

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

**ÇOK MODLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNA
YÖNELİK BİR UYGULAMA**

Sevgi EŞİYOK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA / 2021

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

**ÇOK MODLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNA
YÖNELİK BİR UYGULAMA**

Sevgi EŞİYOK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mert Demircioğlu

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Erkut Düzakın

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Mustafa Göçken

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA / 2021

ÖZET

ÇOK MODLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR UYGULAMA

Sevgi EŞİYOK

Yüksek Lisans Tezi, İşletme Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mert Demircioğlu

Ocak 2021, 87 sayfa

Hizmet faaliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan lojistik ve taşımacılık faaliyetleri, işletmelerin rekabet gücü ve müşterilerin memnuniyeti açısından büyük bir öneme sahiptir. Dağıtım ağlarında karşılaşılan zaman problemleri ve gün geçtikçe artan şirketler arası rekabetler lojistik sistemlerini daha karmaşık hale getirmiştir. Bu karmaşık sistem içerisinde müşteri memnuniyetinin gerçekleştirilmesi ve bu rekabet ortamı içerisinde belirli bir yer edinilebilmesi için belirli performans kriterlerinin sağlanması gerekmektedir. Söz konusu performansın sağlanabilmesi için lojistik kaynakların ve zamanın en uygun şekilde kullanılması gerekir.

Bu tez çalışmasında firma için belirlenen rotada yerel depo ile başlayıp talep noktaları ile son bulan, dört aşamadan oluşan üç farklı taşıma ağı senaryosu oluşturulmuştur. Taşıma ağlarında farklı aşamalarda kara yolu, deniz yolu ve demir yolu taşıma modları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında dağıtım faaliyetlerinde bulunan lojistik hizmet sağlayıcıların taşıma ağlarını oluştururken taşıma modlarının sağladıkları avantaj ve dezavantajlar üzerinde durulmuştur. Arz noktası ile başlayıp talep noktası ile son bulan ağ sürecinde öncelikle toplam taşıma süresi minimize edilmeye çalışılarak tedarik ve talep noktaları arasındaki her aşamada taşınan yük optimize edilmiştir. Çok modlu taşımacılık problemi ile ilgili mevcut literatür çalışmaları incelenmiş, ilgili çalışmalar doğrultusunda bir model tasarlanarak bir dağıtım firmasında uygulama yapılmıştır. Firma için oluşturulan üç farklı senaryo ile elde edilen veriler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok modlu taşımacılık, yük taşıma planlaması, lojistik sistemleri.

ABSTRACT**AN APPLICATION FOR OPTIMIZATION OF MULTIMODAL
TRANSPORTATION SYSTEMS****Sevgi EŞİYOK****Master Thesis, Department of Business Administration****Supervisor: Asst. Prof. Mert DEMİRCİOĞLU****January 2021, 87 pages**

Logistics and transportation activities, which include a large part of service activities, have great importance in terms of competitiveness of enterprises and customer satisfaction. Time problems in distribution networks and increasing intercompany competition have made logistics systems more complex. In this complex system, it is necessary to provide specific performance criteria in order to achieve customer satisfaction and to gain a certain place in this competitive environment. In order to achieve this performance, logistics resources and time should be used in the most appropriate way.

In this thesis, three different transportation network scenarios, consisting of four stages, starting with the local warehouse and ending with the demand points on the route determined for the company, were created. Road, sea and rail transport modes have been used at different stages in transportation networks. Within the scope of the study, advantages and disadvantages of transportation modes are emphasized while creating transportation networks of logistics service providers engaged in distribution activities. In the network process that starts with supply point and ends with demand point, firstly the total transportation time is tried to be minimized and the load transported at each stage between supply and demand points is optimized. The literature studies related to the multimodal transportation problem have been examined and a model has been designed and applied in a distribution firm in line with the related studies. The data obtained through three different scenarios created for the company were compared and interpreted.

Keywords: Multi-modal transportation, freight transportation planning, logistics systems

ÖN SÖZ

Günümüzde taşımacılık sistemlerinin giderek karmaşıklaşması, farklı taşıma modlarının kombinasyonlarını kullanan multimodal taşımacılık sistemlerini, uluslararası taşımacılık yapan lojistik hizmet sağlayıcı işletmeler açısından son derece önemli hale getirmiştir. Özellikle Türkiye üzerinden doğu ve batıya büyük boyutlu ve tonajlı uzun mesafeli taşınan yükler için multimodal taşımacılık hayati bir önem taşımaktadır. Bu tez çalışması ile uzun mesafeli taşıma ağlarında kullanılan mod kriterlerinin incelenmesi, toplam süreleri ve yük miktarını optimize eden matematiksel model oluşturulması ve tasarlanan matematik modelin gerçek hayattaki bir problem ile somutlaştırılması tez çalışmasını özgün hale getirmiştir.

Bu tez çalışması Sosyal Bilimler Enstitüsü Araştırma Fonu'ndan desteklenmiş olup proje numarası SYL-2018-11237'dir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
KISALTMALAR	ix
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

BÖLÜM I**GİRİŞ**

1.1.Problem.....	1
1.2.Çalışmanın Amacı	2
1.3.Çalışmanın Önemi.....	3
1.4. Çalışmanın Yöntemi	3
1.5. Çalışmanın Planı.....	4

BÖLÜM II**MULTİMODAL TAŞIMACILIK**

2.1.Kara Yolu Taşımacılığı.....	5
2.2.Deniz Yolu Taşımacılığı.....	9
2.3.Hava Yolu Taşımacılığı.....	12
2.4.Demir Yolu Taşımacılığı	16
2.5.Boru Hattı Taşımacılığı	20
2.6.Taşıma Modlarının Kıyaslanması.....	23

BÖLÜM III

MULTİMODAL TAŞIMACILIK MATEMATİKSEL MODELİ

3.1.Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Çalışmalar	26
3.1.1.Doğrusal Programlama ile Çözümlenen Çalışmalar	27
3.1.2.Simülasyon Yöntemi ile Çözümlenen Çalışmalar	33
3.1.3.Metasezgisel Yöntemler ile Çözümlenen Çalışmalar	34
3.2.Çok Aşamalı Model Tasarımı	36

BÖLÜM IV

BİR DAĞITIM FİRMASINDA ÇOK MODLU TAŞIMACILIK UYGULAMASI

4.1.Mevcut Verilerin Analizi	42
4.2.Model Formülasyonu.....	55
4.2.1.Modelde Kullanılan İndisler ve Parametreler	55
4.2.2.Karar Değişkenleri	57
4.2.3.Amaç Fonksiyonu	57
4.2.4.Matematiksel Modelin Kısıtları	58
4.3.Bulgular ve Yorum.....	62

BÖLÜM V

SONUÇ

KAYNAKÇA	80
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

DWT	Dead Weight Tonnage
ECMT	European Conference of Ministers of Transport
AGV	Automated Guided Vehicle
ASC	Automated Straddle Carrier
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe



TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Dünyada Kara Yolu ile Taşıma Miktarları	6
Tablo 2. Türkiye’de Yıllara Göre Kara Yolu ile Taşınan Yük Miktarı	8
Tablo 3. Dünyada Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları.....	10
Tablo 4. Türkiye’de Yıllara Göre Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları	11
Tablo 5. Dünyada Hava Yolu ile Taşıma Miktarları.....	14
Tablo 6. Dünyada Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları.....	17
Tablo 7. Dünyada Demir Yolu Ağı Uzunlukları.....	18
Tablo 8. Türkiye’de Yıllara Göre Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları	19
Tablo 9. Türkiye’de Doğalgaz Boru Hattı Uzunluğu ve Taşıma Miktarları	21
Tablo 10. Türkiye’de Petrol Boru Hattı Uzunluğu	22
Tablo 11. Türkiye’de Petrol Boru Hattı ile Taşınan Petrol Miktarı	22
Tablo 12. Taşıma Modlarının Kıyaslanması.....	24
Tablo 13. Firma Ürünlerinin Sektör Oranları	43
Tablo 14. Ürünlerin Taşınma Oranları ve Miktarları	44
Tablo 15. Talep Edilen Ürünlerin Özellikleri.....	45
Tablo 16. Yerel Depoların Arz Miktarları (Adet).....	45
Tablo 17. Yerel Depoların Arz Miktarları(Konteyner)	45
Tablo 18. Talep Noktalarının Talep Miktarları(Adet).....	46
Tablo 19. Talep Noktalarının Talep Miktarları(Konteyner).....	46
Tablo 20. Aktarma Merkezlerinin Konteyner Kapasitesi.....	46
Tablo 21. Aktarma Merkezlerinin Konteyner Kapasitesi.....	47
Tablo 22. Ürünlerin Yerel Depolardan Trieste’ye Taşınma Süreleri –Deniz Yolu	48
Tablo 23. Ürünlerin Yerel Depolardan Halkalı’ya Taşınma Süreleri-Kara Yolu.....	48
Tablo 24. Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Taşınma Süreleri-Demir Yolu.....	49

