6 numaralı rotada Avrupa yükleri için aktarma merkezi olan ve hizmet performansı yüksek olan Rotterdam Limanı'nın kullanılması, ulaştırma hizmetinin güvenilirliğini bu rota için arttırmıştır. 2 numaralı Trieste aktarmalı rotanın da bir adet demiryolu aktarması içermesine rağmen güvenilirliği yüksektir. Bu rotada yüksek güvenilirlik ortaya çıkmasının sebebi; Trieste Limanı'ndan Avrupa'ya yük taşıma hizmetlerinin denizyolu-demiryolu-karayolu entegrasyonun çok iyi gerçekleştirilmesi sonucu bu koridordaki hizmet sağlayıcıların performansının yüksek olması olduğu söylenebilir.

Yük hasar riski ve bürokratik riskler açısından 1 numaralı karayolu alternatifi hariç tüm rotalar aynı seviyededir. 1 numaralı karayolu alternatifinde yük kasar riski, kaza olasılığının yüksekliği sebebi ile beklendiği gibi yüksek seviyededir. Bürokratik risklerin aynı seviyelerde olup 1 numaralı Unimodal Rota'da yüksek çıkmasının sebebi rota üzerinde bulunan Bulgaristan ve Macaristan'ın kendi lojistik sektörünü canlandırmak amacı ile Türkiye'den hareket eden tırlara geçiş izni vermemesi olarak tespit edilmiştir.

4.5.9.3.3 Çiğli-Lodz Ekonomik-Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli. Ekonomik ve çevresel olarak optimal rota tespiti için ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler olarak belirlenen göstergelere, çevresel boyut kapsamında bir gösterge olarak emisyon miktarı eklenmiş, göstergeler ile ilgili rota performans değerlendirmeleri, gösterge önem düzeyleri ve ilgili firma hedefleri göz önüne alınarak, ekonomik ve çevresel optimal rota tespiti için hedef programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \text{Min}Z = & 0,35(d_1^- + d_1^+) + 0,20(d_2^- + d_2^+) + 0,20(d_3^- + d_3^+) + 0,12 + (d_4^- + d_4^+) \\ & + 0,04(d_5^- + d_5^+) + 0,09(d_6^- + d_6^+) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet:

$$-34,1X_1 - 24,9X_2 + 15,5X_3 + 3,8X_4 - 9X_5 + 38,9X_6 + 27,3X_7 + d_1^- - d_1^+ = 38,9 \quad (4.11)$$

Transit süre:

$$53,3X_1 + 86,7X_2 + 166,7X_3 + 220X_4 + 186,7X_5 + 166,7X_6 + 160X_7 + d_2^- - d_2^+ = 100 \quad (4.12)$$

Güvenilirlik kaybı riski:

$$26X_1 + 42,7X_2 + 29,6X_3 + 29,6X_4 + 24,8X_5 + 31,6X_6 + 29,6X_7 + d_3^- - d_3^+ = 42,7 \quad (4.13)$$

Yük hasar riski:

$$21,5X_1 + 36,4X_2 + 35,3X_3 + 35,3X_4 + 35,3X_5 + 35,3X_6 + 35,3X_7 + d_4^- - d_4^+ = 36,4 \quad (4.14)$$

Bürokratik riskler:

$$54,4X_1 + 66,2X_2 + 65,4X_3 + 65,4X_4 + 65,4X_5 + 65,4X_6 + 65,4X_7 + d_5^- - d_5^+ = 66,2 \quad (4.15)$$

Emisyon miktarı:

$$-34,3X_1 + 47,9X_2 + 12,3X_3 + 12,7X_4 + 14,7X_5 + 13,7X_6 + 11,7X_7 + d_6^- - d_6^+ = 47,9 \quad (4.16)$$

Sadece bir optimal çözüm varlığı:

$$-X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1 \quad (\text{Toplam 7 rota}) \quad (4.17)$$

Pozitiflik koşulları:

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1, 2, \dots, 6) \quad (4.18)$$

Tam sayı koşulu:

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1,2,\dots,7) \quad (4.19)$$

Ekonomik modelde beş adet ekonomiklik göstergesi için normalizasyon işlemi uygulandığı için ekonomik rota tespiti modelinde kullanılan katsayılara ek olarak, bu aşamada sadece emisyon miktarı göstergesi için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Emisyon miktarı eşitliğinde e_j, X_j emisyon miktarı katsayısıdır ve E limit emisyon miktarı değeridir.

$e_1X_1+e_2X_2+\dots+e_nX_n \leq E$ ve $e_j = ((\text{Emisyon miktarı limit değeri}-j \text{ rotası emisyon miktarı}) \times 100 / \text{Emisyon miktarı limit değeri})$ olmak üzere;

$E = ((\text{Emisyon miktarı limit değeri} - \text{en düşük emisyon miktarı}) \times 100 / \text{emisyon miktarı limit değeri})$ şeklinde normalize edilir. Tablo 4.31' e göre emisyon miktarı limit değeri 3 ton olarak belirlenmiş idi. Bu durumda;

$$e_1 = ((3,00 - 4,03) \times 100 / 3,00) = -34,3$$

$$e_2 = ((3,00 - 1,56) \times 100 / 3,00) = 47,9$$

$$e_3 = ((3,00 - 2,63) \times 100 / 3,00) = 12,3$$

$$e_4 = ((3,00 - 2,62) \times 100 / 3,00) = 12,7$$

$$e_5 = ((3,00 - 2,56) \times 100 / 3,00) = 14,7$$

$$e_6 = ((3,00 - 2,59) \times 100 / 3,00) = 13,7$$

$$e_7 = ((3,00 - 2,65) \times 100 / 3,00) = 11,7$$

$$E = ((3,00 - 1,56) \times 100 / 3,00) = 47,9 \text{ şeklinde normalize edilmiştir.}$$

Amaç fonksiyonu için de normalizasyon işlemi uygulanarak, Çiğli-Lodz merkezleri arası ekonomik ve çevresel rota tespiti için oluşturulan model yedi aşamalı olarak IBM CPLEX 12.8.0 programına girilmiş şekilde EK-4'de sunulmuştur.

4.5.9.3.4 *Çiğli-Lodz Ekonomik-Çevresel Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü.* Ekonomik-çevresel optimal rota araştırması kapsamında ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski bürokratik riskler göstergelerine ek olarak emisyon miktarı göstergesi de eklenerek altı adet göstergenin önem düzeyine ve firmanın ulaştırma ile ilgili hedeflerine göre, rotaların belirtilen göstergeler ile ilgili performansları göz önüne alınarak, Çiğli-Lodz merkezleri arasında yedi adet rotanın optimal rota sıralaması gerçekleştirilmiştir. Optimal rota sıralaması yapılırken en iyi rota bulunduğundan sonra, bulunan optimal rota değerlendirme dışı tutularak kalan rotalar arasından tekrar optimal rota seçilmiştir. Bu işleme tek bir rota kalana kadar devam edilmiştir. Yapılan optimizasyon işleminde ekonomik-çevresel rota tespiti ile ilgili her bir optimizasyon aşamasının IBM CPLEX 12.8.0 sonuç çıktıları EK-5’de sunulmuştur. Optimizasyon işlemi sonucunda $X_j=1$ sonucu elde edilen rota, alternatifler arasında optimal olarak seçilmiştir. Buna göre firmanın Çiğli-Lodz sevkleri kapsamında; ekonomik-çevresel kapsamındaki ulaştırma göstergelerinin firma için önem düzeyi ve firmanın bu koridordaki hedefleri göz önüne alınarak optimal rota sıralaması tablo 4.33’de gösterilmiştir.

Tablo 4.33 Ekonomik-çevresel olarak optimal rota sıralaması

Rota	Ulaştır- ma Büt.- Maliyet (Euro)	Transit Süre (Gün)	Güv.Kaybı Riski	Yük H.Riski	Bür. Risk	Emisyon Mik.(ton)	Toplam Sapma
Hedef	2.200	15	10	10	10	3,00	
Ağırlık	0,35	0,20	0,20	0,12	0,04	0,09	
Rota 6: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.345	25	6,84	6,47	3,46	2,59	0,2500
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.600	24	7,04	6,47	3,46	2,65	0,3660
Rota 3: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.858	25	7,04	6,47	3,46	2,63	0,4844
Rota 2: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	2.748	13	5,73	6,36	3,38	1,56	0,6008
Rota 4: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	2.116	33	7,04	6,47	3,46	2,62	0,6955
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	2.397	28	7,52	6,47	3,46	2,56	0,7641
Rota 1: Çiğli (KY)- Lodz	2.950	8	7,40	7,85	4,56	4,03	1,0501

Yeni bir gösterge olarak emisyon miktarının eklenmesi optimallik sıralamasında en iyi ve en kötü rotaların yerini değiştirmemiştir. Fakat, yine optimal rota olarak belirlenen 6 numaralı Rotterdam-Gdynia Aktarmalı Çoklu Taşıma Rotası'nın çevresel performansının çok iyi olmadığı gözükmetedir. Bu rotanın optimal olarak belirlenmesinin sebebi yine maliyet göstergesinin firma için yüksek önem derecesinin belirleyiciliğidir. Tamamı ile karayolunun kullanıldığı 1 numaralı Çiğli-Lodz Unimodal Rotası hedef değerlerden en yüksek sapma oranına sahiptir. Bu rota transit süre harici tüm karşılaştırmalarda düşük performansa sahiptir. 1 numaralı rotada firma hedefinin ve diğer rota değerlerinin üzerinde emisyon salımı mevcuttur.

Sıralamada dikkat çeken noktalardan bir tanesi çevresel performans olarak en iyi rota gözükken 2 numaralı Trieste Aktarmalı Çoklu Taşıma Rotası'nın ekonomik optimizasyon sıralamasına göre iki sıra yükselmesidir. Bu rota yüksek maliyetli olmasına rağmen çevresel etkisinin oldukça düşük ve ekonomik risk değerlerinin de diğer rotaların altında olması sayesinde ekonomik ve çevresel olarak optimal rota sıralamasında ekonomik sıralamaya göre iki basamak yükselmiştir. 4 numaralı Bremerhaven-Gdansk Aktarmalı ve 5 numaralı Bremerhaven-Poznan Aktarmalı çoklu taşıma rotalarını karşılaştırdığımızda; 5 numaralı rota çevresel performans ve transit süre açısından 4 numaralı rotadan üstün olmasına rağmen, 4 numaralı rotanın maliyet avantajı, iki rota arasındaki üstünlük sıralamasının ekonomik optimizasyon sıralamasındaki sıralamaya göre değişmesine izin vermemiştir.

4.5.9.3.5 iğli-Lodz Ekonomik-Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli. Ekonomik, çevresel ve sosyal olarak, diğer bir deyişle sürdürülebilir olarak optimal rota tespiti için ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler, emisyon miktarı göstergelerine sosyal boyut kapsamında güvenlik ve emniyet göstergeleri eklenmiş, göstergeler ile ilgili rota performans değerlendirmeleri, önem düzeyleri ve ilgili firma hedefleri göz önüne alınarak, sürdürülebilir optimal rota tespiti için hedef programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = 0,30(d_1^- + d_1^+) + 0,17(d_2^- + d_2^+) + 0,17(d_3^- + d_3^+) + 0,10 + (d_4^- + d_4^+) + 0,04 \\ + (d_5^- + d_5^+) + 0,08(d_6^- + d_6^+) + 0,08(d_6^- + d_6^+) + 0,06(d_6^- + d_6^+) \quad (4.20)$$

Kısıtlar:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet:

$$-34,1X_1 - 24,9X_2 + 15,5X_3 + 3,8X_4 - 9X_5 + 38,9X_6 + 27,3X_7 + d_1^- - d_1^+ = 38,9 \quad (4.21)$$

Transit süre:

$$53,3X_1 + 86,7X_2 + 166,7X_3 + 220X_4 + 186,7X_5 + 166,7X_6 + 160X_7 + d_2^- - d_2^+ = 100 \quad (4.22)$$

Güvenilirlik kaybı riski:

$$26X_1 + 42,7X_2 + 29,6X_3 + 29,6X_4 + 24,8X_5 + 31,6X_6 + 29,6X_7 + d_3^- - d_3^+ = 42,7 \quad (4.23)$$

Yük hasar riski:

$$21,5X_1 + 36,4X_2 + 35,3X_3 + 35,3X_4 + 35,3X_5 + 35,3X_6 + 35,3X_7 + d_4^- - d_4^+ = 36,4 \quad (4.24)$$

Bürokratik riskler:

$$54,4X_1 + 66,2X_2 + 65,4X_3 + 65,4X_4 + 65,4X_5 + 65,4X_6 + 65,4X_7 + d_5^- - d_5^+ = 66,2 \quad (4.25)$$

Emisyon miktarı

$$-34,3X_1 + 47,9X_2 + 12,3X_3 + 12,7X_4 + 14,7X_5 + 13,7X_6 + 11,7X_7 + d_6^- - d_6^+ = 47,9 \quad (4.26)$$

Güvenlik:

$$-67,1X_1 + 36,1X_2 + 57,6X_3 + 58,3X_4 + 64,7X_5 + 57,6X_6 + 57,0X_7 + d_7^- - d_7^+ = 64,7 \quad (4.27)$$

Emniyet:

$$62,5X_1 + 67,5X_2 + 85,0X_3 + 85,0X_4 + 84,1X_5 + 85,0X_6 + 85,0X_7 + d_8^- - d_8^+ = 85,0 \quad (4.28)$$

Sadece bir optimal çözüm varlığı:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1 \text{ (Toplam 7 rota)} \quad (4.29)$$

Pozitiflik koşulları

$$w_i, d_i^+ \geq 0: (i=1, 2, \dots, 8) \quad (4.30)$$

Tam sayı koşulu

$$X_j = 0 \text{ veya } X_j = 1 \quad (j=1, 2, \dots, 7) \quad (4.31)$$

Ekonomik-çevresel modelde altı adet gösterge için normalizasyon işlemi uygulandığı için ekonomik-çevresel rota tespiti modelinde kullanılan katsayılara ek olarak bu aşamada güvenlik ve emniyet göstergeleri için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Güvenlik risk puanı eşitliğinde; g_j, X_j güvenlik risk puanı katsayısıdır ve G üst limit risk değeridir.

$g_1 X_1 + g_2 X_2 + \dots + g_n X_n \leq G$ ve $g_j = ((\text{güvenlik risk puanı limit değeri} - j \text{ rotası güvenlik risk puanı}) \times 100 / \text{güvenlik risk puanı limit değeri})$ olmak üzere; $G = ((\text{güvenlik risk puanı limit değeri} - \text{en düşük güvenlik risk puanı limit değeri}) \times 100 / \text{güvenlik risk puanı limit değeri})$ şeklinde normalize edilir.

Tablo 4.31' e göre güvenlik risk limit değeri 4 olarak belirlenmiş idi. Bu durumda;

$$g_1 = ((4,00 - 6,69) \times 100 / 4,00) = -67,1$$

$$g_2 = ((4,00 - 2,55) \times 100 / 4,00) = 36,1$$

$$g_3 = ((4,00 - 1,70) \times 100 / 4,00) = 57,6$$

$$g_4 = ((4,00 - 1,67) \times 100 / 4,00) = 58,3$$

$$g_5 = ((4,00 - 1,41) \times 100 / 4,00) = 64,7$$

$$g_6 = ((4,00 - 1,70) \times 100 / 4,00) = 57,6$$

$$g_7 = ((4,00 - 1,72) \times 100 / 4,00) = 57,0$$

$G = ((4,00 - 1,41) \times 100 / 4,00) = 64,7$ şeklinde normalize edilmiştir.

Emniyet risk puanı eşitliğinde s_j, X_j emniyet risk puanı katsayısıdır ve S üst limit risk değeridir.

$s_1X_1 + s_2X_2 + \dots + s_nX_n \leq S$ ve $s_j = ((\text{emniyet risk puanı limit değeri} - j \text{ rotası emniyet risk puanı}) \times 100 / \text{emniyet risk puanı limit değeri})$ olmak üzere; $S = ((\text{emniyet risk puanı limit değeri} - \text{en düşük emniyet risk puanı limit değeri}) \times 100 / \text{emniyet risk puanı limit değeri})$ şeklinde normalize edilir.

Tablo 4.31' e göre emniyet risk limit değeri 4 olarak belirlenmiş idi. Bu durumda;

$$s_1 = ((4,00 - 1,50) \times 100 / 4,00) = 62,5$$

$$s_2 = ((4,00 - 1,30) \times 100 / 4,00) = 67,5$$

$$s_3 = ((4,00 - 0,60) \times 100 / 4,00) = 85,0$$

$$s_4 = ((4,00 - 0,60) \times 100 / 4,00) = 85,0$$

$$s_5 = ((4,00 - 0,63) \times 100 / 4,00) = 84,1$$

$$s_6 = ((4,00 - 0,60) \times 100 / 4,00) = 85,0$$

$$s_7 = ((4,00 - 0,60) \times 100 / 4,00) = 85,0$$

$S = ((4,00 - 0,60) \times 100 / 4,00) = 85,0$ şeklinde normalize edilmiş olur.

Amaç fonksiyonu için de normalizasyon işlemi uygulanarak, Çiğli-Lodz merkezleri arası sürdürülebilir rota tespiti için oluşturulan model yedi aşamalı olarak IBM CPLEX 12.8.0 programına girilmiş şekilde EK-4'de sunulmuştur.