Tablo 25. Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Taşınma Süreleri-Kara Yolu.....	49
Tablo 26. Ürünlerin Yerel Depolardaki Boşaltılma Süreleri-Kara Yolu	50
Tablo 27. Ürünlerin Yerel Depolardaki Boşaltılma Süreleri-Deniz Yolu.....	50
Tablo 28. Ürünlerin Yerel Depolardaki Yüklenme Süreleri-Kara Yolu	50
Tablo 29. Ürünlerin Yerel Depolardaki Yüklenme Süreleri-Deniz Yolu	51
Tablo 30.Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri-Kara Yolu .	51
Tablo 31.Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri-Deniz Yolu	51
Tablo 32.Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Yüklenme Süreleri-Demir Yolu	52
Tablo 33.Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri-Demir Yolu	52
Tablo 34.Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerindeki Yüklenme Süreleri-Kara Yolu....	52
Tablo 35. Ürünlerin Yerel Depolarda Depolanma Süreleri -Kara Yolu	53
Tablo 36. Ürünlerin Yerel Depolarda Depolanma Süreleri-Deniz Yolu.....	53
Tablo 37.Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri-Kara Yolu	54
Tablo 38.Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri Deniz Yolu	54
Tablo 39.Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri-Demir Yolu.....	54
Tablo 40. Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları	62
Tablo 41. Yerel Depolardan Deniz Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları	63
Tablo 42. Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları	64
Tablo 43.İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları	64
Tablo 44. Yerel Depoların Arz Miktarları.....	66
Tablo 45. Talep Noktalarının Talep Miktarları.....	66
Tablo 46. Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları	67
Tablo 47. Yerel Depolardan Deniz Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları	67
Tablo 48. Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları	68

Tablo 49. İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları	69
Tablo 50. Yerel Depoların Arz Miktarları.....	70
Tablo 51. Talep Noktalarının Talep Miktarları.....	70
Tablo 52. Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları	71
Tablo 53. Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları	71
Tablo 54. İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları	72
Tablo 55. Senaryo 1 Taşıma Rotaları.....	76
Tablo 56. Senaryo 2 Taşıma Rotaları.....	77
Tablo 57. Senaryo 3 Taşıma Rotaları.....	78
Tablo 58. Senaryoların Kıyaslanması.....	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Türkiye’de Yıllara Göre Uçak Sayısı	15
Şekil 2. Türkiye’de Yıllara Göre Hava yolu ile Taşınan Yük Miktarı.....	15
Şekil 3. Modlar Arası Taşımacılık	24
Şekil 4. Kombine Taşımacılık.....	25
Şekil 5. Karar Değişkenlerinin Tanımı.....	31
Şekil 6. Çok Aşamalı Taşıma Ağı Yapısı.....	36
Şekil 7. Mevcut Çok Modlu Taşımacılık Sisteminin Akışı.....	43
Şekil 8. Trieste-Lüksemburg Arası Mevcut Rota	44
Şekil 9. Alternatif Taşıma Ağları Yapısı	47
Şekil 10. Senaryo 1’de kullanılan yollar	65
Şekil 11. Senaryo 2’de kullanılan yollar	69
Şekil 12. Senaryo 3’ de kullanılan yollar	73

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1.Problem

Yük taşımacılığı bir ülkenin ekonomisi üzerinde önemli bir yere sahiptir. Ülkenin üretim, tüketim, ticaret gibi faaliyetlerinin etkili bir biçimde sağlanabilmesi için hammaddeden başlayıp nihai ürün hatta satış sonrası hizmetler gibi adımlarla devam eden bir zincir içerisindeki tüm aşamalarda sistemler ve zamanlamalar doğru planlanmalıdır. Doğru planlanmayan ve etkin olmayan her sistem firmaya ekstra bir maliyet yaratmaktadır. Taşıma ve ulaştırma maliyetleri bir firmanın maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Taşımacılık maliyetleri hem üretim sektöründe hem de hizmet sektöründe maliyetlerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu sebeple firmaların dolayısıyla ülkelerin rekabet ortamındaki yerinin belirlenmesinde direkt bir etkiye sahiptir. Taşımacılık sektörünün mali açının yanında belirli bir hizmet kalitesini de sağlaması gerekmektedir.

Son yıllarda globalleşen dünya ve gelişen teknoloji ile her alanda olduğu gibi dağıtım ve nakliye konularında da sistem daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bu durum tüm faaliyet alanlarında kararlar almada ve planlar yapmada yöneticilerin daha fazla sorun ile karşı karşıya kalmasına neden olmuştur.

Gün geçtikçe artan müşteri talep ve istekleri şirketleri daha sıkı bir rekabet ortamına sürüklemekte, taleplere cevap verme hızı önem kazanmakta, bu durumun maliyetler üzerindeki etkileri de artmaktadır.

Gelişen teknoloji ve küreselleşmenin getirdiği sosyal, kültürel ve ekonomik etkilerin yoğunlaştığı günümüzde koşullar, şirketleri değişik stratejilere yöneltmektedir. Firmaların ayakta kalabilmesi için doğru ürün, doğru fiyat, doğru yer gibi birçok koşulu sağlayarak geniş tedarik zinciri içerisinde kendilerine uygun bir yeri edinmeleri gerekmektedir. Tüm bu gelişmeler her sektörü olduğu gibi lojistik sektörünü de yakından etkilemiştir.

Dağıtıcı firmalar ürün dağıtımını yaparken herhangi bir matematiksel model yardımı olmadan dağıtım yaptıkları için yüksek maliyetlere katlanmak zorunda kalmaktadırlar. Etkin bir sistem kullanmak firmaya hem maliyet açısından hem de zaman açısından büyük yararlar sağlayacaktır.

Çalışmada intermodal taşımacılık üzerinde durulacak çok modlu taşımada kullanılan dağıtım türleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. İntermodal taşıma yapan bir firmada dağıtım işlemi süresince görülen sorunlar üzerinde entegre bir matematiksel model hazırlanarak çözümlenmeye çalışılmıştır.

1.2.Çalışmanın Amacı

İşletmeler dağıtım ağı süreçlerini en iyilemek ve etkin bir şekilde yönetmek için özellikle ulaştırma, taşıma ve dağıtım konularında en uygun ve etkili kararları almak zorundadırlar. Sürecin herhangi bir aşamasındaki probleme doğrusal programlama, karma tam sayılı programlama, dinamik programlama, sezgisel yöntemler, simülasyon, gibi yöntemler ile çözüm getirerek şirketler milyonlarca dolar tasarruf sağlayabilirler. Dağıtım süresi boyunca yapılan tek bir düzeltme bile işletmeye önemli ölçüde yararlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada intermodal taşımacılık ve dağıtım türlerinin ne olduğu, literatürde nasıl bir kronoloji izlediği ve ne gibi çözümler üretildiğine değinilmiştir. Ayrıca çok modlu taşımının her aşamasında karşılaşılabilen problemler ele alınarak ilgili firmada bir uygulama gerçekleştirilmiş ve probleme çözüm aranmaya çalışılmıştır. Literatürde ele alınan yöntemler incelenmiş, örnek bir uygulama üzerinde yöntemler somutlaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Kurulan model ile sürelerdeki minimum değerlerin yakalanması amaçlanmıştır.

Çalışmada;

-Mevcut dağıtım rotaları nelerdir?

-Ürünler hangi dağıtım rotasında hangi işlemlerden geçmektedir?

-Hazırlık sürelerinin azaltılması firmaya taşıma süresi açısından ne gibi yararlar sağlar?

-Firma taşıma ağı boyunca depolama işlemlerinde ne gibi sıkıntılar yaşamaktadır?

-Yükleme-boşaltma işlemlerinde istif vinci, kamyon, taşıma araçları gibi araçların ürünlere atanmasında bekleme süresi açısından yaşanan sıkıntılar nelerdir?

-Yükleme-boşaltma işlemleri esnasında elleçleme sürelerinde yapılan iyileştirmelerin firmaya kazandıracığı yararlar neler olabilir? gibi sorulara cevap aranmaya çalışılmıştır.

1.3.Çalışmanın Önemi

Günümüzde gelişen teknoloji, artan müşteri istek ve ihtiyaçları nedeniyle şirketlerin taleplere son derece hızlı cevap verme mekanizması oluşturmaları gerekmektedir. Bu mekanizma içerisinde karar vericiler, her gün fark etmeden de olsa ufak ya da büyük ölçekli bir problem ile baş başa kalabilirler.

Karar vericiler, yöneticiler matematiksel model sistemlerine ve yöntemlerine ufak bir zaman harcayarak şirketleri için uzun vadede ciddi zamanlar kazanabilir, müşterileri için kaliteli ve etkin kararlar alabilir ve sorunlarına çözüm getirebilirler.

Şirketler hem üretim sektöründe hem de hizmet sektöründe dağıtım için yüklü meblağlar harcamaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık dağıtım maliyeti 400 milyar dolar ve İngiltere'nin yıllık dağıtım harcaması 15 milyar sterlin olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca araştırmalara göre dağıtım maliyetinin, ürünün toplam maliyetinin yaklaşık %16'sı olduğu tahmin edilmektedir (Demircioğlu, 2009, s.5). Etkili bir dağıtım sistemi ile dağıtım maliyetlerinde ciddi bir azalma kaydedilebilir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada intermodal taşımanın kapsadığı taşıma modları irdelenerek taşıma ağı boyunca her aşamada ortaya çıkabilecek problemler ele alınmıştır. Süreçteki problemlerde taşıma, aktarma ve istifleme sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. İlgili firmada dağıtım işlemi sırasındaki problemler ele alınarak uygulama gerçekleştirilecek en iyileme sorunu çözümlenirken doğrusal programlamadan yararlanılmıştır. Programlama yapılırken toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri minimum değerlere indirilmeye çalışılmıştır. Öncelikle firmanın mevcut rotası ve koşulları incelenmiş ve bunlara göre alternatif çözümler aranmıştır.

Problemin karmaşıklığı ve ilgili firmanın müşteri sayısının fazla olması nedeniyle doğrusal programlama modelinin el ile çözülmesi mümkün olmadığı için bilgisayar yardımı ile programlama yapılarak çözüm aranmaya çalışılmıştır. Modellenen doğrusal programlama problemi GAMS paket programı yardımı ile çözümlenmiş, sonuçlar yorumlanmış ve karşılaştırma yapılmıştır.

1.5. Çalışmanın Planı

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümüdür. Bu bölümde problemin tanımı yapıp çalışmanın amacı, çalışmanın önemi, çalışmanın yöntemine değinilmiş ve çalışma planı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde multimodal taşımacılık kavramı açıklanmıştır. Multimodal taşımacılıkta kullanılan taşıma modları kavramlarına değinilmiştir. Her bir taşıma modu ayrı ayrı incelenmiş, kavramsal anlamları, tarihsel gelişimleri, avantaj ve dezavantajlarının neler olduğuna yer verilmiştir. Türkiye ve dünya genelinde bazı istatistiki veriler sunulmuştur. Ayrıca çok modlu taşımacılık, modlar arası taşımacılık ve kombine taşımacılık kavramları ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde çok modlu taşımacılık probleminin tarihçesine yer verilerek ilgili çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalardan yola çıkılarak çok aşamalı ve çok ürünle gerçekleştirilen multimodal taşımacılık için standart bir model tanımlanmıştır.

Dördüncü bölüm çalışmanın uygulama kısmıdır. Bir dağıtım firmasının mevcut durumundaki rotalarının ve verilerinin analizi yapılmış, mevcut güzergahlardaki taşımalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde tanımlanan model bu bölümde firmanın mevcut koşullarına göre uygulamada kullanılmak üzere özelleştirilmiştir. Model öncelikle mevcut rotalar, taşıma, aktarma, istifleme ve depolama sürelerine göre GAMS paket programı ile çözdürülmüştür. Ayrıca farklı talep miktarlarına göre iki ayrı alternatif durum oluşturulmuştur. Üç farklı senaryoya göre çözüm yapılmış, çıkan sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Beşinci bölüm ise çalışmanın sonuç bölümüdür. Bu bölümde çalışmanın bulgu ve sonuçları ışığında elde edilen veriler değerlendirilmiş ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

MULTİMODAL TAŞIMACILIK

Yük taşımacılığında kullanılan beş ana mod vardır. Bunlar; kara yolu, demir yolu, deniz yolu, hava yolu ve boru hatlarıdır. Her bir taşıma modunun kendi avantaj ve dezavantajları vardır. Bu özellikler lokasyon, mesafe, taşınacak yükün cinsi, taşınacak yükün miktarı gibi şartlara göre modun uygunluğunu belirler. Bu yüzden hangi modun en iyi olduğu gibi bir genelleme yanlıştır. Değişen koşullara göre modun da uygunluğu ve avantajları değişkenlik gösterir. Aynı rotada farklı modların farklı noktalarda kullanılması beş ana modun değişken avantajlarından maksimum faydayı sağlayabilmek için ortaya çıkmıştır. Farklı modların avantajlarını bir araya getirerek taşımacılık sisteminin verimliliği artırılmış olur.

Modlar arası ve çok modlu taşımacılık çok aşamalı ve karmaşık bir sistem olduğu için sistemin her aşamasında farklı bir problem ile karşı karşıya kalınabilir ve bu problemlere farklı çözüm yolları üretilmek zorunda kalınabilir. Lokasyon seçimi, terminal planlaması, terminal yerleştirilmesi, ağ tasarımı, araç rotalama, araç atama, envanter yönetimi, çizelgeleme, yük dengeleme gibi çalışma alanları çok modlu taşımacılık sistemlerinin çözümünde yarar sağlayan başlıca alanlardır.

2.1.Kara Yolu Taşımacılığı

Ulaştırma modları arasında en sık kullanılan taşıma modu kara yolu taşımacılığıdır. Kapıdan kapıya ulaşım sağlama, yükleme boşaltma işlemlerinde avantaj sağlama ve birçok arazi şartlarında kullanılabilme gibi yararlar sağladığı için sıklıkla tercih edilen nakliye çeşididir. Son zamanlarda gelişen ulaşım ağları ve transit yolların sayısının artması ile en esnek mod olarak sıralamada yerini almıştır. Tüm bu avantajlarının yanında araçların akaryakıt, bakım ve onarım giderleri, gümrük işlemlerinin getirdiği ek ücretler gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar, taşımacılık maliyetlerini önemli derecede artırabilmektedir (Akay, 2016, s.43).

- **Kara Yolu Taşımacılığının Tarihi Gelişimi**

Kara yolları ile yapılan taşımacılıkta tüm dünyada bilinen en önemli faaliyet yolcu taşımacılığıdır. Dünya genelinde kara yolunun yolcu taşımacılığında önemli bir yere

sahip olduğu bilinmektedir. Kara yolları ile yolcu taşımacılığının yanında yük taşımacılığı da önemli bir paya sahiptir. Kara yolları ile yük taşımacılığı miktarının ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak arttığı görülmektedir.

Kara yolları taşımacılığı dünya genelinde çok sık tercih edilen taşıma modudur. Gelişen ekonomi ve artan pazar yerleri ile dünya ülkelerinde de taşıma miktarları her geçen gün hızla artmaktadır. Dünya genelinde kara yolları ile taşınan yük miktarları Tablo 1'deki gibidir. Rakamlar incelendiğinde 6.667.150 milyon ton ile Çin birinci sırada yer alırken Türkiye'nin ise yük taşımacılığında 262.739 milyon ton ile altıncı sırada yer aldığı görülmektedir.

Tablo 1.

Dünyada Kara Yolu ile Taşıma Miktarları-2017 (Milyon Ton-Km)

SIRA	ÜLKE	TAŞIMA MİKTARI
1	Çin	6.667.150
2	Amerika	2.954.190
3	Hindistan	2.435.870
4	Polonya	348.559
5	Almanya	313.143
6	Türkiye	262.739
7	Meksika	256.136
8	Rusya	237.815
9	İspanya	231.105
10	Avustralya	219.900
11	Japonya	210.829
12	Kanada	185.245
13	Fransa	162.616
14	İngiltere	156.064
15	Kore	140.374
16	İtalya	119.687
17	Romanya	54.704
18	Çek Cumhuriyeti	44.273
19	Ukrayna	42.647
20	Macaristan	39.687

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Ülkemizde ise kara yolu taşımacılığı cumhuriyetin kurulduğu 1923 yılından 1950'li yıllara kadar kara yolu taşıtlarının çok fazla olmaması nedeniyle pek fazla gelişmemiştir. Bu dönemde daha çok demir yolu ağlarına yatırım yapılmıştır. 1923 yılında ülkemiz sınırlarında Osmanlı Devleti'nden kalan 13.900 km stabilize, 4.450 km toprak olmak üzere toplamda 18.350 km yol bulunmaktaydı. Cumhuriyetin ilk yıllarında yol yapımını arttırmak için öncelikle 1925 yılında "Yol Mükellefiyeti Kanunu" çıkarılmıştır. Daha çok bedeni yükümlülük esasına dayanan bu yasayla, yol yapımında makine kullanımını henüz yaygınlaşmadığı ve hala kazma kürekle yol çalışmaları sürdürüldüğü için ortaya çıkan işçi sıkıntısı aşılmaya çalışılmıştır. Bu yasa ile yol yapımında kullanılan iş gücünün, para kadar önemli olan bedeni yükümlülük ile sağlanması amaçlanmış ve devlet hazinesinin yol yapımında çalıştırılacak işçi için harcanmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Böylece kara yolu çalışmalarının en önemli engeli olan finansman meselesi yine yol vergisi ile çözülmek istenmiştir (İnce, 2012, s.171-188).