4.5.9.3.6 Çiğli-Lodz Ekonomik Çevresel-Sosyal (Sürdürülebilir) Olarak Optimal Rota Tespiti için 0-1 Hedef Programlama Modeli Çözümü. Ekonomik-çevresel-sosyal optimal rota değerlendirmesi kapsamında ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski bürokratik riskler, emisyon miktarı göstergelerine güvenlik ve emniyet göstergeleri de eklenerek sekiz adet göstergenin önem düzeyine göre ve firmanın ulaştırma ile ilgili hedeflerine göre, rotaların belirtilen göstergeler dahilinde performansları da göz önüne alınarak, Çiğli-Lodz merkezleri

arasında yedi adet rota değerlendirilmiş ve optimal rota sıralaması gerçekleştirilmiştir. Optimal rota sıralaması yapılırken en iyi rota bulunduğundan sonra, bulunan optimal rota değerlendirme dışı tutularak, kalan rotalar arasından tekrar optimal rota seçilmiştir. Bu işleme tek bir rota kalana kadar devam edilmiştir. Yapılan optimizasyon işleminde ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti ile ilgili her bir optimizasyon aşamasının IBM CPLEX 12.8.0 sonuç çıktıları EK-5’de sunulmuştur. Optimizasyon işlemi sonucunda $X_j=1$ sonucu elde edilen rota alternatifler arasında optimal olarak seçilmiştir. Buna göre firmanın Çiğli-Lodz sevkleri kapsamında sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin firma için önem düzeyi ve firmanın bu koridordaki hedefleri göz önüne alınarak, optimal rota sıralaması tablo 4.34’de gösterilmiştir.



Tablo 4.34 Ekonomik-çevresel-sosyal (sürdürülebilir) olarak optimal rota sıralaması

Rota	Ulaştırma Büt.- Maliyet (Euro)	Transit Süre (Gün)	Güv.Kayıbı Riski	Yük H.Riski	Bür. Risk	Emisyon Sal. Mik. (ton)	Güvenlik Risk P.	Emniyet Risk P.	Toplam Sapma
Hedef	2.200	15	10	10	10	3,00	4,00	4,00	
Ağırlık	0,30	0,17	0,17	0,10	0,04	0,08	0,08	0,06	
Rota 6: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Rotterdam (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.345	25	6,84	6,47	3,46	2,59	1,70	0,60	0,2267
Rota 7: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.600	24	7,04	6,47	3,46	2,65	1,72	0,60	0,3168
Rota 3: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Hamburg (DY)- Gdynia (KY)- Lodz	1.858	25	7,04	6,47	3,46	2,63	1,70	0,60	0,4173
Rota 2: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Trieste (DEY)- Ostrava (KY)- Lodz	2.748	13	5,73	6,36	3,38	1,56	2,55	1,29	0,5613
Rota 4: Çiğli (KY)- İzmir (DY)- Bremerhaven (DY)- Gdansk (KY)- Lodz	2.116	33	7,04	6,47	3,46	2,62	1,67	0,60	0,5964
Rota 5: Çiğli (KY)- Aliğa (DY)- Bremerhaven (DEY)- Poznan (KY)- Lodz	2.397	28	7,52	6,47	3,46	2,56	1,41	0,63	0,6470
Rota 1: Çiğli (KY)- Lodz	2.950	8	7,40	7,85	4,56	4,03	6,69	1,49	1,0698

Ekonomik-çevresel rota optimizasyonunda kullanılan göstergelere güvenlik ve emniyet olarak iki adet sosyal boyut kapsamında gösterge eklendiğinde gerçekleştirilen sürdürülebilir rota optimizasyonundaki optimal rota sıralamasında ve ekonomik-çevresel rota optimizasyonundaki sonuçlar arasında bir farklılık saptanmamıştır. Sürdürülebilir rota olarak 6 numaralı Rotterdam-Gdynia Aktarmalı Rota optimal iken, performansı en düşük rota Çiğli-Lodz Unimodal Rotası'dır. Optimal rota olarak belirlenen 6 numaralı rota, güvenlik risk puanı olarak limit değerin oldukça altında ve emniyet risk puanı olarak da en düşük risk seviyesindedir. 1 numaralı rota ise hem güvenlik hem emniyet açısından en riskli seviyededir. Bu rotanın güvenlik ve emniyet açısından riskli olmasının sebebi karayolu kullanımındır. Güvenlik ve emniyet açısından risk seviyesi yüksek olan bir diğer rota 2 numaralı Trieste Aktarmalı Rota'dır. Bu rotada da demiryolu aktarması sonrası karayolunun payının yüksek olması, rotanın göç rotası üzerinde bulunması sebebi ile güvenlik ve emniyet risk seviyeleri yüksek çıkmıştır. Fakat bu durum, güvenlik ve emniyet göstergelerinin önem düzeyinin düşük olması ve firmanın bu konudaki limit değerlerinin yüksek olması sebebi ile optimal rota sıralamasını etkilememiştir. Sonuç olarak; ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ekonomik riskler, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet göstergelerinin firma açısından önem düzeyi, firmanın ulaştırma ile ilgili hedefleri göz önüne alındığında, bu göstergeler ile rota performanslarının değerlendirilmesi sonucu; 6 numaralı Rotterdam-Gdynia Aktarmalı Rota sürdürülebilir ve kullanılması önerilen rotadır.

4.6 Sonuç

Çalışmanın bu aşamasında önerilen KDS Türkiye-Avrupa arasında kullanılan bir ulaştırma koridorunda gerçek veriler ile uygulanmıştır. Önerilen KDS Türkiye'den Polonya'ya ihracat yapan bir firmanın taşıma koridorlarında uygulanarak, iki merkez arasında sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyi ve ulaştırma hedefleri göz önüne alınarak sürdürülebilir rotalar tespit edilmiştir.

Tedarik zincirinin son aşaması olan ulaştırma sürecinde müşteri tarafından talep edilen ürünün istenilen zamanda kapısına ulaşması, tedarikçi tarafından arzulanana ise;

ulaştırma sürecinin fiyat ve hizmet kalitesi açısından en verimli şekilde tamamlanmasıdır. Çoklu taşımacılık her bir taşıma türünün avantajlı yönlerini kullanarak ve bu taşıma türlerini birbirleri ile entegre ederek, mümkün olan en kısa sürede, düşük maliyetli, hizmet kalitesi yüksek bir ulaştırma süreci hedefler. Çoklu taşımada bahsedilen iki önemli kriter maliyet ve transit süre iken, sürdürülebilirlik kavramına ulaştırma alanında daha sık başvurulması ile birlikte müşteri ve tedarikçinin çoklu ulaştırma süreci beklentilerinin güncellenmesi gerekmiştir. Bu sebeple araştırmada ilk olarak sürdürülebilir çoklu ulaştırma hedefine ulaşabilmek için gerekli göstergeler uzman görüşleri ile tespit edilmiştir.

Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin tespiti sonrası bu göstergelerin firma ulaştırma yöneticileri açısından önem düzeyini tespit edebilmek amacı ile çok kriterli bir karar verme yöntemi olarak, BWM (Best-Worst-Method) uygulanmıştır. Kriterlerin Göstergelerin önem düzeyinin yanında bu göstergeler ile ilgili firma hedefleri ve kısıtları da firma yöneticileri tarafından belirlenerek, optimizasyon aşaması için temel girdiler elde edilmiştir.

Optimizasyon aşaması için gerekli diğer veri; rota araştırması, maliyet-transit süre analizi, ekonomik risk analizi, emisyon analizi, güvenlik ve emniyet analizi aşamalarında elde edilmiştir. İlgili koridorda mevcut ve alternatif çoklu taşıma rotaları belirlenmiş, bu rotalarla ilgili ilk olarak, maliyet ve transit süreler firma görüşmeleri, piyasa araştırması ve Ships Go (2019) arayüzü ile elde edilmiştir. Risk Analiz aşamasında, firma yöneticileri ile yapılan görüşmeler dahilinde belirlenen rotaların güvenilirlik kaybı riski, yük hasar riski ve bürokratik riskler açısından analizleri yapılmıştır. EcoTransit emisyon miktarı hesaplama aracı ile her bir rotanın her bir taşıma ayağında gerçekleştirdiği enerji tüketimi ve ortaya çıkan emisyon miktarı elde edilmiştir. Güvenlik göstergesi kapsamında karayolu güvenliği dikkate alınmış olup, Avrupa'da ticari yük taşıma amaçlı kullanılan ağır taşıtların karıştığı ölümlü kaza istatistikleri analiz edilerek her bir ülke için bir risk puanı oluşturulmuş, rotaların geçtiği ülkelerin risk puanları dikkate alınarak, her bir rota için bir güvenlik seviyesi belirlenmiştir. Emniyet göstergesi olarak Avrupa Ülkeleri'ne yasal olmayan giriş

vakaları analiz edilmiş, vaka sayıları ve Avrupa Göç Haritası dikkate alınarak her bir rotanın yasal olmayan geçiş risk düzeyi ortaya konmuştur.

Son aşamada; tüm kriter değerlendirmeleri, hedefler ve yapılan rota analiz sonuçları kapsamında, bu koridorda en iyi rota sıralaması ardışık optimizasyon işlemleri ile elde edilmiştir. 0-1 Hedef Programlama yöntemi ile gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda; ekonomik olarak, ekonomik-çevresel olarak ve ekonomik-çevresel-sosyal (sürdürülebilir) olarak optimal rota olarak 6 numaralı Rotterdam-Gdynia Aktarmalı Çoklu Taşıma Rotası belirlenmiştir. Diğer bir deyişle; firma yöneticilerinin sürdürülebilirlik göstergelerine verdiği önem düzeyi, firmanın ulaştırma hedefleri göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılırsa optimal rota olarak 6 numaralı rota seçilir.

Önerilen KDS farklı koridorlarda çalışan, farklı firmaların karar verme aşamasında esneklik sağlamaktadır. KDS'ye başvuracak ulaştırma yöneticisi gösterge ağırlıklarını, firma hedeflerini ve yükün çıkış ve hedef noktalarını kendisi belirleyebilir. Diğer taraftan; göstergeler arasında gruplandırma yaparak, ekonomik rota sonucu, ekonomik-çevresel rota sonucu veya ekonomik-çevresel-sosyal (sürdürülebilir) olarak optimal rota sonucunu elde edebilir.

BÖLÜM BEŞ SONUÇLAR

Çoklu taşıma, günümüzde ulaşımın çevreye ve sosyal hayata olumsuz etkilerini azaltmak, ekonomik açıdan verimliliği sağlamak, sosyal refahı arttırmak için alternatif bir taşıma sistemidir. Çoklu taşıma ulaştırmasının en büyük avantajı; taşıma türlerini ekonomik olarak verimli kullanma amacı ile sürdürülebilirlik temelinde tasarlanmış olmasıdır. Her ne kadar çoklu taşıma ilk ortaya atıldığı zaman, ekonomik verimliliği sağlamak amaçlı tasarlansa da; son yıllarda ulaştırmanın çevresel etkilerinin azaltılması odağında da çoklu taşıma sistemleri tasarlanmaktadır. Diğer taraftan, her ekonomik aktivitenin olduğu gibi; çoklu taşımanın da sosyal yönden bölgesel istihdama katkı gibi olumlu etkilerinin yanında, kaza sonucu yaralanma veya ölüm, sağlık problemleri gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Yük ulaştırmasında taşıma türlerinin dengesiz dağılımı, trafik sıkışıklığı, kazaların olumsuz etkilerinin tespiti sonucu; AB tarafından çoklu taşımacılığı teşvik etmek amacıyla TEN-T ve Marco-Polo başta olmak üzere fazla sayıda proje gerçekleştirilmiştir.

Gelecek nesillerin ulaşım ihtiyacının karşılanmasını engellemeden bugünün ulaşım ihtiyacının karşılanması olarak tanımlanan sürdürülebilir ulaştırmanın amacı; kirliliği, enerji tüketimini, kazaları kontrol altına almak, yaşanabilirliği ve refahı arttırmaktır. Ulaştırmada yük taşımacılığının özel bir türü olan çoklu taşımada da sistem içerisindeki paydaşların ve toplumun faydası açısından sürdürülebilirliğin önemi göz ardı edilemez bir gerçektir.

Çoklu taşımada rota planlaması içeren modellerin çoğu sistem maliyetlerini asgari düzeyde karşılamak ve çevresel etkiyi minimum düzeyde tutmak üzere, ekonomik ve çevresel kısıtlar kullanılarak, taktik ve operasyonel planlama boyutunda tasarlanmıştır. Sürdürülebilirlik kavramının çok boyutlu olması ve ulaştırma sistemlerinin karmaşıklığına uygun olarak, çok kriterli karar verme ve çok amaçlı optimizasyon metodolojileri, sürdürülebilir rota planlaması için entegre birer çözüm yöntemleridir. Amaçların karar verici için önem düzeyini tespit ederek, uygun rota seçmek üzere tasarlandığı modellerde, çok kriterli karar verme yöntemi olarak çoğunlukla AHP

(Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılmış, yeni bir çok kriterli karar verme yöntemi olan BWM (Best-Worst Method)'e başvurulmamıştır. Çok amaçlı bir optimizasyon yöntemi olarak Hedef Programlama; amaçlardan istenmeyen sapmaları en aza indirerek, amaç değerlere ulaşmaya çalışan bir yöntemdir ve rota seçiminde çalışmanın literatür araştırması bulgularında da görüleceği üzere nadiren kullanılmıştır. Çalışmada, karar vericiye amaçların önem düzeyinin tespitindeki esneklik çok kriterli karar verme ile, amaçların hedef değerlerinin belirlenmesindeki esneklik ise hedef programlama ile sağlanmıştır.

Bu çalışma taktik planlama, operasyonel planlama ve politika belirleme kapsamında ve sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde çoklu taşıma koridorlarında yer alan rotaların optimizasyonu ile ilgilidir. Yukarıda bahsedilen gereklilikler ve literatürdeki boşluklar sebebi ile birden çok sürdürülebilir ulaştırma amacını gerçekleştirmek için farklı yöntemler entegre edilmiştir. Çalışmada bu kapsamda; sürdürülebilir çoklu taşıma rotası tespiti için kullanıcıların sürdürülebilirlik göstergeleri için belirlediği önem düzeyi ve ulaştırma sisteminin bütçe, hedef transit süre, en az çevresel etki seviyesi, risk limitleri gibi kısıtlarını da göz önüne alan bir KDS önerilmiştir. Önerilen KDS, çok kriterli karar verme ile gösterge ağırlıklandırma, rota maliyet-transit süre analizi, risk analizi, güvenlik analizi, emniyet analizi, ve optimizasyon aşamalarını içermektedir. Gösterge ağırlıklandırma aşamasında uzman görüşmeleri ile ortaya çıkarılan sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri KDS kullanıcıları tarafından ikili karşılaştırma matrisleri ile ağırlıklandırılır. Gösterge ağırlıklandırma aşamasında kullanılan çok kriterli karar verme yöntemi BWM (Best-Worst Method)'dir. Rota analizi aşamasında yükün çıkış noktası ve varış noktası arasında farklı taşıma türleri içeren mevcut ve alternatif taşıma rotaları belirlenir ve bu rotaların maliyet ve transit süre analizi gerçekleştirilir. Risk analizi aşamasında güvenilirlik kaybı, yük hasar ve bürokratik risklere ait tehlikeler analiz edilir ve her bir rota için ekonomik risklerin puanları elde edilir. Emisyon analizinde rotaların her bir taşıma türünde ortaya çıkan emisyon miktarı hesaplanır. Güvenlik analizinde rota ülkelerinde meydana gelen ve ağır taşıtların karıştığı trafik kazaları, emniyet analizinde rota ülkelerinde meydana gelen araç ile yasal olmayan sınır geçiş

istatistikleri ve Avrupa Göç Rotaları referans alınarak, rotalara ait güvenlik risk puanları ve emniyet risk puanları oluşturulur.

Bu çalışmanın, çoklu taşımanın ekonomik açıdan ortaya koyduğu faydalarının yanında, çevresel ve sosyal etkilerini ortaya koyarak, sürdürülebilir ulaştırma için gerekliliği konusunda farkındalık yaratması beklenmektedir. Yük taşıyanlar, yük taşıyanlar, çoklu taşıma organizatörleri ekonomik, çevresel etkisi düşük ve sosyal anlamda güçlü, sürdürülebilir bir ulaştırma politikası oluşturmak amacı ile önerilen KDS'yi uygulayabilirler.

5.1 Araştırmanın Bilimsel Katkısı

Sonuç olarak; bu çalışma ile ilgili elde edilen özgün bilimsel katkılar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışma nitel ve nicel yöntemlerin entegrasyonu ile bir KDS modelleyerek, çoklu sürdürülebilir ulaştırma rotası tespit etmeye çalışmaktadır. Çalışmadaki her bir alt yöntemde değerlendirilecek değişkenler sürdürülebilir ulaştırma ile ilgili literatür araştırması sonrası uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Kullanılacak değişkenlerin uzman görüşü alınarak belirlenmesinin en temel sebebi; literatürde sürdürülebilir çoklu taşımacılık göstergelerinin sürdürülebilir kent içi yolcu taşımacılığından ayrılmamış olmasıdır. Uzman görüşü ile araştırmanın güvenilirliğinin artırılmasının yanında, elde edilen sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri ile bundan sonra gerçekleştirilecek sürdürülebilir çoklu taşıma araştırmalarına girdi sağlanabilecektir.

- Çalışmada kullanılan ana yöntemler; çok kriterli karar verme yöntemi olarak BWM (Best-Worst Method), çok amaçlı optimizasyon yöntemi olarak 0-1 Hedef Programlama yöntemleridir. Çok kriterli karar verme ve 0-1 Hedef Programlama yöntemleri önceki çalışmalarda nadiren başvurulmuş olsa da sürdürülebilir rota seçimi ile ilgili, yeni bir yöntem olarak BWM (Best-Worst Method) yöntemi ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. (Rezaei, 2015)' e göre; istatistiksel sonuçlar göstermektedir ki; BWM (Best-Worst Method) tutarlılık oranı yüksekliği, toplam sapma oranının

düşük olması açısından bir diğer çok kriterli karar verme yöntemi olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)'den üstündür.

- Çalışmada; çoklu taşımada sürdürülebilirlik kavramı ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların tümü açısından değerlendirilmiştir. Özellikle; sosyal boyutun emniyet göstergesi altında, Avrupa Bölgesi'nde son yıllarda büyük bir problem olan, yasal olmayan göçmen geçişlerinin yük taşıma ile ilişkilendirilerek, rotaların göçmen vakaları ile ilgili risk puanlarının oluşturulması çalışmaya özgünlük katmaktadır.

- Çalışmada ulaştırma rotaları ekonomik riskler açısından analiz edilmiştir. Önerilen KDS tarafından elde edilecek risk sonuçları, karar vericileri risk azaltılması ile ilgili alınacak önlemler konusunda destekleyebilecektir. Risk azaltılması sonucunda; çevresel ve sosyal performansı yüksek rotalar ekonomik anlamda da iyileştirilebilecek ve yeni alternatif rotalar ortaya çıkarılabilecektir. Son yıllarda gündeme gelen tedarik zincirinde risk kavramı çerçevesinde çoklu ulaştırma rotalarının risk açısından da incelenmesi çalışmaya katılan bir diğer özgünlüktür.

- Tedarik zincirinde yük ulaştırması kapsamında en çok karşılaşılan performans göstergesi toplam maliyet ve transit süredir. Yeşil taşıma ve sürdürülebilirlik kavramlarının gelişimi ile, çevresel etki göstergesi olarak emisyon miktarı da rota analizi çalışmalarında sık karşılaşılabilecek hale gelmiştir. Bu çalışmada en sık başvurulan bu üç temel göstergeye ekonomik, çevresel ve sosyal bazı diğer performans göstergeleri eklenerek, çok boyutlu bir değerlendirme ile daha tutarlı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Önerilen KDS içerisinde kullanılan sekiz adet göstergenin eklenip çıkarılabilmesi esnekliği rotaların sadece ekonomik, ekonomik-çevresel ve ekonomik, çevresel ve sosyal olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu esneklik ve dinamik model, çoklu taşıma rota analizi kapsamındaki bu çalışmaya özgünlük katmaktadır.

- Önerilen modelin uygulanabilirliğini araştırmak için İzmir (Türkiye) – Lodz (Polonya) çoklu ulaştırma rotaları arasında bir ürünün taşınması ile ilgili analiz gerçekleştirilmiştir. Bu tez Türkiye-Polonya arasında rotaları inceleyen, çok sayıda

farklı performans göstergeleri ile sürdürülebilirlik kapsamında birden çok analiz içermektedir.

5.2 Gelecek Araştırma Önerileri

Bu tez farklı bakış açıları, farklı yöntemler ile geliştirilmeye açık bir çalışmadır. Bu kapsamda; çalışma ile ilgili gelecekte gerçekleştirilebilecek öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- Önerilen KDS ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, güvenilirlik, yük hasar riski, emisyon miktarı, güvenlik ve emniyet göstergeleri ile kent içi yük ulaştırması alanında veya sosyal göstergeler artırılarak kent içi yolcu ulaştırması alanında uygulanabilir. Bu sayede; ortaya konan gösterge performansı ile kent içi dahili nakliye taşımacılığı firmalarının ulaştırma ile ilgili ekonomik politikalarının, şehir yöneticilerinin ekonomik ve çevresel politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunulabilir.
- Bu çalışmada toplam ulaştırma maliyeti göz önüne alındığından, bu taşıma türleri arası geçiş maliyetleri değerlendirilmiştir. Çoklu taşımada taşıma türü geçişlerinde de maliyetin yanında emisyon da oluşmaktadır. Taşıma türü geçişi sırasında yük elleçleme, yükleme ve boşaltma ekipmanlarının emisyon salımı değerlendirilmediğinden, bu etkenler de göz önüne alınarak çalışma genişletilebilir.
- Çalışmanın ekonomik risk analizi aşamasında, veri kısıtlılığı sebebi ile risk derecelendirme, rota kullanıcılarının risk algıları ve deneyimleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Benzer bir çalışmada, rota kullanıcılarının zamanında gerçekleşen/gerçekleşmeyen sevk bilgisine, rotalarda gerçekleşen yük hasarlarına ve sebeplerine dair veriye ve ülke sınırlarında karşılaşılan bürokratik engellerden kaynaklanan bekleme ve gecikme vakaları ile ilgili istatistiksel veriye ulaşıldığı takdirde, risklerin derecelendirilmesi ile elde edilen sonuçlar daha güvenilir ve geçerli olacaktır. Gerçek veri ile riskler yoğun ve hafif şeklinde modellenerek acil önlem alınması gereken durumlar KDS’de tahminlenebilir.

- Veriye ulaşılabilirlik göz önüne alınarak, önerilen KDS’de çevresel ve sosyal amaçlar arttırılabilir. Bu bakımdan, sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenmesi aşamasında gerekli görülen fakat araştırma kısıtları sebebi ile modele dahil edilmeyen göstergelerden, arazi kullanımı veya sürdürülebilir ulaştırma kapsamında sosyal bir gösterge olarak yer alan istihdama katkı gibi göstergeler modele eklenerek gösterge çeşitliliği arttırılabilir.

- Model çevresel boyutta emisyon miktarını karbon ayak izi metodolojisi ile hesaplamaktadır. Önerilen model, ulaştırma sürecinde yer alan unsurların yaratılmasından ömrünün sonuna kadar tüm süreçlerde yarattığı çevresel etkiyi ölçen LCA (Life Cycle Assessment: Yaşam Döngü Analizi) Metodolojisi ile güçlendirilebilir. Bir çoklu ulaştırma sisteminde Yaşam Döngüsü Analizi yapılarak, ulaştırma amacı ile kullanılan taşıma ekipmanlarının, elleçleme ekipmanlarının, alt yapı tesislerinin yapımı ve işletilmesi esnasında ortaya çıkan tüketimler sonucu oluşan çevresel etkiler de ölçülebilecek ve daha da gerçeğe yakın sonuçlar ortaya konabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, H.B., Sarpong, S.K. ve Rezaei, J. (2017). Assessing the social sustainability of supply chains using best-worst method. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 99-106.
- Alumur, S.A., Yaman, H. ve Kara, B.Y. (2012). Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries. *Transportation Research Part E*, 48, 1107-1120.
- Anadolu Ajansı (2019). 2019 Ekim ayı istatistikleri. 26 Ocak 2020, <https://www.aa.com.tr/tr/info/infografik/16354>.
- Arampantzi, C. ve Minis, I. (2017). A new model for designing sustainable supply chain networks and its application to a global manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, 156, 276-292.
- Auvinen, H., Clausen, U., Davydenko, I., Diekmann, D., Ehrler, V. ve Lewis, A. (2014). Calculating emissions along supply chains-Towards the global methodological harmonisation. *Research in Transportation Business & Management*, 12, 41-46.
- Awasthi, A., Chauhan, S. ve Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Systems with Applications*, 38, 12270-12280.
- Banomyong, R. ve Beresford, A. (2001). Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 9, 663-685.

- Banomyong, R. (2001). Modelling freight logistics: The Vientiane-Singapore corridor. *Logistics 2001: International Conference on Integrated Logistics. 21-24 Ağustos 2001* 1-8, Singapur.
- Baykasoğlu, A. ve Subulan, K. (2016). A multi-objective sustainable load planning model for intermodal transportation networks with a real-life application, *Transportation Research Part E*, 95, 207-247.
- Beatley, T. (1995). The many meanings of sustainability. *Journal of Planning Literature*, 4, 339-342.
- Black, W. (2000). Socio-economic barriers to sustainable transport. *Journal of Transport Geography*, 8, 141-147.
- Black, W. ve Sato, N. (2007). From global warming to sustainable transport. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2, 73-89.
- Blinge, M. (2014). Policy measures to realise green corridors-A stakeholder perspective. *Research in Transportation Business & Management*, 12, 55-62.
- Boardman, B.S., Malstrom, E.M., Butler, D.P. ve Cole, M.H. (1997). Computer assisted routing of intermodal shipments. *Computers and Industrial Engineering*, 33, 311-314.
- Bock, S. (2010). Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. *European Journal of Operational Research*, 200, 733-746.
- Boggia, A. ve Cortina, C. (2010). Measuring Sustainable Development Using a Multi-Criteria Model: A Case Study, *Journal of Environmental Management*, 91, 2301-2306.

- Bongardt, D., Schmid, D., Huizenga, C. ve Litman, T. (2011). *Sustainable Urban Transport Technical Document*. 02 Eylül 2019, https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/B_Technical-Documents/GIZ_SUTP_TD7_Sustainable-Transport-Evaluation_EN.pdf.
- Bontekoning, Y.M., Macharis, C. ve Trip, J.J (2004). Is a new applied research field emerging? -A review of intermodal rail-turck freight transport literature. *Transportation Research Part A*, 38, 1-34.
- Bookbinder, J.H. ve Fox, N.S. (1998). Intermodal routing of Canada-Mexico shipments under NAFTA. *Transportation Research-E (Logistics and Transportation Rev.)*, 4, 289-303.
- Borg, J. (1991). *Makrologistika Studier*. Linköping: Linköping Institute of Technology Press.
- Brundtland Raporu (1987). *Our Common Future*. 12 Ağustos 2018, https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un-_-milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html.
- BSR (2015). *Clean Cargo Working Group Carbon Emissions Accounting Methodology*. 04 Haziran 2019, https://www.verifavia-shipping.com/uploads/files/BSR_CCWG_Carbon_Emissions_Methodology_2015.pdf.
- Caris, A., Macharis ve C. Janssens, G.K. (2008). Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects, *Transportation Planning and Technology, Computers in Industry*, 31, (3), 277-302.
- Caris, A., Macharis, C. ve Janssens, G.K. (2013). Decision support in intermodal transport: A new research agenda. *Computers in Industry*, 64, 105-112.

- Castells, M., Usabiaga, J.J. ve Martinez, F. (2012). Road and maritime transport environmental performance: short sea shipping vs road transport. *Journal of Maritime Research*, 2, 45-54.
- Chang, T.S. (2007). Best routes selection in international intermodal networks. *Computers & Operations Research*, 35, 2877-2891.
- Charnes A., Cooper, W.W. ve Ferguson, R.O. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1, (2), 103-194.
- Cho, J.H., Kim, H.S. ve Choi, H.R. (2010). An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming-A case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing. *Applied Intelligence*, 36, 529-541.
- Cirjaliu, B., Weinschrott, H., Gaureanu, A. ve Boatca, E.M. (2016). A Proposal for a Risk Assessment Management in a Transport Company. *Procedia Economics and Finance*, 39, 229-234.
- Confessore, G., Galiano, G., Liotta ve G., Stecca, G. (2013). A production and logistics network model with multimodal and sustainability considerations. *Procedia CIRP*, 12, 342-347.
- Craig, T. (1973). A behavioral model of modal selection. *Penn State University Transportation Journal*, 12, (3), 24-28.
- Crainic, T., Florian, M., Guelat, J. ve Spiess, H. (1990). Strategic planning of freight transportation: STAN, an interactive graphic system. *Transportation Research Record*, 1283, 97-104.
- Crainic, T.G. ve Kim, K.H. (2007). Intermodal Transportation, C. Barnhart, (Ed.), G. Laporte, (Ed.), *Handbook in OR & MS* (14) içinde (467-537). Hollanda: Elsevier.

Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 16, (1), 297-334.

Demir, E., Burgholzer, W., Hrusovsky, M., Arıkan E., Jammernegg, W. ve Woensel T. (2015). A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty, *Transportation Research Part B*, 4, 1-19.

D'Este, G. (1996). An event-based approach to modelling intermodal freight systems. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 26, (6) 4-15.

Deveci, A., (2010). Türkiye’de çoklu taşımacılığın geliştirilmesine yönelik stratejik bir model önerisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 1, 13-31.

Dubey, R. ve Gunesakaran, A. (2015). Sustainable transportation: An overview, framework and further research directions. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 7, (6), 695-178.

ECMT (European Conference of Ministers of Transport) (2003). *Glossary for transport statistics*. 12 Mart 2019, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5885021/KS-BI-03-002-EN.PDF/475a08e8-cbdf-4fe4-b4eb-4e7f9bff9e2c>.

Ecotransit (2018). *Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports Methodology and Data Update 2018*, Berne-Hannover-Heidelberg. 03 Mayıs 2019, https://www.ecotransit.org/download/EcoTransIT_World_Methodology_Data_Update_2018.pdf.

Elkington, J. (1997,1. Baskı). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century*. Michigan: Capstone Publishing.

EMSA (2018). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents*. 03 Şubat 2019, <http://www.emsa.europa.eu/emsa-documents/latest/item/3406-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2018.html>.

Ergin, H. ve Çekerol, S. (2008). Intermodal yük taşımacılığı ve Türkiye hızlı tüketim malları dağıtımını için uygulama denemesi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22, 1-24.

Ertuğrul, İ. ve Öztaş, G. Z. (2016). Ders programı oluşturulmasında 0-1 tam sayılı hedef programlama yaklaşımı. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9, (1), 159-177.

ERSO (European Commission European Road Safety Observatory) (2018). *European Commission European Road Safety Observatory Traffic Safety Basic Facts 2017*. 22 Nisan 2019, https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017_main_figures.pdf.

EU Transport in Figures (2017). *Statistical Pocket Book*. 06 Haziran 2019, <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4b352d6f-b540-11e7-837e-01aa75ed71a1>.

European Council (2000). *Lisbon Presidency Conclusion Report*. 23 Ekim 2018, http://www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/en/ec/00100-r1.en0.htm.

EUROPA: Publications office of European Union (2017). *Railway Safety in the European Union*, 28 Ağustos 2018, <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bb90beb1-c437-11e7-9b01-01aa75ed71a1>.

EUROSTAT (2015). *Asylum Statistics*. 23 Mayıs 2019, <https://ec.europa.eu/eurostat/news/themes-in-the-spotlight/asylum2015>.

EUROSTAT (2017). *Energy, Transport and Environment Indicators*. 03 Şubat 2019, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8435375/KS-DK-17-001-EN-N.pdf/18d1ecfd-acd8-4390-ade6-e1f858d746da>.

EUROSTAT (2019). *Asylum Statistics*. 23 Mayıs 2019, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00189/default/table?lang=en>.

Febbraro, A., Sacco, N. ve Saeednia, M. (2013). A cooperative framework for freight distribution in multimodal corridors. *International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, 6-9 Ekim 2013, Hollanda*.

Fremont, A. ve Franc, P. (2010). Hinterland transportation in Europe: combined transport versus road transport. *Journal of Transport Geography, 18*, 548-556.

Friesz, T. ve Harker, P. (1985). Analytical studies in transport economics. A.F. Daughety, (Ed.), *Freight network equilibrium: a review of the state of the art* (7) içinde (161-205). Sydney: Cambridge University Press.

FRONTEX (European Border and Coast Guard Agency) (2018). *Quarter 2 Report*. 22 Mart 2019, <https://frontex.europa.eu/publications/fran-q2-2018-EkjTNR>.

Google Maps, (bt.), <https://www.google.com.tr/maps>.

Göçer, A. (2015). *Sustainability-oriented risk management in value networks-a framework for food supply chains*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Göçmen, E. ve Erol, R. (2019). Transportation problems for intermodal networks: mathematical models, exact and heuristic algorithms, machine learning. *Expert Systems with Applications, 134*, 374-387.

- Grasman, S.E. (2006). Dynamic approach to strategic and operational multimodal routing decisions. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 1, 96-106.
- Gromicho, J., Oudshoorn ve E., Post, G. (2011). Generating price-effective intermodal routes. *Statistica Neerlandica*, 65, 432-445.
- Groothedde, B., Ruijgrok, C. ve Tavasszy, L. (2005). Towards collaborative, intermodal hub networks A case study in the fast moving consumer goods market. *Transportation Research Part E*, 41, 567-583.
- Gudmundsson, H. ve Höjer, M. (1996). Sustainable development principles and their implications for transport. *Ecological Economics*, 19, 269-282.
- Gul, M. ve Guneri A.F. (2016). A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.
- Guo, S. ve Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31.
- Haldenbilen, S. (2003). *Genetik algoritma yaklaşımı ile Türkiye için sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin analizi ve planlanması*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V.M. ve Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics*, 90, 47-58.
- Hao, C. ve Yue, Y. (2016). Optimization on combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport. *Procedia Engineering*, 137, 382-390.

- Hayuth, Y. (1987). *Intermodality: Concept and Practice*. Bristol: Lloyds's of London Press.
- Imai, A., Nishimura, E. ve Current, J. (2007). A lagrangian relaxation-based heuristic for the vehicle routing with full container load. *European Journal of Operational Research*, 176, 87-105.
- IMO (2009). *GHG Study 2009*. 04 Haziran 2019, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>.
- IOM (International Organization for Migration) (2015). *Missing Migrants Project*. 05 Ağustos 2019, <https://weblog.iom.int/world%E2%80%99s-congested-human-migration-routes-5-maps>.
- Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D*, 12, 33-44.
- Janic, M. ve Vleugel, J. (2012). Estimating potential reductions in externalities from rail-road substitution in Trans-European freight transport corridors. *Transportation Research Part D*, 17, 154-160.
- Jeon, C.M. ve Amekudzi, A.A. (2005). Addressing Sustainability in Transportation Systems: Definitions, Indicators, and Metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 11, 1-31.
- Jeon, C.M., Amekudzi, A.A. ve Guensler R.L. (2013). Sustainability assessment at the transportation planning level: performance measures and indexes. *Transport Policy*, 25, 10-21.