1950 yılına gelindiğinde toplam 43.743 km kara yoluna ulaşılmış ve 1950 yılında kara yolunun geliştirilmesi amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuştur.

1950'li yıllardan sonra gelişen teknoloji ile birlikte gelişen ulaşım araçlarına uygun kara yolları inşa edilmeye başlanmış ve var olan yollar onarılmıştır. Bu kapsamda, 1960 yılında kara yolu ağımız 7.049 km'si asfalt olmak üzere toplamda 61.542 km'ye ulaşmış ve bazı küçük yerleşim birimleri hariç Türkiye'nin her tarafına hemen hemen her mevsimde modern araçlarla ulaşım olanağı sağlanmış, ulaştırma sistemi az çok dengeli biçimde tüm ülkeye yayılmıştır.

1980'li yıllardan sonra yerel yolların yapımı yerine tüm dünyada olduğu gibi otoyol yapımına ağırlık verilmeye başlanmıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde kara yolu taşımacılığının her kurumunda istihdam edilen personel eğitilmiş ve hedeflere ulaşmak için teknik personellerle çalışılmaya başlanmıştır. Kara yolu taşımacılığında teknoloji yakından takip edilerek kaynaklar etkin ve verimli kullanılmaya başlanmış, kara yolu ulaştırmasının daha global sistemler içerisinde yürütülmesi sağlanmıştır (Kögmen, 2014, s.4).

2000'li yıllara gelindiğinde ülkemizde artık kara yolları hem yolcu taşımacılığında hem yük taşımacılığında hakim bir taşıma modu haline gelmiştir. Günümüzde de halen kara yolu taşımacılığı en yaygın kullanılan taşıma modu olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde kara yolu üzerinden gerçekleştirilen taşıma miktarları Tablo 2'deki gibidir. Bu rakamlar incelendiğinde 2000'li yıllardan sonra gelişen ekonomi ile birlikte ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışın temel sebeplerinden biri kara yolu yük taşımacılığında kullanılan motorlu taşıt sayısındaki artıştır.

Tablo 2.

Türkiye'de Yıllara Göre Kara Yolu ile Taşınan Yük Miktarı (Milyon Ton-km)

YIL	TOPLAM
2005	166.831
2006	177.399
2007	181.330
2008	181.935
2009	176.455
2010	190.365
2011	203.072
2012	216.123
2013	224.048
2014	234.492
2015	244.329
2016	253.139
2017	262.739
2018	266.502

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Avantajlar:

- Yükleme boşaltma işlemlerinde kolaylık sağlar.
- Taşımanın her aşamasında uygun koşullar sağlandığında kapıdan kapıya teslimat sağlanabilir.
- Diğer modlara oranla altyapı maliyetleri daha azdır.
- Kısa mesafelerde daha verimli ve daha az maliyetli olabilmektedir.
- Taşıma araçlarının kapasiteleri diğer modların araçlarına göre daha küçük olduğu için kara yolu taşımacılığı daha esnektir.
- Diğer modlarda belirli bir noktaya kadar taşıma sağlanabildiğinden kara yolu taşımacılığı diğer taşıma türlerini tamamlayıcı bir unsur olarak kullanılmaktadır.
- Kara yolu ile taşımacılıkta düzenlenen seferler daha sık ve düzenlidir.
- Ambalajlama ve sevkiyata hazırlık işlemlerinde zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlar.
- Çıkış ve varış zamanlarında kolaylıkla çizelgeleme yapılabilir.
- Farklı hacimlerdeki yüklerin taşınması için uygundur.

Dezavantajlar:

- Taşıma maliyetleri yüksektir.
- Ülkelerarası geçişlerde karşılaşılan gümrük işlemleri maliyet ve zaman açısından sorun yaratabilir.
- Trafik, kötü hava koşulları gibi dış etmenlerden kolaylıkla etkilenir.
- Taşıma mesafesi arttıkça diğer taşıma modlarına göre daha maliyetli hale gelebilir.

2.2.Deniz Yolu Taşımacılığı

Deniz yolu taşımacılığının tarihi çok eski dönemlere dayanır. Uluslararası taşımacılıkta ve uzun mesafe taşımacılıkta çok yaygın kullanılan taşımacılık modudur. Ülkeler ve kıtalar arasında taşıma sağlar. Genellikle büyük hacimli ham madde, yarı mamul ve mamul maddelerin taşınmasında tercih edilir. Kuru yük, ham madde niteliğindeki malzemeler, likit ve gazlar, konteyner ile taşınabilen her türlü malzemeler deniz yolu ile taşınabilmektedir. Deniz yolu taşımacılığının ilk yatırımı maliyeti yüksektir ancak inşa edildikten sonra uzun yıllar tonajlı taşımacılıkta kullanılabilir. Taşıma hızı yavaştır fakat güvenlidir. Büyük hacimli yüklerin taşınması için elverişlidir. Diğer taşıma modlarına göre birim maliyet açısından oldukça uygun olan denizyolu taşımacılığının değişken maliyetleri de oldukça düşüktür.

• Deniz Yolu Taşımacılığı Tarihi Gelişimi

Deniz yolu taşımacılığının tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Deniz yolu ulaştırması araştırmacılar tarafından üç ana evrede değerlendirilir. İlk evre 15.yüzyıla kadar olan evredir. Bu evrede kısa mesafeli deniz yolu taşımacılığı yapılmıştır. 15. yüzyıldan sonra pusula ve dürbünün icadı ile insanlar deniz yolu taşımacılığını daha uzun mesafelerde kullanmaya başlamışlardır. Bu evre ikinci evre olarak kabul edilmektedir. 16. yüzyıla gelindiğinde teknolojik gelişmeler deniz yolu taşımacılığını da etkilemiştir ve artık deniz aşırı alanlarda seyahatler yapılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelerin etkisi ile uzun mesafe taşımacılıkların yapıldığı bu evre ise deniz yolu taşımacılığının son evresi olarak kabul edilmektedir.

M.Ö.3200'de deniz taşımacılığının ilk örnekleri olarak belirtilen Mısırlıların kullandıkları sahil botlarından bugüne deniz yolu taşımacılığı, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli gelişmiş ve her dönemde ticaretin ve lojistik sistemlerinin en önemli

unsuru olmuştur. Coğrafi keşiflerle yeni bölgelerin keşfedilmesi ve sanayileşme ile birlikte buhar teknolojisinin gemilerde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte deniz yolu taşımacılığı daha da gelişmiş, uzun rotalarda seyahati ve yük taşımacılığını mümkün kılan gemiler inşa edilmiştir.

Gelişen teknolojik ve ticari koşullar ile birlikte günümüzde deniz yolu taşımacılığı hem yolcu taşımacılığı hem de tonajlı yük taşımacılığı açısından oldukça ilerlemiş ve sıklıkla tercih edilen taşıma modu haline gelmiştir. Günümüzde dünya deniz ticaret filosunun toplam büyüklüğü 1,23 milyar DWT'ye, (Dead Weight Tonnage) dünya ticaret hacmi ise 8,17 milyar tona ulaşmıştır. Dünya deniz ticaretinden yılda 400 milyar dolar gelir elde edilmektedir. Bu rakamlar deniz yolu taşımacılığının ne derecede önemli bir konuma geldiğini göstermektedir (Yenal, 2011, s.1-4).

Dünyada deniz yolu ile yük taşımacılığı yapan ülkelerin taşıdığı yük miktarları Tablo 3' de verilmiştir. OECD'nin açıkladığı verilere göre 2017 yılında deniz yolu ile en fazla yük taşıyan ülke Kore olurken Türkiye, 2017 yılı verilerine göre deniz yolu taşımacılığında dünyada yedinci sırada yer almıştır.

Tablo 3.

Dünyada Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları (Konteyner)-2017 (Bin Ton)

SIRA	ÜLKE	TAŞIMA MİKTARI
1	Kore	481.516
2	ABD	289.042
3	İspanya	181.453
4	Hindistan	133.635
5	Almanya	124.725
6	Hollanda	123.869
7	Türkiye	107.918
8	Belçika	103.215
9	İtalya	89.194
10	Avustralya	78.234
11	İngiltere	64.714
12	Fransa	48.602
13	Rusya	48.266
14	Yunanistan	43.279
15	Şili	36.900

(Tablo 3'ün devamı)

SIRA	ÜLKE	TAŞIMA MİKTARI
16	Yeni Zelanda	32.621
17	Portekiz	29.603
18	İsrail	27.381
19	Polonya	17.149
20	İsveç	13.446

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de deniz yolu taşımacılığı tonajlı ve büyük hacimli yük taşımacılığında çok sık kullanılan taşıma modudur. Ülkemizde denizcilik sektörü, 8333 km'yi bulan sahil şeridi, Asya ve Avrupa'yı bağlayan bir yarımada olması, enerji üreten ülkelere yakınlığı ve jeopolitik konumu, uluslararası ulaşım yolları üzerinde bulunması, yeterli oranda kara ve demir yolu bağlantısı sebebiyle önemli gelişme potansiyeline sahiptir.

Türkiye'de deniz yolu taşımacılığı incelendiğinde, 8.333 km kıyı şeridinde sahip ülkemizde yaklaşık 180 adet liman ve iskele bulunmaktadır. Dünyada ise bu sayı 5500 civarındadır. Dünya ticaretinin yüzde 90'ı, ülkemiz ticaretinin de yüzde 88'i deniz yolu ile yapılmaktadır (Yenal, 2011, s.1-4).

Hızla gelişen ekonomi ve tüketim ihtiyaçları, her geçen yıl dünyada olduğu gibi Türkiye'de de deniz yolu ile taşınan yük miktarları arttırmıştır. Türkiye'de deniz yolu ile taşınan yük miktarları Tablo 4' deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 4.

Türkiye'de Yıllara Göre Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları (Konteyner) (Bin Ton)

YIL	TOPLAM
2008	52.530
2009	46.030
2010	61.175
2011	70.381
2012	79.311
2013	84.656
2014	88.138
2015	87.025
2016	94.929
2017	107.918
2018	114.231

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Avantajları:

- Çıkış ve varış noktaları arasında herhangi bir gümrük işlemi yoktur.
- Demir yolu ve kara yolu taşımacılığındaki gibi altyapı yatırımı gerektirmez.
- En düşük maliyetli taşıma modudur.
- Yüklerin taşınmasında en güvenli olan nakliye çeşididir.

Dezavantajları:

- Hız yavaş olduğu için aciliyetin önemli olduğu durumlarda kullanışlı değildir.
- Doğal koşullardan etkilendiği için ulaşım ağının oluşturulması zordur.
- Bazı ağlarda kanalların yetersiz olması ulaşım esnekliğini etkileyebilir.
- Terminallerdeki trafik sıkışıklıkları termin sürelerini olumsuz yönde etkiler.
- Elleçleme sayısı fazla olduğundan taşınan malın hasar görme olasılığı yüksektir.
- Taşıma süresi yüksektir.
- Transit süresi ve taşınan malların güvenliği hava koşullarından fazla etkilenir.
- Kalkış ve varış günleri açısından esneklik oldukça düşüktür.
- Hizmet verilen noktalar liman bulunan bölgeler ve çevreleri ile sınırlıdır.
- Adrese teslimlerde özellikle Avrupa'da taşıma maliyetleri yüksektir.

2.3.Hava Yolu Taşımacılığı

Hava yolu taşımacılığında kullanılan araçların çok hızlı olmasından ötürü bu modun birincil tercih edilme sebebi hız faktörüdür. Uzun mesafeli rotalar için elverişlidir. Bu nakliye modunda hız faktörü ve uzun mesafeli taşıma yapabilme avantajı ürünlerin depolama, aktarma ve istifleme maliyetlerini azaltıcı bir faktör olarak görülebilir.

Küreselleşen dünyada global şirketlerin gerçekleştirdiği işlemler için maliyetin yanında zaman ve hız kavramları da önem kazanmıştır. Şirketler bir yandan işlemlerin maliyetlerini optimize etmeye çalışırken bir yandan da müşteri memnuniyetini sağlamak için minimum zaman ve maksimum hız ile hizmet vermeye çalışmaktadırlar. Bu nedenle yüksek hızda hizmetinden dolayı hava yolu taşımacılığının nakliye hizmetlerindeki payı her geçen gün artmaktadır.

Hava yolu endüstrisi, teknoloji ile gelişen, rekabet koşullarının gittikçe arttığı günümüzde ihtiyaç duyulan birçok özelliği içinde barındıran, ekonomik ve küresel önem taşıyan bir taşıma modudur. Dünya genelinde yaygınlaşan serbestleşme politikaları, diğer taşıma modlarıyla yapılan uzun mesafeli taşımalarda kullanılan yakıt maliyetlerinin artışı,

hava yollarının bilet fiyatlarının düşmesi, çevre ve güvenlikle ilgili konular hava yoluna gösterilen rağbeti gittikçe arttırmaktadır.

- **Hava Yolu Taşımacılığı Tarihi Gelişimi**

Hava yolu taşımacılığı, İkinci Dünya Savaşı sonrasında ticari bir boyut kazanmıştır. Savaş yıllarından sonra yaşanan dönemde birçok alanda olduğu gibi uçak üretim teknolojisi de gelişmiştir. Çok sayıda savaş pilotu savaş sonrasında yeteneklerini ticari kazanca çevirme istemişler ve ülkeler savaşın olumsuz izlerini hızla yok edip yeniden ayağa kalkmak için sayısız girişimlerde bulunmuşlardır. Bu durum savaş dönemlerinde en fazla rağbet gören hava yolu taşımacılığının yolcu ve yük taşımacılığında da ticari kazanç elde edilecek bir iş kolu olması sonucunu doğurmuştur. Hava yolu taşımacılığı, İkinci Dünya Savaşı sonrasında hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir. Ekonomik ve sosyal faydalara yol açmış, modern yaşam şeklinin en önemli unsurlarından birisi haline gelmiştir.

1978 yılında, ABD’ de hava yolu şirketlerine yerel anlamda istedikleri rotayı kullanabilme ve istedikleri fiyatı verebilme iznini veren Hava yolu Serbestleştirme Yasası’nın çıkarılması ile birlikte büyük bir değişim meydana gelmiştir. Yasanın çıkarılması ile birlikte pazara yeni hava yolu şirketleri girmiş, şirketler arası rekabet artmış ve bilet fiyatları çarpıcı bir şekilde düşüşe geçmiştir. 1978-1998 yılları arasında ABD’de bilet fiyatları %40 oranında düşmüş, fiyatlardaki düşüslere bağlı olarak uçak seferleri ise %50 oranında artmıştır. Uçakların doluluk oranları gün geçtikçe artmış ve her gelirden insan için ulaşılabilir hale gelmiştir.

İnsan taşımacılığında gün geçtikçe değeri artan hava yolu taşımacılığının yük taşımacılığında da rolü oldukça büyüktür. Hava yolu taşımacılığı, kısa mesafelerinin kara yolu taşımacılığı ile gerçekleştirildiği taşımacılık ağlarında terminaller arasındaki özellikle okyanus aşırı mesafelerde sağladığı hız avantajı sayesinde kısa sürede taşıma olanağı verir. Özellikle küçük hacimli, maddi olarak değerli ve zaman açısından aciliyeti olan ticari malların taşınmasında sıklıkla tercih edilmektedir. Geniş coğrafyalarda yapılan taşımalarda coğrafi koşulların meydana getirdiği olumsuzlukları minimuma indirmektedir. Hava yolu taşımacılığı zamanın ön planda, maliyetin ise ikinci planda olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Tüm bu avantajlarının yanında diğer taşıma modlarına göre daha maliyetli olması, taşıma hacminin düşük olması, iniş kalkışlarda yaşanan pist trafiği gibi dezavantajları da mevcuttur. Gelişen teknolojik gelişmelerle

birlikte yaşanan bu olumsuzluklar da giderilmeye çalışılmaktadır (Kögmen, 2014, s.9-10).