- Kalinina, M., Olsson, L. ve Larsson, A. (2013). A multi objective chance constrained programming model for intermodal logistics with uncertain time. *International Journal of Computer Science Issues*, 6, 35-44.
- Kaplan, D.M., Yildirim, C., Gulden, S. ve Aktan, D. (2015). I love to hate you: Loyalty for disliked brands and the role of nostalgia. *Journal of Brand Management*, 22, (2), 136-153.
- Karaman, B. (2014). *0-1 hedef programlama destekli destekli bütünleşik AHP-VIKOR yöntemi: Hastane yatırımı projeleri seçimi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kengpol, A., Meethom, W. ve Touminen, M. (2012a). The development of a decision support system in multimodal transportation routing within greater Mekong sub-region countries. *International Journal of Production Economics*, 140, 691-701.
- Kengpol, A., Tuamee, S., Meethom, W. ve Touminen, M. (2012b). Design of a decision support system on selection of multimodal transportation with environmental consideration between Thailand and Vietnam. *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering*, 2, 55-63.
- Kim H.J. ve Chang, Y.Y. (2014). Analysis of an intermodal transportation network in Korea from an environmental perspective. *Transportation Journal*, 1, 79-106.
- Kirk, K. Tableporter, J., Senn, A., Day, J., Cao, J., Fan, Y., Slotterback, C.S., Goetz, E., ve McGinnis, L. (2010). *Framework for measuring sustainable regional development for the twin cities region. center for transportation studies final report*. 12 Ocak 2018, <http://www.cts.umn.edu/Research/ProjectDetail.html?id=2010038>.

- Ko, H.J. (2009). A DSS approach with fuzzy AHP to facilitate international multimodal transportation network. *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries, 1*, 51-70.
- Konings, R. (2009). Network design for intermodal barge transport. *Transportation Research Record*, 17-25.
- Kula, N. (2012). *Çoklu taşıma işleticisi olarak taşıma işleri komisyoncusunun sorumluluklarına ve sorumluluk sigortası himayesine ilişkin bir inceleme*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kuleyin, B. (2013). *Uluslararası enerji ve ulaştırma koridorlarındaki stratejik gelişmelerin Türk deniz ticaretine etkisi üzerine ampirik bir çalışma*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kumar, A. ve Anbanandam, R. (2018). Development of social sustainability index for freight transportation system. *Journal of Cleaner Production, 1*, 1-43.
- Kwak, N.K., Schniederjans, M.C. ve Warkentin, K.S. (1991). An application of linear goal programming to the marketing distribution decision. *European Journal of Operational Research 52* (1991), 334-344.
- Lietuvnike, M., Vasiliauskas, A.V., Vasiliauskiene, V. ve Sabaityte, J. (2018). Peculiarities of illegal immigrant's intrusions into road freight transport units in the France-UK Corridor. *Entrepreneurship and Sustainability Issues, 3*, 634-647.
- Litman, T. ve Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of global Environmental Issues, 4*, 331-347.
- Litman, T. (2007). Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007*, 10-15.

- Litman, T. (2019). *Developing indicators for sustainable and livable transport planning*. 2 OcaK 2019, <https://www.vtqi.org/wellmeas.pdf>.
- Macharis, C. ve Bontekoning, Y.M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review. *European Journal of Operational Research*, 153, 400-416.
- Macharis, C., Meers, D. ve Lier, T. (2015). Modal choice in freight transport: combining multi-criteria decision analysis and geographic information systems. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 4, 355-372.
- Makowski, M. (1994). *Design and implementation of model-based decision support systems*. 13 Mart 2020, <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/4125/1/WP-94-086.pdf>.
- Management Study HQ (b.t.). 14 Mart 2020, <https://www.managementstudyhq.com/types-of-decision-support-systems.html>.
- Marthirajan, M. ve Ramanathan, R. (2006). A (0-1) goal programming model for scheduling the tour of a marketing executive. *European Journal of Operational Research*, 179, 554-566.
- Mathisen, T.A. ve Hanssen, S. (2014). The academic literature on intermodal freight transport. *Transportation Research Procedia*, 3, 611-620.
- Meixell, M.J. ve Norbis, M. (2008). A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. *The International Journal of Logistics Management*, 19,2, 183-211.
- Min, H. (1990). International intermodal choices via chance-constrained goal programming. *Transport Research-A*, 25-A, 6, 351-362.

- Mitchell, V. W. (1995). Organizational Risk Perception and Reduction: A Literature Review. *British Journal of Management*, 6, 115-133.
- Mokhtar, H., Redi, P., Krishnamoorthy, M. ve Ernst, A.T. (2019). An intermodal hub location problem for container distribution in Indonesia. *Computers and Operations Research*, 104, 415-432.
- Moon, D., Kim, D. ve Lee, E. (2015). A study on competitiveness of sea transport by comparing international transport routes between Korea and EU. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 1, 1-20.
- National Geographic (2015). 10 Haziran 2019, <https://www.nationalgeographic.com/news/2015/09/150919-data-points-refugees-migrants-maps-human-migrations-syria-world/>.
- Navarro, M. (2014). Environmental factors and intermodal freight transportation: analysis of the decision bases in the case of Spanish Motorways of the sea. *Sustainability*, 6, 1544-1566.
- Niskota, D.A., Perujo, A., Jesinghaus, J. ve Jensen, P. (2009). Indicators to assess sustainability of transport activities, European Commission *JRC Scientific and Technical Reports*. 8 Ocak 2019, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC54971/sust_transp_ind_report_final.pdf.
- Ocalir, V. E. (2016). Decision support systems in transport planning. *Procedia Engineering*, 161, 1119-1126.
- OECD (1993). *Environmental indicators reference paper*. 13 Şubat 2019, <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>.

OECD (1996). *The knowledgeBased economy*. 13 Şubat 2019, <http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD%2896%29102&docLanguage=En>.

OECD (2015). *Agenda for sustainable development: The role of the OECD and its members*. 18 Mart 2019, [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=C/MIN\(2015\)13&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=C/MIN(2015)13&docLanguage=En).

Official Journal of European Union (2013). *1315/2013*. 28 Aralık 2018, http://publications.europa.eu/resource/ellar/f277232a-699e-11e3-8e4e-01aa75ed71a1.0006.01/DOC_1.

Omman, I., ve Spangenberg, J.H. (2002). Assessing Social Sustainability; the Social Dimension of Sustainability in a Socio-Economic Scenario. *7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, Sousse 6-9 Mart 2002*. 1-20.

Omman, I. ve Seebauer, S. (2008). A social perspective on sustainable transport policy: A case study on car road pricing in Austria. *The Integrated Assessment Journal*, 2, 107-126.

Önder, E., (2015). Çok kriterli karar verme. B.F. Yıldırım, (Ed.), E. Önder, (Ed.), *Çok kriterli karar verme yöntemleri (2) içinde (75-116)*. Bursa: Dora Yayınevi.

Petro, F. ve Konecny, V. (2017). Calculation of emissions from transport services and their use for the internalization of external costs in road transport. *Procedia Engineering*, 192, 677-682.

Pfoser, S., Treiblmaier, H. ve Schauer, O. (2016). Critical success factors of synchromodality: results from a case study and literature review. *Transportation Research Procedia*, 14, 1463-1471.

Pham, T.Y. ve Yeo, G.T. (2018). A comparative analysis selecting the transport routes of electronics components from China to Vietnam. *Sustainability*, 10, 1-18.

Port Distance, (b.t.). <http://www.portdistance.com/>.

Qu, L. ve Chen, Y. (2008). A hybrid MCDM method for route selection of multimodal transportation network. *5th International Symposium on Neural Networks*, 24-28 Eylül 2008. 5263, 374-383.

Rabar, D. (2017). An overview of data envelopment analysis application in studies on the socio-economic performance of OECD countries. *Economic Research*, 30, (1), 1170-1784.

Rajak, S., Parthiban, P. ve Dhanalakshmi, R. (2016). Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. *Ecological Indicators*, 71, 503-513.

Ranaiefar, F. ve Regan, A., (2011). Freight-transportation externalities. *Logistics Operations and Management*, 333-357.

Rassafi, A.A. ve Vaziri, M. (2005). Sustainable transport indicators: Definition and integration. *International Journal of Environment and Science Technology*, 2, (1), 83-96.

Regmi, M.B. ve Hanaoka, S. (2012). Assessment of intermodal transport corridors: Cases from North-East and central Asia. *Research in Transportation Business & Management*, 5, 27-37.

Resat, G.G. ve Turkay, M. (2015). Design and operation of intermodal transportation network in the Marmara region of Turkey. *Transportation Research Part E*, 83, 16-33.

- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J. ve Tavasszy, L. (2016). A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.
- Rodrigues, V.S., Potter, A. ve Naim, M. M. (2009). The impact of logistics uncertainty on sustainable transport operations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40, 61-83.
- Saaty, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process-What it is and how it is used. *Mathl Modelling*, 9, 161-176.
- Saeedi, H., Behdani, B., Wiegman, B. ve Zuidwijk, R. (2019). Assessing the technical efficiency of intermodal freight transport chains using a modified network DEA approach. *Transportation Research Part E*, 126, 66-86.
- Salvi, H. (2015). *Sustainable Transport Systems*. 12 Aralık 2018, <https://www.scribd.com/document/29095297/Article-on-Sustainable-Transport-Systems>.
- Sanders, G. (1991). *The concept of multimodal transport*. Hollanda: WES Publishing.
- Sara, A.S., Tavassoli, M. ve Heshmati, A. (2019). Assessing the sustainability of high-middle-and low income countries: A network DEA model in the presence of both zero data and undesirable outputs. *Sustainable Production and Consumption*, Yayınlanmamış makale.

- Sekaran, U. (2003). *Research methods for Business*. (4th ed.). USA: John Wiley & Sons.
- Seo, Y.J., Chen, F. ve Roh S.Y. (2017). Multimodal transportation: the case of laptop from Chongqing in China to Rotterdam in Europe. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 3, 155-165.
- Shankar, R., Choudhary, D. ve Jharkharia, S. (2018). An integrated risk assessment model: A case of sustainable freight transportation systems. *Transportation Research Part D*, 63, 662-676.
- Ships Go (2019). (b.t.). <https://shipsgo.com/>.
- Simongati, G. (2011). Multi-criteria decision making support tool for freight integrators: Selecting the most sustainable alternative. *Transport*, 25, 89-97.
- Southworth, F. ve Peterson, B.E. (2000). Intermodal and international freight network modeling. *Transportation Research Part C*, (8), 147-166.
- Statistical Office of Republic of Serbia (2015). *Global Status Report on Road Safety 2015*. 12 Mart 2019, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/301825/Serbia-GSRRS-2015-en.pdf?ua=1.
- StadieSeifi, M., Dellaert, N.P., Nuijten, W., Woensel, T.V. ve Raoufi, R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233, 1-15.
- Taha, H. A., (2017). *Operations Research*, (46). Malezya: Pearson.

Tejada, O.L.S., Sastresa, E.L., ve Scarpellini, S. (2017). A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 42, 169-186.

Truschkin E. ve Elbert, R. (2013). Horizontal transshipment technologies as enablers of combined transport: Impact of transport policies on the modal split. *Transportation research Part A*, 49, 91-109.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) (b.t.). 39001 Yol ve trafik güvenliği sistemi. 17 Mart 2020, <https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2438&ParentID=7581>.

Turan, G., (2015). Çok kriterli karar verme. B.F. Yıldırım, (Ed.), E. Önder, (Ed.), *Çok kriterli karar verme yöntemleri (2)* içinde (15-20). Bursa: Dora Yayınevi.

Türkiye İhracatçılar Meclisi (2020). *2019 ihracat rakamları*. 1 Şubat 2020, <https://www.tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari.html>.

UK P&I Club (2017). *Top 25 causes of container claims*. 22 Nisan 2019, https://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/uk-pi/LP%20Documents/2017/1854THO_CargoChecklist_WEB.pdf.

UN, (1997). *Agenda for Development*. 23 Aralık 2019, <https://www.un.org/press/en/1997/19971105.PI1037.html>.

UN, (2015). *Global Sustainable Development Report 2015 Edition*. 22 Mart 2019, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1758GSDR%202015%20Advance%20Unedited%20Version.pdf>.

UNCTAD (1981). *Review of Maritime Transport Report*. 03 Ocak 2019, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt1981_en.pdf.

- UNCTAD (2015). *World Investment Report*. 03 Ocak 2019, <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1358>.
- UNCTAD (2017). *World Investment Report 2017*. 08 Ocak 2019, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2017_en.pdf.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (2001). *Terminology on combined transport*. 26 Ağustos 2019, <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/term.pdf>.
- Varsei, M. ve Polyakovskiy, S. (2017). Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia. *Omega*, 66, 236-247.
- Vilko, J., Ritala, P. ve Hallikas, J. (2019). Risk management abilities in multimodal maritime supply chains: Visibility and control perspectives. *Accident Analysis and Prevention*, 123, 469-481.
- Yang, X., Low, J ve Tang, L.C. (2011). Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach. *Journal of Transport Geography*, 19, 515-527.
- Yates, J. F. ve Stone, E. R. (1992). The risk construct. *Risk-taking behavior*, 57, 1-25.
- Zamecnik, J. (2016). *Cargo Crime in Europe*. 14 Mart 2019, http://journals.vstecb.cz/wp-content/uploads/2016/04/15_CARGO-CRIME-IN-EUROPE-Zamecnik-Jagelcak.pdf.
- Zegras, C. (2006). Sustainable transport indicators and assessment methodologies, Sustainable transport indicators: *Biannual Conference and Exhibit of the Clean Air Initiative for Latin American Cities, 25-27 Temmuz 2006*, Sao Paulo, 1-14.

Zeimpekis, V., Aktas, E., Bourlakis, M. ve Minis, I. (2018). Sustainable freight transport. R. Sharda, Ed.), *Operations Research/Computer Science Interfaces Series* (63) içinde (1-5). Hamburg: Springer.



EKLER

EK-1: ÇOKLU TAŞIMACILIK KORİDORLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK GÖSTERGELERİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK SORU FORMU

Değerli Katılımcı,

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Programı çerçevesinde **Prof. Dr. D. Ali DEVECİ** danışmanlığında yürütülen ‘**Çoklu Taşımacılık Koridorlarının Sürdürülebilir Ulaştırma Açısından İncelenmesi**’ adlı doktora tezinde kullanılmak üzere bir anket çalışması yapmaktayız. Bu çalışma ile, çoklu taşımacılık koridorlarının sürdürülebilir yük taşımacılığı açısından değerlendirilmesinde kullanılabilecek göstergelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda sürdürülebilir ulaştırmanın üç boyutu olan **ekonomik çevresel** ve **sosyal** boyuttaki göstergelere soru formunda yer verilmiş olup, sizden çoklu ulaştırma koridorlarının sürdürülebilirlik açısından incelenmesinde bu göstergelerin gerekli olup olmadığı, önem düzeyleri ve bu göstergeler ile ilgili verilere ulaşım düzeyini belirtmeniz istenmektedir. Formda yer alan sorulara vereceğiniz cevaplar tamamen bilimsel amaçlı olarak kullanılacak, hiç bir şekilde yanıtlayıcı ismi belirtilerek yayınlanmayacaktır.

İlgi ve yardımlarınız için şimdiden teşekkür ederiz.

Volkan ÇETİNKAYA

(DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Öğrencisi)

Adınız-Soyadınız:

Çalıştığınız kurumun adı:

Pozisyon/Ünvan:

Bu pozisyonda çalışma süreniz:

Uzmanlık alanı:

E-mail:

Lütfen aşağıda yer alan Sürdürülebilir Ulaştırma kapsamında değerlendirilen göstergeleri okuyarak, ilgili göstergelerin Sürdürülebilir Çoklu Yük Taşımacılığı değerlendirmesi için gerekli olup olmadığını sol kısımda (X) ile belirtiniz. Göstergenin gerekli olduğunu düşünüyorsanız sağ kısımda puanlayınız ve gerekli olan göstergelere ait veriye ulaşmanın kolaylık puanlayınız.

***Önem Düzeyi; 1:** Hiç önemli değil, **2:** Önemli değil, **3:** Ne Önemli/Ne Önemsiz, **4:** Önemli **5:** Son derece önemli

*** Veriye Ulaşım: 1:** Kısıtlıdır, özel veri toplama teknikleri gerektirir. **2:** Sıklıkla ulaşılabilir, fakat standartlaştırılmış şekilde değildir. **3:** Her zaman standartlaştırılmış şekilde bulunur.

Sürdürülebilir Ulaştırma EKONOMİK boyut kapsamında değerlendirilen göstergeler	Gerekli	Gereksiz	Önem Düzeyi	Veriye Ulaşım
GSMH'ya yapılan katkı (%) : <i>Ulaştırma faaliyetlerinin GSMH içerisindeki payı.</i>				
Ulaştırma olanağı çeşitliliği sağlama: <i>Ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirildiği ağda/rotada bulunan taşıma modu alternatiflerinin sayısı.</i>				
Kapıdan-kapıya ulaştırma maliyeti: <i>Orijinden destinasyona ulaştırma için katılan toplam maliyettir.</i>				
Yerel işletmelere destek: <i>Verilen ulaştırma hizmetinin ağdaki/rotadaki işletmelerin faaliyetlerine katkısı.</i>				

Sürdürülebilir Ulaştırma EKONOMİK boyut kapsamında değerlendirilen göstergeler (Devam)	Gerekli	Gereksiz	Önem Düzeyi	Veriye Ulaşım
Transit süre: Ulaştırma faaliyetinin başlangıcından bitişine kadar bekleme süreleri de dahil olmak üzere geçen toplam süre.				
Sefer sıklığı: Verilen ulaştırma hizmetinin günlük/haftalık/aylık tekrar sayısı.				
Mesafe: Orijin-destinasyon arası katedilen yol uzunluğu.				
İstihdama katkı (%): Ağdaki/rotadaki ulaştırma faaliyetinin toplam istihdamdaki payı.				
Trafik sıkışıklığı: Ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirildiği ağda/rotada hizmet talebinin kapasiteyi aşması durumu.				
İzlenebilirlik imkanları: Ulaştırma hizmeti sırasında yüke ait hareket bilgilerinin elde edilmesine yönelik imkanların varlığı.				
Yükün hasar görme riski: Yükün güvenlik/emniyet eksikliği sonucu zarar görme olasılığı.				
Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği: Tam talep edilen zamanda hedefe ulaştırma (Erken ve geç ulaştırmalar güvenilirliği azaltır).				
Ağda/Rotada karayolu kullanımı: Karayolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).				