Dünya genelinde 1970 yılından günümüze kadar hava yolu ile gerçekleştirilen yolcu ve yük taşımacılık miktarları Tablo 5' deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 5.

Dünyada Hava Yolu ile Taşıma Miktarları

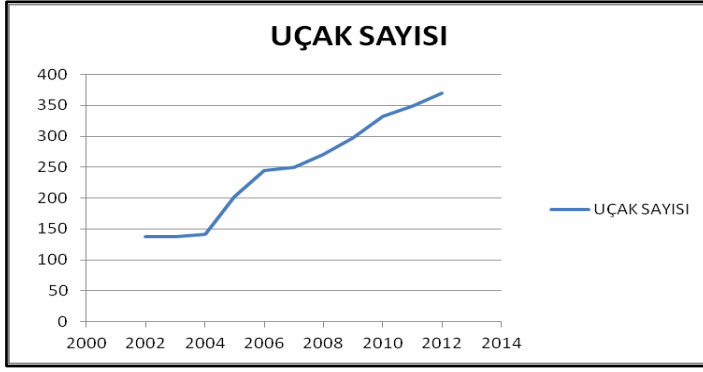
	Yolcu Sayısı	Yük Miktarı (Bin Ton)
1970-1980	421.658.117	153.068
1981-1990	624.084.379	381.524
1991-2000	880.030.529	804.305
2001-2010	146.870.021	139.351
2011-2016	139.351.000	126.946

Kaynak: <https://www.worldbank.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Havacılık sektörünün, 20. Yüzyıl itibariyle gelişimini hızlandıran etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Globalleşme
- Yüksek teknoloji üretimi
- Toplumun refah artışı
- Uluslararası ticaretin gelişmesi
- Hava yolu endüstrisinin serbestleşmesi (liberalizasyon)
- Gelişmekte olan pazarların büyümesi
- Hava trafik artışı
- Hava yolu ulaşım ağlarının gelişmesi
- Uzun mesafeli yolculuklara olan talebin artması
- Artan turizm olanakları (Bahar, 2018, s.26-28).

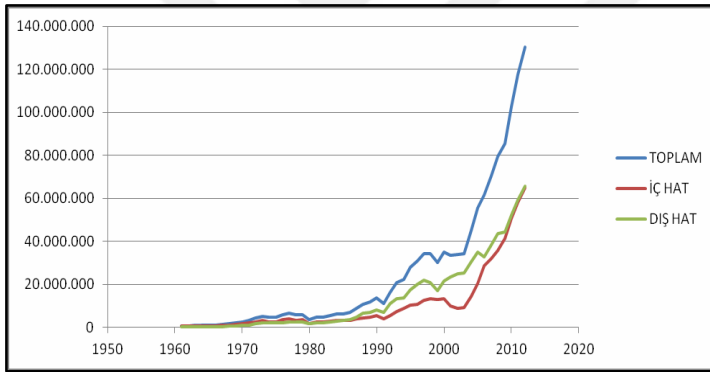
Dünyada gelişen teknoloji ve ekonomi ile hızla gelişme kaydeden hava yolu taşımacılığı, ülkemizde de büyük gelişmeler göstermiştir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Buna bağlı olarak taşımacılıkta kullanılan uçak sayısı artmıştır. Günümüzde ülkemizde 56 adet havalimanı bulunmakta olup yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan yaklaşık 490 adetlik uçak filosu bulunmaktadır. Bu kapsamda ülkemizde yıllar içinde özellikle yolcu taşımacılığında artan uçak filosu ve hava yollarında yaşanan gelişmelerle birlikte hava yolu taşımacılığında büyük bir artış olduğu gözlemlenmektedir (Kögmen, 2014, s.9-42).



Şekil 1. Türkiye’de Yıllara Göre Uçak Sayısı

Kaynak: <http://web.shgm.gov.tr/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Hava yolu taşımacılığının öneminin anlaşılması ve kullanımının hızla yaygınlaşması ile uçak sayılarında da hızlı bir artış olmuştur. Türkiye’deki uçak sayılarının yıllara göre değişimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye’de Yıllara Göre Hava yolu ile Taşınan Yük Miktarı (Ton)

Kaynak: <http://www.tuik.gov.tr/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Hava yolu taşımacılığı sağladığı avantajlar ile yolcu taşımacılığının yanı sıra yük taşımacılığında da son yıllarda oldukça rağbet görmeye başlamıştır. Türkiye’de hava yolu ile taşınan yük miktarlarının yıllara göre değişimleri Şekil 2’de verilmiştir.

Avantajları:

- Çok hızlı hizmet veren bir nakliye çeşididir.
- Küçük hacimli yükler için de taşıma olanağı sağlar.
- Hassas ve değerli kargoların hasarsız bir şekilde taşınmasına olanak verir.
- Yükleme ve boşaltma işlemlerinin sıklıkla yapıldığı esnek bir taşımacılık sistemidir.
- Alternatif taşıma araçları sayesinde esnek bir planlama sağlar.

- Taşımacılık ve elleçleme işlemlerinde yüksek güvenlik sağlar.

Dezavantajları:

- Taşıma yapılacak mesafe arttıkça taşıma bedelleri oldukça yüksek olabilmektedir.
- Hava koşullarından etkilenme olasılığı çok yüksektir.
- Yüksek hacimli ve yüksek tonajlı taşımacılıklarda planlamaların çok önceden yapılması gerekebilir.

2.4.Demir Yolu Taşımacılığı

Demir yolu taşımacılığı, genellikle tonajlı ve büyük hacimli ticari malların uzun mesafeler boyunca taşınması için kullanılır. Orta hızda taşıma sağlarlar. Ancak intermodal taşımacılık ağlarında büyük hacimli yüklerin geniş coğrafyalarda taşınmasını sağlar. Herhangi bir bölgeye ilk kurulumunda ray, vagon, terminal yapımlarında gerektirdiği yüksek bütçeler yüzünden ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple demir yolu taşıtları genellikle özel taşımacılardan çok kamuya aittir.

Trenler yalnızca terminaller arasındaki rotalar arasında taşıma yaparlar. Bu nedenle taşınan ürün müşterilere ulaştırılana kadar genellikle taşımanın başında ve sonunda ek taşıma modları kullanılmak zorundadır. Bu durum ek taşıma zamanı gerektirmekte ve demir yolu taşımacılığını zaman açısından dezavantajlı kılmaktadır. Bu sebeple demir yolu taşımacılığı uzun mesafe taşımalarda daha uygun olup kısa mesafe taşımalarda pek fazla elverişli değildir.

Demir yolu taşımacılığı taşıma rotası üzerinde gerekli altyapı kurulmuş ise çok yüksek taşıma kapasiteleri ve çok düşük birim maliyet sağlar. Birim maliyetlerin düşük olması düşük maliyetli büyük hacimleri (kömür, madensel maddeler gibi) taşımada avantaj sağlar. Bu yüzden genellikle tedarik zincirinin ilk aşaması olan tedarik lojistiğinde çok sık tercih edilen taşıma modu olmaktadır.

Bazı dünya ülkelerinin 2017 yılına ait demir yolları ağı ile milyon ton-km bazında taşıdıkları yük miktarları Tablo 6'daki gibidir. 2017 verilerine göre dünyada demir yolları ile yapılan taşıma miktarları incelendiğinde dünya üzerinde demir yolu ile yük taşımacılığında 2.696.220 milyon ton ile Çin birinci sırada yer almaktadır. Türkiye ise yük taşımacılığında 12.869 milyon ton ile 21. sırada yer almaktadır.

Tablo 6

Dünyada Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları-2017 (Milyon Ton-km)

SIRA	ÜLKE	TAŞIMA MİKTARI
1	Çin	2.696.220
2	Rusya	2.493.428
3	ABD	2.448.480
4	Hindistan	654.285
5	Kanada	289.909
6	Ukrayna	191.914
7	Almanya	129.361
8	Meksika	86.332
9	Polonya	54.797
10	Belarus	48.538
11	Fransa	33.432
12	İtalya	22.335
13	Avusturya	22.256
14	İsveç	21.838
15	Japonya	21.663
16	İngiltere	17.166
17	Çek Cumhuriyeti	15.842
18	Litvanya	15.414
19	Letonya	15.014
20	Romanya	13.782
21	Türkiye	12.869
22	İsviçre	11.665
23	Macaristan	11.053
24	İspanya	10.507
25	Finlandiya	10.362

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

- **Demir Yolu Taşımacılığı Tarihi Gelişimi**

19. yüzyıl başında İngiltere’de lokomotifin keşfi ile demir yolu ulaşımında yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur. İnsan ve hayvan gücünün çok üstünde olan ve mekanik buhar gücüyle çalışan lokomotif, demir yolunu diğer taşıma modları içerisinde güçlü bir yere taşımıştır. Demir yolu taşımacılığını güçlü kılan ilk lokomotif, 1804 yılında İngiltere’de Richard Trevithic tarafından yapılmıştır. Dişli trene benzeyen ve basit bir mekanizmaya sahip olan bu lokomotif, saatte ancak 8 km yol kat ediyordu. Daha sonra Fransız mühendis R. Seguin lokomotifi daha da geliştirmiş, ancak bu konudaki asıl gelişme, 1826 yılında ABD’de George Stephenson’un ortaya attığı “Roket” veya “Fusee” ile gerçekleşmiştir. Günümüzdeki anlamda ilk buharlı lokomotif sayılan bu roket, saatte ortalama 48 km yol kat edebilme başarısını sağlamıştır. Bu lokomotif İngiltere’de ilk defa

Liverpool-Manchester hattında çalıştırılmış olup bu hatta hem yük hem de yolcu taşınmıştır.

Demir yolu taşımacılığındaki gelişmeler, 1850 yılından itibaren hız kazanmış ve dünya genelindeki tüm ülkelerde etkili olmuştur. Bu hızlı gelişme İkinci Dünya Savaşı'na kadar aşağı yukarı bir asır boyunca devam etmiş ve demir yolu hattı uzunluğu 1.200.000 km'yi bulmuştur. Bu gelişme günümüze dek sürmüş, giderek hız kazanmıştır (Akarabulut, 2015, s.164-166).

2011 yılına ait bazı dünya ülkelerinin sahip oldukları demir yolu ağı uzunlukları Tablo 7' de verilmiştir. Dünyadaki demir yolu ağı uzunlukları incelendiğinde dünya üzerinde en uzun demir yolu ağı 228.513 milyon km ile Amerika'da yer alırken Türkiye ise demir yolu ağı uzunluğu bakımından 9.594 km ile dünyada 21. sırada yer almaktadır. Tablo 7.

Dünyada Demir Yolu Ağı Uzunlukları -2011

SIRA	ÜLKE	UZUNLUK (KM)
1	Amerika	228.513
2	Rusya	85.292
3	Çin	66.239
4	Hindistan	63.974
5	Kanada	58.345
6	Almanya	33.708
7	Fransa	33.608
8	İngiltere	31.471
9	Brezilya	29.817
10	Meksika	26.704
11	Arjantin	25.023
12	Güney Afrika	22.051
13	Ukrayna	21.705
14	Japonya	20.035
15	Polonya	19.702
16	İtalya	18.011
17	İspanya	15.317
18	Kazakistan	14.202
19	Romanya	13.620
20	İsveç	9.957
21	Türkiye	9.594

(Tablo 7'nin devamı)

SIRA	ÜLKE	UZUNLUK (KM)
22	Çek Cumhuriyeti	9.569
23	Avustralya	8.615
24	Macaristan	7.893
25	Pakistan	7.791

Kaynak: Kögmen, 2014

Dünya genelinde devam eden bu gelişmeler, ülkemizde de Tanzimat Fermanı ile benimsenmiş ve ilk kez demir yolu yapımına başlanmıştır. İlk olarak İzmir-Aydın arasındaki 130 km'lik hattın yapımına başlanmıştır. Ülkemizde demir yollarındaki esas çalışmalar 1802 yılında başlamış olup 1826 yılında gelişen ve hızla yaygınlaşan bir taşımacılık haline gelmiştir. İzmir-Aydın demir yolu yapımından sonra çalışmaları diğer demir yolu çalışmaları takip etmiştir. Cumhuriyet dönemine kadar ülkemizde inşa edilen demir yollarının hemen hemen tamamını yabancı sermaye ile kurulan şirketler yapmış, işletmeleri de imtiyazlı yabancı şirketlere verilmiştir. Ancak bu dönemde yapılan demir yolları düşük standartlı oldukları için bir takım teknik ve ekonomik sorunlar ortaya çıkmıştır. Lozan Konferansı'nda (1923) Türkiye Cumhuriyeti'ne 4.018 km demir yolu devredilmiştir. 2018 verilerine göre demir yollarımızın uzunluğu yaklaşık 12.740 km'dir (Akarabulut, 2015, s.164-166).

Tanzimat Fermanı ile başlayıp günümüze kadar gelişme kaydeden demir yolu taşımacılığı, tonajlı ve büyük hacimli ticari malların uzun mesafe taşınmasında sıklıkla tercih edilmiştir. 2010 yılından günümüze kadar ülkemizde demir yolu ile taşınması gerçekleştirilen ürün miktarları Tablo 8'de gösterilmiştir. Sağladığı avantajlar nedeniyle demir yolu ile taşınan yük miktarları yıllar geçtikçe artmıştır.

Tablo 8.

Türkiye'de Yıllara Göre Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları (Milyon Ton-km)

YIL	TOPLAM
2010	11.462
2011	11.677
2012	11.670
2013	11.177
2014	11.992
2015	10.474
2016	11.661
2017	12.869
2018	14.478

Kaynak: <https://www.oecd.org/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Avantajları:

- Ağır tonajlı ve büyük hacimli yüklerin taşınması için elverişlidir.
- Ülkelerarası taşımacılıkta ülke geçişlerinde geçiş kolaylığı sağlar.
- Hava koşullarından ve trafik durumundan minimum düzeyde etkilenir.
- Diğer modlarla kıyaslandığında güvenlik açısından daha avantajlıdır.
- Uzun mesafeli taşımacılık için oldukça elverişlidir.
- Uygun koşullar sağlandığında diğer taşıma modları ile bağlantı kurmak için olanak sağlar.

Dezavantajları:

- Demir yolu taşımacılığında yükler çok fazla elleçlemeye maruz kalmaktadır.
- Geniş ve kaliteli ray sistemi gerektirdiğinden altyapı maliyetleri yüksektir.
- Ray sisteminin ulaşamadığı yerlerde diğer taşıma modlarıyla ek taşıma gerektirir. Bu durum iç taşıma maliyetlerini artırır.
- Birim maliyetlerin azalması için çok yüksek taşıma miktarları gerektirir.
- Taşıma sırasındaki işlemler ve prosedürler komplikedir.

2.5.Boru Hattı Taşımacılığı

Ürünün borular yardımı ile taşındığı, genellikle petrol, doğal gaz, gaz, benzin, motorin gibi maddelerin taşınmasında kullanılan bir taşıma modudur. Gazların ve sıvıların yanı sıra bazı kimyasal maddeler de boru hattı taşımacılığı ile taşınabilir. Demir yolu taşımacılığında olduğu gibi ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Ancak demir yolu taşımacılığına göre birim maliyeti daha düşüktür ve taşıma kapasitesi daha yüksektir. Deniz altından taşıma gibi avantajları da mevcuttur (Tozar, Güzel, 2011, s.2).

- **Boru Hattı Taşımacılığı Tarihi Gelişimi**

Dünyada boru hattı taşımacılığı gelişimi petrolün bulunması ile başlar. Petrolün bulunduğu ilk zamanlar petrol, fiçı ve benzeri kaplar ile birlikte deniz yolu ve demir yolu ile taşınmaktaydı. Artan petrol rezervleri ile sadece deniz yolu ve demir yolu ile taşıma yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu durum dünyanın artan enerji ve ham madde ihtiyacı ile birleşince farklı taşıma modlarının icadı ortaya çıktı. Gelişen sanayinin yakıt ve ham madde ihtiyacının karşılanması için büyük petrol rezervlerinin sanayi ülkelerine

taşınması gerekiyordu. İşte tüm bu gereksinimler dünyada boru hattı taşımacılığının gelişimini hızlandırmıştır. Dünyanın ilk boru hattı, petrolcülükte de ilk olan ABD'de 1865 yılında Pensilvanya'da yapılmıştır.

Ülkemizde ilk ham petrol boru hattı 1967 yılında işletmeye açılan Batman-Dörtyol boru hattıdır. Türkiye'de boru hattı taşımacılığı, ülkenin jeopolitik konumu, Orta Doğu ülkelerine ve petrol rezervlerine olan yakınlığı nedeniyle hızla gelişmiştir.

Günümüzde faaliyet gösteren bazı boru hatları:

- Rusya-Türkiye Doğalgaz Boru Hattı
- Mavi Akım Gaz Boru Hattı
- Doğu Anadolu Doğalgaz Ana İletim Hattı
- Bakü-Tiflis-Erzurum Doğalgaz Boru Hattı
- Azerbaycan- Türkiye (Şah Deniz I) Doğal Gaz Boru Hattı
- Ceyhan-Kırıkkale Ham Petrol Boru Hattı

Ülkemizdeki petrol boru hattı taşımacılığı ile ilgili faaliyetler BOTAŞ tarafından yürütülmektedir. Mevcut hatlarımız ile ham petrol ve doğalgaz taşımacılığı yapılmaktadır.