Sürdürülebilir Ulaştırma <u>EKONOMİK</u> boyut kapsamında değerlendirilen göstergeler (Devam)	Gerekli	Gereksiz	Önem Düzeyi	Veriye Ulaşım
Ağda/Rotada karayolu kullanımı: <i>Karayolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).</i>				
Ağda/Rotada demiryolu kullanımı: <i>Demiryolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).</i>				
Ağda/Rotada denizyolu kullanımı: <i>Denizyolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).</i>				
Ağda/Rotada havayolu kullanımı: <i>Havayolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).</i>				
Ağda/Rotada iç-suyolu kullanımı: İç su-yolu kullanım hacminin ifadesidir (ton-km).				
Alt-yapı ve ekipman riski: <i>Ekipman, malzeme ve mevsimsel kaynaklı ağda/rotada beklenmeyen riskler.</i>				
Bürokratik riskler: <i>Geçiş ülkesindeki politik problemler, ülkeler arası prosedür farklılıkları.</i>				
Sürdürülebilir Ulaştırma <u>CEVRESEL</u> boyut kapsamında değerlendirilen göstergeler	Gerekli	Gereksiz	Önem Düzeyi	Veriye Ulaşım
Sera gazları salımı: <i>Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, iklim değişikliğine sebep olan gazların (CO2, CH4, CFC's) salım miktarı.</i>				

Diğer hava kirletici gazların salımı: <i>Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, hava kalitesini düşüren gazların (CO, VOC, Nox) ve partikül (PM) salım miktarı.</i>				
Enerji tüketimi: <i>Ulaştırma faaliyeti için tüketilen enerji miktarı.</i>				
Arazi kullanımı: <i>Ulaştırma altyapısının oluşturulması için kullanılan arazi miktarı.</i>				
Gürültü: <i>Ulaştırma ekipmanlarının ortaya çıkardığı istenmeyen, rahatsız edici ses seviyesi.</i>				
Su kirliliği: <i>Ulaştırma sürecindeki ekipmanların hareketi ve bakım işlemleri sonucunda doğaya salınan yakıt-yag ve diğer su kirletici sıvıların kullanımı.</i>				
Yenilenebilir yakıt kullanımı: <i>Doğal süreçlerdeki akıştan elde edilen enerjiye dayalı yakıt tüketimi (biyodizel, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi vb.).</i>				
Sürdürülebilir Ulaştırma <u>SOSYAL</u> boyut kapsamında değerlendirilen göstergeler	Gerekli	Gereksiz	Önem Düzeyi	Veriye Ulaşım
Sosyal refaha katkı: <i>Ulaştırma politikaları ile gelişen ağların/rotaların istihdam yaratma sonucu sosyal gelişime katkısı.</i>				
Güvenlik: <i>Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin muhtemel kaza sonucu ölüm ya da yaralanma riski.</i>				

Emniyet: <i>Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin muhtemel saldırı, gasp vb. Bir olay sonucu ölüm ya da yaralanma riski.</i>				
Solunum sistemi rahatsızlıkları- Kanser vakaları: <i>Ulaştırma kaynaklı hastalıkların görülme sıklığı.</i>				

- Eğer sizin Sürdürülebilir Çoklu Taşımacılık kapsamında değerlendirilebilecek bir gösterge öneriniz var ise lütfen aşağıda sürdürülebilirlik kapsamındaki grubunu, önem derecesini ve veriye ulaşma düzeyini belirtiniz.

Önerilen Kriter	Ekonomik- Sosyal-Çevresel	Önem Seviyesi	Veriye Ulaşım

- **Yorumlarınız/Katkılarınız:**

EK-2: BWM (Best-Worst Method Kriter Ağırlıklandırma Formu)

Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma Araştırması BWM (Best-Worst Method) Kriter Ağırlıklandırma Anketi

Değerli Katılımcı,

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Programı çerçevesinde **Prof. Dr. D. Ali DEVECİ** danışmanlığında, '**Çoklu Taşımacılık Koridorlarının Sürdürülebilir Ulaştırma Açısından İncelenmesi**' adlı doktora tezinde kullanılmak üzere bir uzman görüşüne dayalı bir çalışma yürütmekteyiz.

Bu kapsamda '**Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma**' için gerekli olduğu belirlenen ekonomik, çevresel ve sosyal kriterlerin ve bu kriterlere ait göstergelerin işletmeniz açısından önem derecesinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla; ilk olarak karşılaştırması yapılacak göstergelere ait açıklamalar verilmiştir:

AÇIKLAMA

EKONOMİK AÇIDAN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU (INTERMODAL) TAŞIMA GÖSTERGELERİ:

Ulaştırma Bütçesi-Maliyet: Orijinden destinasyona ulaştırma için katılan toplam maliyet. (Navlun, aktarma merkezlerindeki bekleme, yükleme, boşaltma, gümrük masrafları gibi maliyetleri içerir.)

Transit süre: Ulaştırma faaliyetinin başlangıcından bitişine kadar terminallerde, aktarma merkezlerinde bekleme süreleri de dahil olmak üzere geçen toplam süre.

Güvenilirlik: Tam talep edilen zamanda hedefe ulaştırmayı gerçekleştirme oranı (Erken ve geç ulaştırmalar güvenilirliği azaltır).

Yük hasar riski: Yükün güvenlik/emniyet eksikliği sonucu zarar görme olasılığı ve hasar sonucunun yük sahibi firmaya etkisi.

Bürokratik riskler: Geçiş ülkesindeki politik problemler, ülkeler arası prosedür farklılıkları ile karşılaşma olasılığı ve bu gibi durumların yük taşıma sürecine ve yük sahibi firmaya etkisi.

ÇEVRESEL AÇIDAN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU (INTERMODAL) TAŞIMA GÖSTERGELERİ:

Emisyon Miktarı: Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, iklim değişikliğine sebep olan gazların (CO₂, CH₄, CFC's), lokal hava kalitesini düşüren gazların (CO, VOC, Nox) miktarı ve partikül (PM) salım miktarı.

SOSYAL AÇIDAN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOKLU (INTERMODAL) TAŞIMA GÖSTERGELERİ:

Güvenlik: Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin ya da taşıma süreci dışarısından üçüncü tarafların muhtemel kaza sonucu ölüm olasılığı ve bu gibi durumların topluma, yük taşıma sürecine ve taşıtan firmaya sosyal açıdan etkileri.

Emniyet: Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin kriminal bir olay veya taşıma organizasyonu içerisinde göçmen kaçakçılığı v.b durumlar ile karşılaşma olasılığı ve bu gibi durumların topluma, yük taşıma sürecine ve taşıtan firmaya sosyal açıdan etkileri.

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden yüksek kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden çok yüksek kuvvetle daha önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerler	Her bir tercihteki derecelerin ara derecelerini belirtir.

İlgi ve desteğiniz için teşekkür ederiz.

Volkan ÇETİNKAYA
(DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Öğrencisi)

Adınız-Soyadınız:

Çalıştığınız kurumun adı:

Pozisyon/Ünvan:

Bu pozisyonda çalışma süreniz:

Lütfen formda belirtilen kısımları verilen göstergelerin işletmeniz açısından önem derecesine göre

doldurunuz. Göstergeleri yukarıda belirtilen önem ölçeği dahilinde karşılaştırıp, puanlayınız.

1. Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma ile ilgili üç ana kriter aşağıda belirtilmiştir. Bu kriterlerden işletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** olduğunu düşündüğünüz hangisidir?

Sürdürülebilirlik Kriterleri:

- Ekonomik
- Çevresel
- Sosyal

EN ÇOK ÖNEMLİ Kriter:

2. Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma ile ilgili üç ana kriter aşağıda belirtilmiştir. Bu kriterlerden işletmeniz açısından **EN AZ ÖNEMLİ** olduğunu düşündüğünüz hangisidir?

Sürdürülebilirlik Kriterleri:

- Ekonomik
- Çevresel
- Sosyal

EN AZ ÖNEMLİ Kriter:

3. Birinci soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığımız kriterin diğer kriterlere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak 1 ile 9 arasında belirtiniz. (1 değeri karşılaştırılan en çok önemli kriter ile diğer kriterin eşit öneme sahip

olduğunu, **9** değeri karşılaştırılan en çok önemli kriterin diğer kriterlere göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Kriter</i>	Ekonomik	Çevresel	Sosyal

4. İkinci soruda **EN AZ ÖNEMLİ** kriter olarak yazdığınız kriterin, diğer kriterler ile karşılaştırıldığında, tercih puanını açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak, **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en az önemli kriter ile diğer kriterin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri diğer kriterin karşılaştırılan en az önemli kriterlere göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir)

<i>En Az Önemli Kriter:</i>	
Ekonomik	
Çevresel	
Sosyal	

5. Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma ekonomiklik kriteri kapsamındaki göstergeler belirtilmiştir. Bu göstergeler arasında işletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** ve **EN AZ ÖNEMLİ** ekonomik gösterge nedir?

Ekonomik Göstergeler:

- Ulaştırma Bütçesi-Maliyet
- Transit Süre
- Güvenilirlik
- Yük Hasar Riski
- Bürokratik Riskler

EN ÇOK ÖNEMLİ Gösterge:

EN AZ ÖNEMLİ Gösterge

6. Beşinci soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığınız ekonomik göstergenin diğer göstergelere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en çok önemli gösterge ile diğer göstergelerin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri karşılaştırılan en çok önemli göstergenin diğer göstergelere göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Gösterge</i>	Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	Transit Süre	Güvenilirlik	Yük Hasar Riski	Bürokratik Riskler

7. Beşinci soruda **EN AZ ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin, diğer göstergeler ile karşılaştırıldığında, tercih puanını açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak, **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en az önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri diğer göstergenin karşılaştırılan en az önemli göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Az Önemli Gösterge:</i>	
Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	
Transit Süre	
Güvenilirlik	
Yük hasar Riski	
Bürokratik Riskler	

8. Ekonomik ve çevresel göstergeler arasında işletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** ve **EN AZ ÖNEMLİ** ekonomik veya çevresel gösterge nedir?

Ekonomik ve Çevresel Göstergeler:

- Ulaştırma Bütçesi-Maliyet
- Transit Süre
- Güvenilirlik
- Yük Hasar Riski
- Bürokratik Riskler
- Emisyon Salımı

EN ÇOK ÖNEMLİ Gösterge

EN AZ ÖNEMLİ Gösterge

9. Sekizinci soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin diğer göstergelere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en çok önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri karşılaştırılan en çok önemli göstergenin diğer alt göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Alt Gösterge</i>	Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	Transit Süre	Güvenilirlik	Yük hasar riski	Bürokratik Riskler	Emisyon Salımı

10. Sekizinci soruda **EN AZ ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin, diğer göstergeler ile karşılaştırıldığında, tercih puanını açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak, 1 ile 9 arasında belirtiniz. (1 değeri karşılaştırılan en az önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, 9 değeri diğer göstergenin karşılaştırılan en az önemli göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Az Önemli Gösterge:</i>	
Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	
Transit Süre	
Güvenilirlik	
Yük hasar Riski	
Bürokratik Riskler	
Emisyon Salımı	

11. Sosyal kriter; emniyet (kriminal olay veya yasadışı göçmen vakaları) ve güvenlik (trafik kazası sonucu ölüm) gibi göstergeleri içerir. İşletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** ve **EN AZ ÖNEMLİ** sosyal gösterge nedir?

Sosyal Göstergeler:

- Güvenlik *EN ÇOK ÖNEMLİ Gösterge*
- Emniyet *EN AZ ÖNEMLİ Gösterge:*

12. Onbirinci soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin diğer göstergelere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak 1 ile 9 arasında belirtiniz. (1 değeri karşılaştırılan en çok önemli gösterge ile diğer göstergenin

eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri karşılaştırılan en çok önemli göstergenin diğer göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Gösterge:</i>	Güvenlik	Emniyet

13. Ekonomik ve sosyal göstergeler arasında işletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** ve **EN AZ ÖNEMLİ** gösterge nedir?

Ekonomik ve Sosyal Göstergeler

- Ulaştırma Bütçesi-Maliyet
- Transit Süre
- Güvenilirlik
- Yük Hasar Riski
- Bürokratik Riskler
- Güvenlik
- Emniyet

EN ÇOK ÖNEMLİ Gösterge:

EN AZ ÖNEMLİ Gösterge:

14. Onüçüncü soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin diğer göstergelere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak 1 ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en çok önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri karşılaştırılan en çok önemli göstergenin diğer göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Gösterge</i>	Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	Transit Süre	Güvenilirlik	Yük Hasar Riski	Bürokratik Riskler	Güvenlik	Emniyet

15. Onüçüncü soruda **EN AZ ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin, diğer göstergeler ile karşılaştırıldığında, tercih puanını açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak, **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en az önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri diğer göstergenin karşılaştırılan en az önemli göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Az Önemli Gösterge</i>	
Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	
Transit Süre	
Güvenilirlik	
Yük hasar Riski	
Bürokratik Riskler	
Emniyet	
Güvenlik	

16. Ekonomik, çevresel ve sosyal göstergeler arasında işletmeniz açısından **EN ÇOK ÖNEMLİ** ve **EN AZ ÖNEMLİ** gösterge nedir?

Ekonomik, Çevresel ve Sosyal Göstergeler

- Ulaştırma Bütçesi-Maliyet
- Transit Süre
- Güvenilirlik
- Yük Hasar Riski
- Bürokratik Riskler
- Emisyon Salımı.
- Emniyet
- Güvenlik

EN ÇOK ÖNEMLİ Gösterge:

EN AZ ÖNEMLİ Gösterge:

17. Onaltıncı soruda **EN ÇOK ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin diğer göstergelere göre tercih puanını, açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak 1 ile 9 arasında belirtiniz. (1 değeri karşılaştırılan en çok önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, 9 değeri karşılaştırılan en çok önemli göstergenin diğer göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu belirtir.)

<i>En Çok Önemli Gösterge</i>	Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	Transit Süre	Güvenilirlik	Yük hasar riski	Bürokratik Riskler	Emisyon Salımı	Emniyet	Güvenlik

18. Onaltıncı soruda **EN AZ ÖNEMLİ** olarak yazdığınız göstergenin, diğer göstergeler ile karşılaştırıldığında, tercih puanını açıklama kısmında verilen önem ölçeğini referans alarak, **1** ile **9** arasında belirtiniz. (**1** değeri karşılaştırılan en az önemli gösterge ile diğer göstergenin eşit öneme sahip olduğunu, **9** değeri diğer göstergenin karşılaştırılan en az önemli göstergeye göre en üst seviyede önemli olduğunu gösterir.)

<i>En Az Önemli Gösterge:</i>	
Ulaştırma Bütçesi-Maliyet	
Transit Süre	
Güvenilirlik	
Yük hasar Riski	
Bürokratik Riskler	
Emisyon Salımı	
Emniyet	
Güvenlik	

EK-3: Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Ekonomik Risk Analiz Formu

Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma Araştırması Risk Analiz Formu (Türkiye-Polonya Koridoru Ekonomik Risk Analizi)

Değerli Katılımcı,

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Programı çerçevesinde Prof. Dr. D. Ali DEVECİ danışmanlığında yürütülen ‘**Çoklu Taşımacılık Koridorlarının Sürdürülebilir Ulaştırma Açısından İncelenmesi**’ adlı doktora tezinde kullanılmak üzere bir uzman görüşüne dayalı bir çalışma yürütmekteyiz.

Bu kapsamda ‘**Sürdürülebilir Çoklu (Intermodal) Taşıma**’ için **güvenilirlik** (ürünün müşteriye tam zamanında teslimatı) **kayıbı**, **yük hasarı** ve **bürokratik durumlar** olarak üç risk tipi Türkiye –Avrupa arasında bazı rotalar bazında değerlendirilecektir. Değerlendirme aşaması için gerekli, risk kavramı ile ilgili bazı unsurlar ve **risk olasılık ölçeği**, **risk etki ölçeği tabloları** açıklama kısmında belirtilmiştir.

AÇIKLAMA

Risk: Zorluk, hasar ya da kayıp oluşmasına yönelik belirsizlik içeren unsur veya durumdur. Teorik açıdan bir durumun riski; ilgili durumun gerçekleşme olasılığı ile gerçekleşmesi halinde ortaya çıkaracağı etkinin (zorluk, hasar, kayıp) bileşkesidir. Bu tanımdan hareket ile **Risk = Olasılık x Şiddet**’tir.

Olasılık: Riskin meydana gelebilme durumunu ifade eder. Kişisel deneyime, ulaştırma sürecinde rol alan yük taşıyan ve yük taşıtan firmaların önlemlerinin yeterliliğine, rotadaki tehlikelerin tipine ve sayısına göre değişebilir.

Etki: Riskin ortaya çıkması halinde ortaya çıkan zorluk, hasar ya da kayıpların yoğunluğunu ifade eder.

Riskin derecesinin belirlenmesinde kullanılacak risk olasılık ölçeği ve risk etki ölçeği aşağıda gösterilmiştir.

Risk puanı belirlenecek risklere ait açıklama ve alt riskler de aşağıda açıklanmıştır:

Güvenilirlik Kaybı Riski: Güvenilirlik tam talep edilen zamanda hedefe ulaştırmayı gerçekleştirmedi. Erken ve geç ulaştırmalar güvenilirliğin kaybı riskini ortaya çıkarır.

Güvenirliğin kaybı ile ilgili alt riskler (tehlikeler) aşağıda belirtilmiştir:

- Trafik yoğunluğu, kaza ve rota altyapı koşulları sebebi ile teslimat süresinde% 10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)
- Araç kullanma süre sınırlamalarına uyulmaması sebebi ile teslimat süresinde % 10 üzerinde sapmalar (Erken teslimat)
- Aktarma merkezi ve gümrüklerdeki yoğunluklar sebebi ile teslimat süresinde % 10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)
- Hava şartları sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar
- Gümrük ile ilgili yanlış-eksik beyanlar sonucu teslimat süresinde % 10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)

Yük hasar riski: Yükün güvenlik/emniyet eksikliği sonucu zarar görme olasılığı ve hasar sonucunun yük sahibi firmaya etkisini ifade eder. Yükün hasar görmesi ile ilgili alt riskler aşağıda belirtilmiştir:

- Rota kaynaklı trafik kazaları
- Yağmur-kar suyu, deniz suyu sebebi ile yükün ıslanması
- Komşu yükler veya konteyner kaynaklı kontaminasyon
- Yanlış yükleme sebebi (dengesiz yükleme, gerekli iken lashing uygulanmaması) elleçleme ve taşıma esnasında oluşan kazalar
- Gemide, aktarma merkezlerinde yanlış istifleme kaynaklı kazalar

Bürokratik riskler: Geçiş ülkesindeki politik problemler, ülkeler arası prosedür farklılıkları ile karşılaşma olasılığı ve bu gibi durumların yük taşıma sürecine ve yük sahibi firmaya etkisi.

- Gümrük politikası ve/veya mevzuat değişiklikleri
- Rota ülkesi/ülkelerinde politik istikrarsızlık
- Mevzuat farklılıkları, doküman yorumlama problemleri
- Gümrük kapılarında EDI olmaması veya EDI sıkıntıları
- IT sistemi saldırısı

Risk puanlaması için olasılık ve etki ölçekleri sonraki sayfada belirtildiği gibi tanımlanmıştır:

RİSK OLASILIK ÖLÇEĞİ

Puan	Olasılık	Açıklama
1	Çok Düşük Olasılık	Neredeyse hiç gerçekleşmez.
2	Düşük Olasılık	Yılda bir kez, normal olmayan durumlarda gerçekleşir.
3	Mümkün	Ara sıra, yılda bir kaç kez gerçekleşir.
4	Yüksek Olasılık	Ayda bir kaç kez gerçekleşir.
5	Çok Yüksek Olasılık	Normal şartlarda haftada bir, neredeyse her zaman gerçekleşir.

RİSK ETKİ ÖLÇEĞİ

Puan	Etki	Açıklama
1	Çok Düşük Etki	Hiç bir süreçte hissedilmez.
2	Düşük Etki	Telafi edilebilecek küçük zorluklar ortaya çıkar.
3	Orta Yoğunlukta Etki	Kısa vadeli zorluklar ortaya çıkar.
4	Yüksek Yoğunlukta Etki	Uzun vadeli zorluklar ortaya çıkar.
5	Çok Yüksek Yoğunlukta Etki	İş durma noktasına gelir. Telafi yoktur.

Rotalarla ilgili taşıma türü kısaltmaları:

KY: Karayolu

DY: Denizyolu

DEY: Demiryolu

İlgi ve desteğiniz için teşekkür ederiz.

Volkan ÇETİNKAYA

Dokuz Eylül Üniversitesi-

Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora

Öğrencisi

Adınız-Soyadınız:

Çalıştığınız kurumun adı:

Pozisyon/Ünvan:

Lütfen formda belirtilen Çiğli – Lodz merkezleri arasında yük taşıma için belirlenmiş rotalar ile ilgili verilen riskleri, risk olasılık ve risk etki ölçeklerini kullanarak puanlayınız.



Rota No-Ad:

Risk	Alt Risk	Olasılık	Etki	Risk	NOT
Güvenilirlik Kaybı Riski	Trafik yoğunluğu, kaza ve rota altyapı koşulları sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)				
	Araç kullanma süre sınırlamalarına uyulmaması sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Erken teslimat)				
	Aktarma merkezi ve gümrüklerdeki yoğunluklar sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)				
	Hava şartları sebebi ile teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar				
	Gümrük ile ilgili yanlış-eksik beyanlar sonucu teslimat süresinde %10 üzerinde sapmalar (Geç teslimat)				
Yük Hasar Riski	Rota kaynaklı trafik kazaları				
	Yağmur-kar suyu, deniz suyu sebebi ile yükün ıslanması				
	Komşu yükler veya konteyner kaynaklı kontaminasyon				
	Yanlış yükleme sebepli (dengesiz yükleme, gerekli yüklerle bağlama uygulanmaması) elleçleme ve taşıma esnasında oluşan kazalar				
	Gemide, aktarma merkezlerinde yanlış istifleme kaynaklı kazalar				

Rota No-Ad:

Risk	Alt Risk	Olaslık	Etki	Risk	NOT
Bürokratik Riskler	Gümrük politikası ve/veya mevzuat değişiklikleri				
	Rota ülkesi/ülkelerinde politik istikrarsızlık				
	Mevzuat farklılıkları, doküman yorumlama problemleri				
	Gümrük kapılarında EDI olmaması veya EDI sıkıntıları				
	IT sistemi saldırısı				

EK-4: 0-1 Hedef Programlama Modelleri

Ekonomik rota tespiti 1. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:06:37 PM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23 dvar boolean x_6;
24 dvar boolean x_7;
25
26 //expressions
27
28 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
29
30 // model
31
32 minimize deviation;
33
34 subject to {
35 cons01:
36 -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+38.9*x_6+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
37
38 cons02:
39 53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+166.7*x_6+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
40
41 cons03:
42 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+31.6*x_6+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
43
44 cons04:
45 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+20*x_5+35.3*x_6+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
46
47 cons05:
48 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_6+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
49
50 cons06:
51 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7==1;
52
53 cons07:
54 d_1plus>=0;
55
56 cons08:
57 d_2plus>=0;
58
59 cons09:
60 d_3plus>=0;
61
```

Page 1

ekonomik rota tespiti.mod

```
62 cons10:  
63 d_4plus>=0;  
64  
65 cons11:  
66 d_5plus>=0;  
67  
68 cons12:  
69 d_1minus>=0;  
70  
71 cons13:  
72 d_2minus>=0;  
73  
74 cons14:  
75 d_3minus>=0;  
76  
77 cons15:  
78 d_4minus>=0;  
79  
80 cons16:  
81 d_5minus>=0;  
82 }
```

Ekonomik rota tespiti 2. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti 2.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:17:56 PM
5 *****/
6 //variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23 dvar boolean x_7;
24
25 //expressiones
26
27 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
28
29 // model
30
31 minimize deviation;
32
33 subject to {
34   cons01:
35   -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
36
37   cons02:
38   53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
39
40   cons03:
41   26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
42
43   cons04:
44   21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
45
46   cons05:
47   54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
48
49   cons06:
50   x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_7==1;
51
52   cons07:
53   d_1plus>=0;
54
55   cons08:
56   d_2plus>=0;
57
58   cons09:
59   d_3plus>=0;
60
61   cons10:
```

Page 1

ekonomik rota tespiti 2.mod

```
62 d_4plus>=0;
63
64 cons11:
65 d_5plus>=0;
66
67 cons12:
68 d_1minus>=0;
69
70 cons13:
71 d_2minus>=0;
72
73 cons14:
74 d_3minus>=0;
75
76 cons15:
77 d_4minus>=0;
78
79 cons16:
80 d_5minus>=0;
81 }
```


Ekonomik rota tespiti 3. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti 3.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:29:38 PM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23
24 //expressiones
25
26 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
27
28 // model
29
30 minimize deviation;
31
32 subject to {
33 cons01:
34 -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
35
36 cons02:
37 53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
38
39 cons03:
40 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
41
42 cons04:
43 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
44
45 cons05:
46 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
47
48 cons06:
49 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5==1;
50
51 cons07:
52 d_1plus>=0;
53
54 cons08:
55 d_2plus>=0;
56
57 cons09:
58 d_3plus>=0;
59
60 cons10:
61 d_4plus>=0;
```

Page 1

ekonomik rota tespiti 3.mod

```
62
63  cons11:
64 d_5plus>=0;
65
66  cons12:
67 d_1minus>=0;
68
69  cons13:
70 d_2minus>=0;
71
72  cons14:
73 d_3minus>=0;
74
75  cons15:
76 d_4minus>=0;
77
78  cons16:
79 d_5minus>=0;
80 }
```

Ekonomik rota tespiti 4. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti 4.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:41:06 PM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_4;
21 dvar boolean x_5;
22
23 //expressiones
24
25 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
26
27 // model
28
29 minimize deviation;
30
31 subject to {
32 cons01:
33 -34.1*x_1-24.9*x_2+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
34
35 cons02:
36 53.3*x_1+86.7*x_2+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
37
38 cons03:
39 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
40
41 cons04:
42 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
43
44 cons05:
45 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
46
47 cons06:
48 x_1+x_2+x_4+x_5==1;
49
50 cons07:
51 d_1plus>=0;
52
53 cons08:
54 d_2plus>=0;
55
56 cons09:
57 d_3plus>=0;
58
59 cons10:
60 d_4plus>=0;
61
```

Page 1

ekonomik rota tespiti 4.mod

```
62 cons11:  
63 d_5plus>=0;  
64  
65 cons12:  
66 d_1minus>=0;  
67  
68 cons13:  
69 d_2minus>=0;  
70  
71 cons14:  
72 d_3minus>=0;  
73  
74 cons15:  
75 d_4minus>=0;  
76  
77 cons16:  
78 d_5minus>=0;  
79 }
```

Ekonomik rota tespiti 5. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti 5.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:51:59 PM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_5;
21
22 //expressiones
23
24 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
25
26 // model
27
28 minimize deviation;
29
30 subject to {
31 cons01:
32 -34.1*x_1-24.9*x_2-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
33
34 cons02:
35 53.3*x_1+86.7*x_2+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
36
37 cons03:
38 26*x_1+42.7*x_2+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
39
40 cons04:
41 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
42
43 cons05:
44 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
45
46 cons06:
47 x_1+x_2+x_5==1;
48
49 cons07:
50 d_1plus>=0;
51
52 cons08:
53 d_2plus>=0;
54
55 cons09:
56 d_3plus>=0;
57
58 cons10:
59 d_4plus>=0;
60
61 cons11:
```

Page 1

ekonomik rota tespiti 5.mod

```
62 d_5plus>=0;
63
64 cons12:
65 d_1minus>=0;
66
67 cons13:
68 d_2minus>=0;
69
70 cons14:
71 d_3minus>=0;
72
73 cons15:
74 d_4minus>=0;
75
76 cons16:
77 d_5minus>=0;
78 }
```

Ekonomik rota tespiti 6. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota tespiti 6.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 4:55:10 PM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_5;
20
21 //expressiones
22
23 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
24
25 // model
26
27 minimize deviation;
28
29 subject to {
30 cons01:
31 -34.1*x_1-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
32
33 cons02:
34 53.3*x_1+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
35
36 cons03:
37 26*x_1+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
38
39 cons04:
40 21.5*x_1+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
41
42 cons05:
43 54.4*x_1+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
44
45 cons06:
46 x_1+x_5==1;
47
48 cons07:
49 d_1plus>=0;
50
51 cons08:
52 d_2plus>=0;
53
54 cons09:
55 d_3plus>=0;
56
57 cons10:
58 d_4plus>=0;
59
60 cons11:
61 d_5plus>=0;
```

Page 1

ekonomik rota tespiti 6.mod

```
62
63 cons12:
64 d_1minus>=0;
65
66 cons13:
67 d_2minus>=0;
68
69 cons14:
70 d_3minus>=0;
71
72 cons15:
73 d_4minus>=0;
74
75 cons16:
76 d_5minus>=0;
77 }
```


Ekonomik rota tespiti 7. aşama hedef programlama modeli

ekonomik rota7.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 8:11:07 AM
5 *****/
6//variables
7
8 dvar float d_1plus;
9 dvar float d_2plus;
10 dvar float d_3plus;
11 dvar float d_4plus;
12 dvar float d_5plus;
13 dvar float d_1minus;
14 dvar float d_2minus;
15 dvar float d_3minus;
16 dvar float d_4minus;
17 dvar float d_5minus;
18 dvar boolean x_1;
19
20
21 //expressiones
22
23 dexpr float deviation = 0.01*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.004*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus);
24
25 // model
26
27 minimize deviation;
28
29 subject to {
30 cons01:
31 -34.1*x_1-d_1plus+d_1minus==38.9;
32
33 cons02:
34 53.3*x_1-d_2plus+d_2minus==100;
35
36 cons03:
37 26*x_1-d_3plus+d_3minus==42.7;
38
39 cons04:
40 21.5*x_1-d_4plus+d_4minus==36.4;
41
42 cons05:
43 54.4*x_1-d_5plus+d_5minus==66.2;
44
45 cons06:
46 x_1==1;
47
48 cons07:
49 d_1plus>=0;
50
51 cons08:
52 d_2plus>=0;
53
54 cons09:
55 d_3plus>=0;
56
57 cons10:
58 d_4plus>=0;
59
60 cons11:
61 d_5plus>=0;
```

Page 1

ekonomik rota7.mod

```
62
63 cons12:
64 d_1minus>=0;
65
66 cons13:
67 d_2minus>=0;
68
69   cons14:
70 d_3minus>=0;
71
72   cons15:
73 d_4minus>=0;
74
75   cons16:
76 d_5minus>=0;
77 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 1. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel rota1.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 18, 2019 at 11:14:39 PM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23 dvar boolean x_6;
24 dvar boolean x_7;
25
26 //expressiones
27
28 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.0046*
(d_3minus+d_3plus)+0.0032*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.0018*
(d_6minus+d_6plus);
29
30 // model
31
32 minimize deviation;
33
34 subject to {
35 cons01:
36 -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+38.9*x_6+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
37
38 cons02:
39 53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+166.7*x_6+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
40
41 cons03:
42 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+31.6*x_6+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
43
44 cons04:
45 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5+35.3*x_6+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
46
47 cons05:
48 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_6+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
49
50 cons06:
51 -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5+13.7*x_6+11.7*x_7-d_6plus+d_6minus==47.9;
52
53 cons07:
54 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7==1;
55
56 cons08:
57 d_1plus>=0;
58
59 cons09:
60 d_2plus>=0;
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota1.mod

```
61
62 cons10:
63 d_3plus>=0;
64
65 cons11:
66 d_4plus>=0;
67
68 cons12:
69 d_5plus>=0;
70
71 cons13:
72 d_6plus>=0;
73
74 cons14:
75 d_1minus>=0;
76
77 cons15:
78 d_2minus>=0;
79
80 cons16:
81 d_3minus>=0;
82
83 cons17:
84 d_4minus>=0;
85
86 cons18:
87 d_5minus>=0;
88
89 cons19:
90 d_6minus>=0;
91
92 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 2. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel rota2.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 12:41:06 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23 dvar boolean x_7;
24
25 //expresiones
26
27 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
28
29 // model
30
31 minimize deviation;
32
33 subject to {
34 cons01:
35 -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
36
37 cons02:
38 53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
39
40 cons03:
41 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
42
43 cons04:
44 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
45
46 cons05:
47 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
48
49 cons06:
50 -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5+11.7*x_7-d_6plus+d_6minus==47.9;
51 cons07:
52 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_7==1;
53
54 cons08:
55 d_1plus>=0;
56
57 cons09:
58 d_2plus>=0;
59
60 cons10:
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota2.mod

```
61 d_3plus>=0;
62
63 cons11:
64 d_4plus>=0;
65
66 cons12:
67 d_5plus>=0;
68
69 cons13:
70 d_1minus>=0;
71
72 cons14:
73 d_2minus>=0;
74
75 cons15:
76 d_3minus>=0;
77
78 cons16:
79 d_4minus>=0;
80
81 cons17:
82 d_5minus>=0;
83
84 cons18:
85 d_6minus>=0;
86
87 cons19:
88 d_6plus>=0;
89 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 3. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel rota3.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 12:48:19 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_3;
21 dvar boolean x_4;
22 dvar boolean x_5;
23
24 //expressiones
25
26 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
27
28 // model
29
30 minimize deviation;
31
32 subject to {
33 cons01:
34 -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
35
36 cons02:
37 53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
38
39 cons03:
40 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
41
42 cons04:
43 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
44
45 cons05:
46 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
47
48 cons06:
49 -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
50 cons07:
51 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5==1;
52
53 cons08:
54 d_1plus>=0;
55
56 cons09:
57 d_2plus>=0;
58
59 cons10:
60 d_3plus>=0;
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota3.mod

```
61
62 cons11:
63 d_4plus>=0;
64
65 cons12:
66 d_5plus>=0;
67
68 cons13:
69 d_1minus>=0;
70
71 cons14:
72 d_2minus>=0;
73
74 cons15:
75 d_3minus>=0;
76
77 cons16:
78 d_4minus>=0;
79
80 cons17:
81 d_5minus>=0;
82
83 cons18:
84 d_6minus>=0;
85
86 cons19:
87 d_6plus>=0;
88 }
```


Ekonomik-çevresel rota tespiti 4. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel rota4.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 12:53:42 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_2;
20 dvar boolean x_4;
21 dvar boolean x_5;
22
23 //expressiones
24
25 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
26
27 // model
28
29 minimize deviation;
30
31 subject to {
32 cons01:
33 -34.1*x_1-24.9*x_2+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
34
35 cons02:
36 53.3*x_1+86.7*x_2+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
37
38 cons03:
39 26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
40
41 cons04:
42 21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
43
44 cons05:
45 54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
46
47 cons06:
48 -34.3*x_1+47.9*x_2+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
49
50 cons07:
51 x_1+x_2+x_4+x_5==1;
52
53 cons08:
54 d_1plus>=0;
55
56 cons09:
57 d_2plus>=0;
58
59 cons10:
60 d_3plus>=0;
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota4.mod

```
61
62 cons11:
63 d_4plus>=0;
64
65 cons12:
66 d_5plus>=0;
67
68 cons13:
69 d_1minus>=0;
70
71 cons14:
72 d_2minus>=0;
73
74 cons15:
75 d_3minus>=0;
76
77 cons16:
78 d_4minus>=0;
79
80 cons17:
81 d_5minus>=0;
82
83 cons18:
84 d_6minus>=0;
85
86 cons19:
87 d_6plus>=0;
88 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 5. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel rota5.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 12:57:34 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_4;
20 dvar boolean x_5;
21
22 //expressiones
23
24 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
25
26 // model
27
28 minimize deviation;
29
30 subject to {
31 cons01:
32 -34.1*x_1+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
33
34 cons02:
35 53.3*x_1+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
36
37 cons03:
38 26*x_1+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
39
40 cons04:
41 21.5*x_1+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
42
43 cons05:
44 54.4*x_1+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
45
46 cons06:
47 -34.3*x_1+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
48
49 cons07:
50 x_1+x_4+x_5==1;
51
52 cons08:
53 d_1plus>=0;
54
55 cons09:
56 d_2plus>=0;
57
58 cons10:
59 d_3plus>=0;
60
```

ekonomik-cevresel rota5.mod

```
61 cons11:
62 d_4plus>=0;
63
64 cons12:
65 d_5plus>=0;
66
67 cons13:
68 d_1minus>=0;
69
70 cons14:
71 d_2minus>=0;
72
73 cons15:
74 d_3minus>=0;
75
76 cons16:
77 d_4minus>=0;
78
79 cons17:
80 d_5minus>=0;
81
82 cons18:
83 d_6minus>=0;
84
85 cons19:
86 d_6plus>=0;
87 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 6. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel rota6.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 1:01:31 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19 dvar boolean x_5;
20
21 //expresiones
22
23 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
24
25 // model
26
27 minimize deviation;
28
29 subject to {
30 cons01:
31 -34.1*x_1-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
32
33 cons02:
34 53.3*x_1+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
35
36 cons03:
37 26*x_1+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
38
39 cons04:
40 21.5*x_1+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
41
42 cons05:
43 54.4*x_1+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
44
45 cons06:
46 -34.3*x_1+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
47
48 cons07:
49 x_1+x_5==1;
50
51 cons08:
52 d_1plus>=0;
53
54 cons09:
55 d_2plus>=0;
56
57 cons10:
58 d_3plus>=0;
59
60 cons11:
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota6.mod

```
61 d_4plus>=0;
62
63 cons12:
64 d_5plus>=0;
65
66 cons13:
67 d_1minus>=0;
68
69 cons14:
70 d_2minus>=0;
71
72 cons15:
73 d_3minus>=0;
74
75 cons16:
76 d_4minus>=0;
77
78 cons17:
79 d_5minus>=0;
80
81 cons18:
82 d_6minus>=0;
83
84 cons19:
85 d_6plus>=0;
86 }
```

Ekonomik-çevresel rota tespiti 7. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel rota7.mod

```
1/*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 8:08:26 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7 dvar float d_2plus;
8 dvar float d_3plus;
9 dvar float d_4plus;
10 dvar float d_5plus;
11 dvar float d_6plus;
12 dvar float d_1minus;
13 dvar float d_2minus;
14 dvar float d_3minus;
15 dvar float d_4minus;
16 dvar float d_5minus;
17 dvar float d_6minus;
18 dvar boolean x_1;
19
20 //expressiones
21
22 dexpr float deviation = 0.009*(d_1minus+d_1plus)+0.002*(d_2minus+d_2plus)+0.005*
(d_3minus+d_3plus)+0.003*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.002*
(d_6minus+d_6plus);
23
24 // model
25
26 minimize deviation;
27
28 subject to {
29   cons01:
30   -34.1*x_1-d_1plus+d_1minus==38.9;
31
32   cons02:
33   53.3*x_1-d_2plus+d_2minus==100;
34
35   cons03:
36   26*x_1-d_3plus+d_3minus==42.7;
37
38   cons04:
39   21.5*x_1-d_4plus+d_4minus==36.4;
40
41   cons05:
42   54.4*x_1-d_5plus+d_5minus==66.2;
43
44   cons06:
45   -34.3*x_1-d_6plus+d_6minus==47.9;
46
47   cons07:
48   x_1==1;
49
50   cons08:
51   d_1plus>=0;
52
53   cons09:
54   d_2plus>=0;
55
56   cons10:
57   d_3plus>=0;
58
59   cons11:
60   d_4plus>=0;
```

Page 1

ekonomik-cevresel rota7.mod

```
61
62 cons12:
63 d_5plus>=0;
64
65 cons13:
66 d_1minus>=0;
67
68 cons14:
69 d_2minus>=0;
70
71 cons15:
72 d_3minus>=0;
73
74 cons16:
75 d_4minus>=0;
76
77 cons17:
78 d_5minus>=0;
79
80 cons18:
81 d_6minus>=0;
82
83 cons19:
84 d_6plus>=0;
85 }
```


Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 1. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel-sosyal rota1.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 7:22:43 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23  dvar boolean x_2;
24  dvar boolean x_3;
25  dvar boolean x_4;
26  dvar boolean x_5;
27  dvar boolean x_6;
28  dvar boolean x_7;
29
30 //expressiones
31
32 dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
(d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
(d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
33
34 // model
35
36 minimize deviation;
37
38 subject to {
39   cons01:
40   -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+38.9*x_6+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
41
42   cons02:
43   53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+166.7*x_6+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
44
45   cons03:
46   26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+31.6*x_6+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
47
48   cons04:
49   21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5+35.3*x_6+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
50
51   cons05:
52   54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_6+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
53
54   cons06:
55   -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5+13.7*x_6+11.7*x_7-d_6plus+d_6minus==47.9;
56
57   cons07:
58   -67.1*x_1+36.1*x_2+57.6*x_3+58.3*x_4+64.7*x_5+57.6*x_6+57*x_7-d_7plus+d_7minus==64.7;
59
60   cons08:
```

Page 1

ekonomik-cevresel-sosyal rota1.mod

```
61 62.8*x_1+67.6*x_2+85*x_3+85*x_4+84.1*x_5+85*x_6+85*x_7-d_8plus+d_8minus==85;
62
63 cons09:
64 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7==1;
65
66 cons10:
67 d_1plus>=0;
68
69 cons11:
70 d_2plus>=0;
71
72 cons12:
73 d_3plus>=0;
74
75 cons13:
76 d_4plus>=0;
77
78 cons14:
79 d_5plus>=0;
80
81 cons15:
82 d_6plus>=0;
83
84 cons16:
85 d_7plus>=0;
86
87 cons17:
88 d_8plus>=0;
89
90 cons18:
91 d_1minus>=0;
92
93 cons19:
94 d_2minus>=0;
95
96 cons20:
97 d_3minus>=0;
98
99 cons21:
100 d_4minus>=0;
101
102 cons22:
103 d_5minus>=0;
104
105 cons23:
106 d_6minus>=0;
107
108 cons24:
109 d_7minus>=0;
110
111 cons25:
112 d_8minus>=0;
113 }
```

Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 2. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel-sosyal rota2.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 7:39:34 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23  dvar boolean x_2;
24  dvar boolean x_3;
25  dvar boolean x_4;
26  dvar boolean x_5;
27  dvar boolean x_7;
28
29 //expressiones
30
31 dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
(d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
(d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
32
33 // model
34
35 minimize deviation;
36
37 subject to {
38   cons01:
39     -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5+27.3*x_7-d_1plus+d_1minus==38.9;
40
41   cons02:
42     53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5+160*x_7-d_2plus+d_2minus==100;
43
44   cons03:
45     26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5+29.6*x_7-d_3plus+d_3minus==42.7;
46
47   cons04:
48     21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5+35.3*x_7-d_4plus+d_4minus==36.4;
49
50   cons05:
51     54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5+65.4*x_7-d_5plus+d_5minus==66.2;
52
53   cons06:
54     -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5+11.7*x_7-d_6plus+d_6minus==47.9;
55
56   cons07:
57     -67.1*x_1+36.1*x_2+57.6*x_3+58.3*x_4+64.7*x_5+57*x_7-d_7plus+d_7minus==64.7;
58
59   cons08:
60     62.8*x_1+67.6*x_2+85*x_3+85*x_4+84.1*x_5+85*x_7-d_8plus+d_8minus==85.1;
```

Page 1

```
61
62 cons09:
63 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_7==1;
64
65 cons10:
66 d_1plus>=0;
67
68 cons11:
69 d_2plus>=0;
70
71 cons12:
72 d_3plus>=0;
73
74 cons13:
75 d_4plus>=0;
76
77 cons14:
78 d_5plus>=0;
79
80 cons15:
81 d_6plus>=0;
82
83 cons16:
84 d_7plus>=0;
85
86 cons17:
87 d_8plus>=0;
88
89 cons18:
90 d_1minus>=0;
91
92 cons19:
93 d_2minus>=0;
94
95 cons20:
96 d_3minus>=0;
97
98 cons21:
99 d_4minus>=0;
100
101 cons22:
102 d_5minus>=0;
103
104 cons23:
105 d_6minus>=0;
106
107 cons24:
108 d_7minus>=0;
109
110 cons25:
111 d_8minus>=0;
112 }
```

Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 3. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel-sosyal rota3.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 7:45:09 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23  dvar boolean x_2;
24  dvar boolean x_3;
25  dvar boolean x_4;
26  dvar boolean x_5;
27
28
29 //expressiones
30
31 dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
(d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
(d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
32
33 // model
34
35 minimize deviation;
36
37 subject to {
38   cons01:
39     -34.1*x_1-24.9*x_2+15.5*x_3+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
40
41   cons02:
42     53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
43
44   cons03:
45     26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_3+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
46
47   cons04:
48     21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_3+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
49
50   cons05:
51     54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_3+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
52
53   cons06:
54     -34.3*x_1+47.9*x_2+12.3*x_3+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
55
56   cons07:
57     -67.1*x_1+36.1*x_2+57.6*x_3+58.3*x_4+64.7*x_5-d_7plus+d_7minus==64.7;
58
59   cons08:
60     62.8*x_1+67.6*x_2+85*x_3+85*x_4+84.1*x_5-d_8plus+d_8minus==85.1;
```

Page 1

```
61
62 cons09:
63 x_1+x_2+x_3+x_4+x_5==1;
64
65 cons10:
66 d_1plus>=0;
67
68 cons11:
69 d_2plus>=0;
70
71 cons12:
72 d_3plus>=0;
73
74 cons13:
75 d_4plus>=0;
76
77 cons14:
78 d_5plus>=0;
79
80 cons15:
81 d_6plus>=0;
82
83 cons16:
84 d_7plus>=0;
85
86 cons17:
87 d_8plus>=0;
88
89 cons18:
90 d_1minus>=0;
91
92 cons19:
93 d_2minus>=0;
94
95 cons20:
96 d_3minus>=0;
97
98 cons21:
99 d_4minus>=0;
100
101 cons22:
102 d_5minus>=0;
103
104 cons23:
105 d_6minus>=0;
106
107 cons24:
108 d_7minus>=0;
109
110 cons25:
111 d_8minus>=0;
112 }
```

Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 4. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel-sosyal rota4.mod

```
1 /*****  
2 * OPL 12.8.0.0 Model  
3 * Author: Volkan Cetinkaya  
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 7:50:37 AM  
5 *****/  
6 dvar float d_1plus;  
7   dvar float d_2plus;  
8   dvar float d_3plus;  
9   dvar float d_4plus;  
10  dvar float d_5plus;  
11  dvar float d_6plus;  
12  dvar float d_7plus;  
13  dvar float d_8plus;  
14  dvar float d_1minus;  
15  dvar float d_2minus;  
16  dvar float d_3minus;  
17  dvar float d_4minus;  
18  dvar float d_5minus;  
19  dvar float d_6minus;  
20  dvar float d_7minus;  
21  dvar float d_8minus;  
22  dvar boolean x_1;  
23  dvar boolean x_2;  
24  dvar boolean x_4;  
25  dvar boolean x_5;  
26  
27  
28 //expressiones  
29  
30 dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*  
   (d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*  
   (d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);  
31  
32 // model  
33  
34 minimize deviation;  
35  
36 subject to {  
37   cons01:  
38   -34.1*x_1-24.9*x_2+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;  
39  
40   cons02:  
41   53.3*x_1+86.7*x_2+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;  
42  
43   cons03:  
44   26*x_1+42.7*x_2+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;  
45  
46   cons04:  
47   21.5*x_1+36.4*x_2+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;  
48  
49   cons05:  
50   54.4*x_1+66.2*x_2+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;  
51  
52   cons06:  
53   -34.3*x_1+47.9*x_2+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;  
54  
55   cons07:  
56   -67.1*x_1+36.1*x_2+58.3*x_4+64.7*x_5-d_7plus+d_7minus==64.7;  
57  
58   cons08:  
59   62.8*x_1+67.6*x_2+85*x_4+84.1*x_5-d_8plus+d_8minus==85.1;  
60
```



```
61 cons09:
62 x_1+x_2+x_4+x_5==1;
63
64 cons10:
65 d_1plus>=0;
66
67 cons11:
68 d_2plus>=0;
69
70 cons12:
71 d_3plus>=0;
72
73 cons13:
74 d_4plus>=0;
75
76 cons14:
77 d_5plus>=0;
78
79 cons15:
80 d_6plus>=0;
81
82 cons16:
83 d_7plus>=0;
84
85 cons17:
86 d_8plus>=0;
87
88 cons18:
89 d_1minus>=0;
90
91 cons19:
92 d_2minus>=0;
93
94 cons20:
95 d_3minus>=0;
96
97 cons21:
98 d_4minus>=0;
99
100 cons22:
101 d_5minus>=0;
102
103 cons23:
104 d_6minus>=0;
105
106 cons24:
107 d_7minus>=0;
108
109 cons25:
110 d_8minus>=0;
111 }
```


Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 5. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel-sosyal rota5.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 7:59:04 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23  dvar boolean x_4;
24  dvar boolean x_5;
25
26
27 //expresiones
28
29 dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
(d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
(d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
30
31 // model
32
33 minimize deviation;
34
35 subject to {
36   cons01:
37   -34.1*x_1+3.8*x_4-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
38
39   cons02:
40   53.3*x_1+220*x_4+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
41
42   cons03:
43   26*x_1+29.6*x_4+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
44
45   cons04:
46   21.5*x_1+35.3*x_4+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
47
48   cons05:
49   54.4*x_1+65.4*x_4+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
50
51   cons06:
52   -34.3*x_1+12.7*x_4+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
53
54   cons07:
55   -67.1*x_1+58.3*x_4+64.7*x_5-d_7plus+d_7minus==64.7;
56
57   cons08:
58   62.8*x_1+85*x_4+84.1*x_5-d_8plus+d_8minus==85.1;
59
60 cons09:
```

```
61 x_1+x_4+x_5==1;
62
63 cons10:
64 d_1plus>=0;
65
66 cons11:
67 d_2plus>=0;
68
69 cons12:
70 d_3plus>=0;
71
72 cons13:
73 d_4plus>=0;
74
75 cons14:
76 d_5plus>=0;
77
78 cons15:
79 d_6plus>=0;
80
81 cons16:
82 d_7plus>=0;
83
84 cons17:
85 d_8plus>=0;
86
87 cons18:
88 d_1minus>=0;
89
90 cons19:
91 d_2minus>=0;
92
93 cons20:
94 d_3minus>=0;
95
96 cons21:
97 d_4minus>=0;
98
99 cons22:
100 d_5minus>=0;
101
102 cons23:
103 d_6minus>=0;
104
105 cons24:
106 d_7minus>=0;
107
108 cons25:
109 d_8minus>=0;
110 }
```

Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 6. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-çevresel-sosyal rota6.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 8:01:58 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23  dvar boolean x_5;
24
25
26 //expressiones
27
28  dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
   (d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
   (d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
29
30 // model
31
32 minimize deviation;
33
34 subject to {
35   cons01:
36   -34.1*x_1-9*x_5-d_1plus+d_1minus==38.9;
37
38   cons02:
39   53.3*x_1+186.7*x_5-d_2plus+d_2minus==100;
40
41   cons03:
42   26*x_1+24.8*x_5-d_3plus+d_3minus==42.7;
43
44   cons04:
45   21.5*x_1+35.3*x_5-d_4plus+d_4minus==36.4;
46
47   cons05:
48   54.4*x_1+65.4*x_5-d_5plus+d_5minus==66.2;
49
50   cons06:
51   -34.3*x_1+14.7*x_5-d_6plus+d_6minus==47.9;
52
53   cons07:
54   -67.1*x_1+64.7*x_5-d_7plus+d_7minus==64.7;
55
56   cons08:
57   62.8*x_1+84.1*x_5-d_8plus+d_8minus==85.1;
58
59   cons09:
60   x_1+x_5==1;
```

Page 1

```
61
62 cons10:
63 d_1plus>=0;
64
65 cons11:
66 d_2plus>=0;
67
68 cons12:
69 d_3plus>=0;
70
71 cons13:
72 d_4plus>=0;
73
74 cons14:
75 d_5plus>=0;
76
77 cons15:
78 d_6plus>=0;
79
80 cons16:
81 d_7plus>=0;
82
83 cons17:
84 d_8plus>=0;
85
86 cons18:
87 d_1minus>=0;
88
89 cons19:
90 d_2minus>=0;
91
92 cons20:
93 d_3minus>=0;
94
95 cons21:
96 d_4minus>=0;
97
98 cons22:
99 d_5minus>=0;
100
101 cons23:
102 d_6minus>=0;
103
104 cons24:
105 d_7minus>=0;
106
107 cons25:
108 d_8minus>=0;
109 }
```

Ekonomik-çevresel-sosyal rota tespiti 7. aşama hedef programlama modeli

ekonomik-cevresel-sosyal rota7.mod

```
1 /*****
2 * OPL 12.8.0.0 Model
3 * Author: Volkan Cetinkaya
4 * Creation Date: Aug 19, 2019 at 8:04:43 AM
5 *****/
6 dvar float d_1plus;
7   dvar float d_2plus;
8   dvar float d_3plus;
9   dvar float d_4plus;
10  dvar float d_5plus;
11  dvar float d_6plus;
12  dvar float d_7plus;
13  dvar float d_8plus;
14  dvar float d_1minus;
15  dvar float d_2minus;
16  dvar float d_3minus;
17  dvar float d_4minus;
18  dvar float d_5minus;
19  dvar float d_6minus;
20  dvar float d_7minus;
21  dvar float d_8minus;
22  dvar boolean x_1;
23
24
25 //expressiones
26
27  dexpr float deviation = 0.0077*(d_1minus+d_1plus)+0.0017*(d_2minus+d_2plus)+0.004*
(d_3minus+d_3plus)+0.0027*(d_4minus+d_4plus)+0.0006*(d_5minus+d_5plus)+0.00166*
(d_6minus+d_6plus)+0.00123*(d_7minus+d_7plus)+0.0007*(d_8minus+d_8plus);
28
29 // model
30
31 minimize deviation;
32
33 subject to {
34  cons01:
35  -34.1*x_1-d_1plus+d_1minus==38.9;
36
37  cons02:
38  53.3*x_1-d_2plus+d_2minus==100;
39
40  cons03:
41  26*x_1-d_3plus+d_3minus==42.7;
42
43  cons04:
44  21.5*x_1-d_4plus+d_4minus==36.4;
45
46  cons05:
47  54.4*x_1-d_5plus+d_5minus==66.2;
48
49  cons06:
50  -34.3*x_1-d_6plus+d_6minus==47.9;
51
52  cons07:
53  -67.1*x_1-d_7plus+d_7minus==64.7;
54
55  cons08:
56  62.8*x_1-d_8plus+d_8minus==85.1;
57
58  cons09:
59  x_1==1;
60
```

Page 1

```
61 cons10:
62 d_1plus>=0;
63
64 cons11:
65 d_2plus>=0;
66
67 cons12:
68 d_3plus>=0;
69
70 cons13:
71 d_4plus>=0;
72
73 cons14:
74 d_5plus>=0;
75
76 cons15:
77 d_6plus>=0;
78
79 cons16:
80 d_7plus>=0;
81
82 cons17:
83 d_8plus>=0;
84
85 cons18:
86 d_1minus>=0;
87
88 cons19:
89 d_2minus>=0;
90
91 cons20:
92 d_3minus>=0;
93
94 cons21:
95 d_4minus>=0;
96
97 cons22:
98 d_5minus>=0;
99
100 cons23:
101 d_6minus>=0;
102
103 cons24:
104 d_7minus>=0;
105
106 cons25:
107 d_8minus>=0;
108 }
```

EK-5: 0-1 Hedef Programlama Optimizasyon Sonuçları

Ekonomik Rota Tespiti 1. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.194

Name	Value
Decision variables (17)	
.0 d_1minus	0
.0 d_1plus	0
.0 d_2minus	0
.0 d_2plus	66.7
.0 d_3minus	11.1
.0 d_3plus	0
.0 d_4minus	1.1
.0 d_4plus	0
.0 d_5minus	0.8
.0 d_5plus	0
10 x_1	0
10 x_2	0
10 x_3	0
10 x_4	0
10 x_5	0
10 x_6	1
10 x_7	0
Decision expressions (1)	

Ekonomik Rota Tespiti 2. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.306

Name	Value
Decision variables (16)	
.0 d_1minus	11.6
.0 d_1plus	0
.0 d_2minus	0
.0 d_2plus	60
.0 d_3minus	13.1
.0 d_3plus	0
.0 d_4minus	1.1
.0 d_4plus	0
.0 d_5minus	0.8
.0 d_5plus	0
10 x_1	0
10 x_2	0
10 x_3	0
10 x_4	0
10 x_5	0
10 x_7	1
Decision expressions (1)	
> .0 deviation	0.30638

Ekonomik Rota Tespiti 3. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.438

Name	Value
Decision variables (15)	
d_1minus	23.4
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	66.7
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
x_1	0
x_2	0
x_3	1
x_4	0
x_5	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.43778
Constraints (16)	

Ekonomik Rota Tespiti 4. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.661

Name	Value
Decision variables (14)	
d_1minus	35.1
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	120
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
x_1	0
x_2	0
x_4	1
x_5	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.66138
Constraints (16)	
cons01	$(-34.1)*x_1 + (-24.9)*x_2 + 3.8*x_4...$

Ekonomik Rota Tespiti 5. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.665

Name	Value
Decision variables (13)	
.o d_1minus	63.8
.o d_1plus	0
.o d_2minus	13.3
.o d_2plus	0
.o d_3minus	0
.o d_3plus	0
.o d_4minus	0
.o d_4plus	0
.o d_5minus	0
.o d_5plus	0
10 x_1	0
10 x_2	1
10 x_5	0
Decision expressions (1)	
> .o deviation	0.6646
Constraints (16)	
> ** cons01	$(-34.1)*x_1+(-24.9)*x_2+(-9)*x_...$
> ** cons02	$53.3*x_1+86.7*x_2+186.7*x_5+(...$

Ekonomik Rota Tespiti 6. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.747

Name	Value
Decision variables (12)	
.o d_1minus	47.9
.o d_1plus	0
.o d_2minus	0
.o d_2plus	86.7
.o d_3minus	17.9
.o d_3plus	0
.o d_4minus	1.1
.o d_4plus	0
.o d_5minus	0.8
.o d_5plus	0
10 x_1	0
10 x_5	1
Decision expressions (1)	
> .o deviation	0.74678
Constraints (16)	
> ** cons01	$(-34.1)*x_1+(-9)*x_5+(-1)*d_1pl...$
> ** cons02	$53.3*x_1+186.7*x_5+(-1)*d_2pl...$
> ** cons03	$26*x_1+24.8*x_5+(-1)*d_3plus+...$

Ekonomik Rota Tespiti 7. Aşama Sonucu

Problem browser [x] Variables Breakpoints [1] [2]

Solution with objective 0.974

Name	Value
Decision variables (11)	
d_1minus	73
d_1plus	0
d_2minus	46.7
d_2plus	0
d_3minus	16.7
d_3plus	0
d_4minus	14.9
d_4plus	0
d_5minus	11.8
d_5plus	0
x_1	1
Decision expressions (1)	
deviation	0.97358
Constraints (16)	
cons01	$(-34.1)*x_1+(-1)*d_1plus+d_1minus == \dots$
cons02	$53.3*x_1+(-1)*d_2plus+d_2minus == 100$
cons03	$26*x_1+(-1)*d_3plus+d_3minus == 42.7$
cons04	$21.5*x_1+(-1)*d_4plus+d_4minus == 3\dots$
cons05	$54.4*x_1+(-1)*d_5plus+d_5minus == 6\dots$
cons06	$x_1 == 1$
cons07	$0 \leq d_1plus$
cons08	$0 \leq d_2plus$
cons09	$0 \leq d_3plus$
cons10	$0 \leq d_4plus$

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 1. Aşama Sonucu

Problem browser [x] Variables Breakpoints [1] [2]

Solution with objective 0.25

Name	Value
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	34.2
d_6plus	0
x_1	0
x_2	0
x_3	0
x_4	0
x_5	0
x_6	1
x_7	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.25002
Constraints (19)	
cons01	$(-34.1)*x_1+(-24.9)*x_2+15.5*x_{\dots}$
cons02	$53.3*x_1+86.7*x_2+166.7*x_3+2\dots$

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 2. Aşama Sonucu

Problem browser (1) Variables Breakpoints

Solution with objective 0.366

Name	Value
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	60
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	36.2
d_6plus	0
x_1	0
x_2	0
x_3	0
x_4	0
x_5	0
x_7	1

Decision expressions (1)

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 3. Aşama Sonucu

Problem browser (1) Variables Breakpoints

Solution with objective 0.484

Name	Value
d_1minus	23.4
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	66.7
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	35.6
d_6plus	0
x_1	0
x_2	0
x_3	1
x_4	0
x_5	0

Decision expressions (1)

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 4. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.601

Name	Value
Decision variables (16)	
d_1minus	63.8
d_1plus	0
d_2minus	13.3
d_2plus	0
d_3minus	0
d_3plus	0
d_4minus	0
d_4plus	0
d_5minus	0
d_5plus	0
d_6minus	0
d_6plus	0
x_1	0
x_2	1
x_4	0
x_5	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.6008

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 5. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.696

Name	Value
Decision variables (15)	
d_1minus	35.1
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	120
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	35.2
d_6plus	0
x_1	0
x_4	1
x_5	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.69558
Constraints (19)	

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 6. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.764

Name	Value
Decision variables (14)	
d_1minus	47.9
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	86.7
d_3minus	17.9
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	33.2
d_6plus	0
x_1	0
x_5	1
Decision expressions (1)	
deviation	0.76418
Constraints (19)	
cons01	$(-34.1)*x_1+(-9)*x_5+(-1)*d_1plus+d_1...$

Ekonomik-Çevresel Rota Tespiti 7. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 1.05

Name	Value
Decision variables (13)	
d_1minus	73
d_1plus	0
d_2minus	46.7
d_2plus	0
d_3minus	16.7
d_3plus	0
d_4minus	14.9
d_4plus	0
d_5minus	11.8
d_5plus	0
d_6minus	82.2
d_6plus	0
x_1	1
Decision expressions (1)	
deviation	1.0501
Constraints (19)	
cons01	$(-34.1)*x_1+(-1)*d_1plus+d_1minus == ...$
cons02	$53.3*x_1+(-1)*d_2plus+d_2minus == 100$
cons03	$26*x_1+(-1)*d_3plus+d_3minus == 42.7$
cons04	$21.5*x_1+(-1)*d_4plus+d_4minus == 3...$
cons05	$54.4*x_1+(-1)*d_5plus+d_5minus == 6...$
cons06	$(-34.3)*x_1+(-1)*d_6plus+d_6minus == ...$
cons07	$x_1 == 1$
cons08	$0 \leq d_1plus$

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 1. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.227

Name	Value
.0 d_2plus	66.7
.0 d_3minus	11.1
.0 d_3plus	0
.0 d_4minus	1.1
.0 d_4plus	0
.0 d_5minus	0.8
.0 d_5plus	0
.0 d_6minus	34.2
.0 d_6plus	0
.0 d_7minus	7.1
.0 d_7plus	0
.0 d_8minus	0
.0 d_8plus	0
10 x_1	0
10 x_2	0
10 x_3	0
10 x_4	0
10 x_5	0
10 x_6	1
10 x_7	0
Decision expressions (1)	
> .0 deviation	0.22674
Constraints (25)	
> ** cons01	$(-34.1)*x_1 + (-24.9)*x_2 + 15.5*x_3 + 3.8*x_4 + \dots$
> ** cons02	$53.3*x_1 + 86.7*x_2 + 166.7*x_3 + 220*x_4 + \dots$

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 2. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.317

	Name	Value
✓	Decision variables (22)	
.0	d_1minus	11.6
.0	d_1plus	0
.0	d_2minus	0
.0	d_2plus	60
.0	d_3minus	13.1
.0	d_3plus	0
.0	d_4minus	1.1
.0	d_4plus	0
.0	d_5minus	0.8
.0	d_5plus	0
.0	d_6minus	36.2
.0	d_6plus	0
.0	d_7minus	7.7
.0	d_7plus	0
.0	d_8minus	0.1
.0	d_8plus	0
"	x_1	0
"	x_2	0
"	x_3	0
"	x_4	0
"	x_5	0
"	x_7	1
✓	Decision expressions (1)	
> .0	deviation	0.3168

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 3. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.417

Name	Value
Decision variables (21)	
.0 d_1minus	23.4
.0 d_1plus	0
.0 d_2minus	0
.0 d_2plus	66.7
.0 d_3minus	13.1
.0 d_3plus	0
.0 d_4minus	1.1
.0 d_4plus	0
.0 d_5minus	0.8
.0 d_5plus	0
.0 d_6minus	35.6
.0 d_6plus	0
.0 d_7minus	7.1
.0 d_7plus	0
.0 d_8minus	0.1
.0 d_8plus	0
10 x_1	0
10 x_2	0
10 x_3	1
10 x_4	0
10 x_5	0
Decision expressions (1)	
> .0 deviation	0.41732
Constraints (25)	

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 4. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.601

	Name	Value
▼	Decision variables (16)	
.0	d_1minus	63.8
.0	d_1plus	0
.0	d_2minus	13.3
.0	d_2plus	0
.0	d_3minus	0
.0	d_3plus	0
.0	d_4minus	0
.0	d_4plus	0
.0	d_5minus	0
.0	d_5plus	0
.0	d_6minus	0
.0	d_6plus	0
10	x_1	0
10	x_2	1
10	x_4	0
10	x_5	0
▼	Decision expressions (1)	
> .0	deviation	0.6008
▼	Constraints (19)	
> **	cons01	$(-34.1)*x_1 + (-24.9)*x_2 + 3.8*x_4 + (-9)*x_5...$
> **	cons02	$53.3*x_1 + 86.7*x_2 + 220*x_4 + 186.7*x_5...$
> **	cons03	$26*x_1 + 42.7*x_2 + 29.6*x_4 + 24.8*x_5 + (-...$
> **	cons04	$21.5*x_1 + 36.4*x_2 + 35.3*x_4 + 35.3*x_5 + ...$
> **	cons05	$54.4*x_1 + 66.2*x_2 + 65.4*x_4 + 65.4*x_5 + ...$

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 5. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.596

Name	Value
Decision variables (19)	
d_1minus	35.1
d_1plus	0
d_2minus	0
d_2plus	120
d_3minus	13.1
d_3plus	0
d_4minus	1.1
d_4plus	0
d_5minus	0.8
d_5plus	0
d_6minus	35.2
d_6plus	0
d_7minus	6.4
d_7plus	0
d_8minus	0.1
d_8plus	0
x_1	0
x_4	1
x_5	0
Decision expressions (1)	
deviation	0.59649
Constraints (25)	
cons01	$(-34.1)x_1 + 3.8x_4 + (-9)x_5 + (-1)d_1p...$
cons02	$53.3x_1 + 220x_4 + 186.7x_5 + (-1)d_2p...$

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 6. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 0.647

	Name	Value
Decision variables (18)		
.0	d_1minus	47.9
.0	d_1plus	0
.0	d_2minus	0
.0	d_2plus	86.7
.0	d_3minus	17.9
.0	d_3plus	0
.0	d_4minus	1.1
.0	d_4plus	0
.0	d_5minus	0.8
.0	d_5plus	0
.0	d_6minus	33.2
.0	d_6plus	0
.0	d_7minus	0
.0	d_7plus	0
.0	d_8minus	1
.0	d_8plus	0
10	x_1	0
10	x_5	1
Decision expressions (1)		
> .0	deviation	0.64708
Constraints (25)		
> **	cons01	$(-34.1)*x_1+(-9)*x_5+(-1)*d_1plus+d_1...$
> **	cons02	$53.3*x_1+186.7*x_5+(-1)*d_2plus+d_2...$
> **	cons03	$26*x_1+24.8*x_5+(-1)*d_3plus+d_3min...$

Ekonomik-Çevresel-Sosyal Rota Tespiti 7. Aşama Sonucu

Problem browser (x)= Variables Breakpoints

Solution with objective 1.07

Name	Value
Decision variables (17)	
.0 d_1minus	73
.0 d_1plus	0
.0 d_2minus	46.7
.0 d_2plus	0
.0 d_3minus	16.7
.0 d_3plus	0
.0 d_4minus	14.9
.0 d_4plus	0
.0 d_5minus	11.8
.0 d_5plus	0
.0 d_6minus	82.2
.0 d_6plus	0
.0 d_7minus	131.8
.0 d_7plus	0
.0 d_8minus	22.3
.0 d_8plus	0
10 x_1	1
Decision expressions (1)	
> .0 deviation	1.0698
Constraints (25)	
> ** cons01	$(-34.1)*x_1+(-1)*d_1plus+d_1minus == \dots$
> ** cons02	$53.3*x_1+(-1)*d_2plus+d_2minus == 100$
> ** cons03	$26*x_1+(-1)*d_3plus+d_3minus == 42.7$
> ** cons04	$21.5*x_1+(-1)*d_4plus+d_4minus == 3\dots$