Türkiye'de 2002 yılından bu yana doğalgaz boru hattı uzunluğu ve bu hatlar ile taşınan doğalgaz miktarları Tablo 9'daki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 9.

Türkiye'de Doğalgaz Boru Hattı Uzunluğu ve Taşıma Miktarları

Yıl	Boru Hattı Uzunluğu (km)	Taşınan Doğalgaz Miktarı Milyon (Sm³)
2002	4.739	17.123
2003	5.490	20.930
2004	6.323	22.164
2005	8.041	27.027
2006	8.579	30.430
2007	10.151	36.141
2008	11.483	38.068
2009	11.685	36.976
2010	11.906	39.091
2011	12.528	45.365
2012	12.603	47.102
2013	12.605	46.830
2014	12.874	50.554
2015	13.276	50.149
2016	13.756	48.410
2017	14.666	55.975
2018	15.860	51.138

Kaynak: <http://www.tuik.gov.tr/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Ülkemizde boru hatları ile petrol taşımacılığı da gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de 2010 yılından beri mevcut petrol boru hatlarının uzunluklarının değişimi Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10.

Türkiye’de Petrol Boru Hattı Uzunluğu (km)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Toplam	3038	3038	3038	3053	3053	3053	3053	3053	3060
Irak- Türkiye	1876	1876	1876	1876	1876	1876	1876	1876	1876
Ceyhan - Kırıkkale	448	448	448	448	448	448	448	448	448
Batman-Dört Yol	511	511	511	511	511	511	511	511	518
Şelmo- Batman	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adıyaman-Sarı	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Raman-Garzan	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Sarıcak-Pirinçlik	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Batı Raman	17	17	17	32	32	32	32	32	32

Kaynak: <http://www.tuik.gov.tr/> (erişim tarihi: 15.01.2020)

Tablo 10’da verilen petrol boru hatlarından taşınan yıllık taşıma miktarları Tablo 11’de paylaşılmıştır.

Tablo 11.

Türkiye’de Petrol Boru Hattı ile Taşınan Petrol Miktarı (Ton-km)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Toplam	39.578.155	44.703.586	37.432.588	26.755.798	17.106.089	52.514.452	52.683.128	52.095.254	38.650.450
Irak- Türkiye	37.009.728	42.011.144	34.629.084	23.819.572	14.321.384	49.053.648	48.931.708	48.121.276	35.066.192
Ceyhan - Kırıkkale	1.185.856	1.354.752	1.396.416	1.474.816	1.391.936	1.912.960	2.183.552	2.427.712	1.935.808
Batman-Dört Yol	1.272.901	1.246.329	1.313.781	1.357.727	1.284.143	1.438.976	1.460.438	1.437.954	1.524.992
Şelmo- Batman	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adıyaman-Sarı	54.108	44.388	41.391	40.581	43.740	42.120	41.229	41.148	48.924
Raman-Garzan	21.667	19.411	20.257	20.774	20.304	22.936	22.983	22.372	32.430
Sarıcak-Pirinçlik	22.794	15.254	19.198	17.400	16.646	19.140	18.386	19.256	21.112
Batı Raman	11.101	12.308	12.461	24.928	27.936	24.672	24.832	25.536	20.992

Kaynak: <http://www.tuik.gov.tr/> (erişim tarihi: 20.12.2019)

Avantajları:

- Çok yüksek miktardaki taşımacılıklarda en ekonomik taşıma modudur.
- Teslimat süresi açısından oldukça güvenilirdir.
- Kesintisiz taşıma sağlar.
- Olumsuz hava koşullarından ve trafik koşullarından etkilenmez.

- İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen işletme maliyeti oldukça düşüktür.
- İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen yatırımın geri dönüş süresi oldukça kısadır.
- Diğer taşıma modlarına göre daha hızlı ve güvenlidir.
- Boru hattı taşımacılığı Türk boğazlarındaki trafik yükünü azaltır.

Dezavantajları:

- İlk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.
- Taşıma modları içerisinde yeni bir yöntem olduğundan mevzuat eksikleri mevcuttur.
- Düzenli olarak bakım ve denetim gerektirir.
- Teslimat noktası açısından esnekliği düşüktür.
- Farklı yoğunluktaki maddeler taşınabilse de genellikle sıvı maddelerin taşınması için elverişlidir.

2.6.Taşıma Modlarının Karşılaştırılması

Tanımlanan ve incelenen beş taşıma modunun da sağladıkları farklı avantaj ve dezavantajlar vardır. Yük taşımacılığında bu avantaj ve dezavantajların artı eksileri değerlendirilerek farklı mod ya da modlar kullanılabilir. Uygun taşıma modunun seçimi tedarik zincirinin performansının belirlenmesindeki rolü büyüktür. Uygun modun seçimi için taşınan malın hacminin büyüklüğü, malın fiziksel hali, taşıma süresi, taşıma süresindeki maliyetler, taşınacak müşterinin konumu gibi birçok değişken kriterler vardır. Taşıma modlarının çeşitli kriterlere göre avantaj ve dezavantajları Tablo 12' de değerlendirilmiştir.

Tablo 12.

Taşıma Modlarının Kıyaslanması

Taşıma Türü	Maliyet	Hız	Hizmet Alanı	Tarifeli Seferlerin Sıklığı	Tarifelerin Uygulanma Güvenilirliği
Kara yolu	Yüksek	Hızlı	Çok Geniş	Yüksek	Yüksek
Deniz yolu	Çok Düşük	Yavaş	Sınırlı	Çok Düşük	Orta
Hava yolu	Çok Yüksek	Çok Hızlı	Geniş	Yüksek	Yüksek
Demir yolu	Orta	Orta	Orta	Düşük	Çok Yüksek
Boru Hattı	Düşük	Yavaş	Çok Sınırlı	Orta	Yüksek

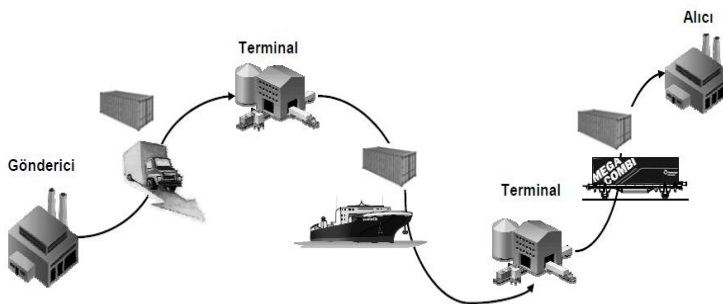
Kaynak: Vural, Gencer ve Karadoğan, 2014

Önemli olan tüm bu kriterlerin avantaj ve dezavantajlarını kullanarak optimum bir taşıma ağı seçimi için her taşıma modunu kendi içerisinde değerlendirerek uygun olanını seçebilmektir. Bu nedenle çoğu zaman belirli bir rota için birden fazla taşıma modunun kullanılması daha uygun olmaktadır.

Yüklerin uluslararası çok modlu taşınması konulu Birleşmiş Milletler Kongresi, uluslararası çok modlu taşımacılığı şöyle tanımlamıştır; çok modlu taşımacılık operatörü tarafından ve birçok modlu taşımacılık kontratını baz alarak bir yükün bir ülkedeki belirli bir yerden, başka bir ülkedeki belirli bir yere teslimi sırasında en az iki farklı taşıma modunun kullanılmasıdır (Tuzkaya, 2007, s.14).

Modlar arası taşımacılık ise, aynı taşıma kabı veya kara yolu taşıtı içindeki yükün iki veya daha fazla taşıma modu kullanılarak taşınması ve mod değişimlerinde yükün herhangi bir elleçlemeye maruz kalmadığı taşıma şeklidir (Tuzkaya, 2007, s.15).

Modlar arası taşımacılık Şekil 3' de görselleştirilmiştir.



Şekil 3 Modlar Arası Taşımacılık

Kaynak: Tuzkaya, 2007

UNECE'nin (United Nations Economic Commission for Europe) kombine taşımacılık için yaptığı tanım modlar arası taşımacılık tanımı ile aynı olması ile birlikte ECMT'nin (European Conference of Ministers of Transport) yaptığı yeni tanım şöyledir: İçinde yük olan pasif bir taşıma kabının enerji tüketen diğer bir aktif ünite ile taşınması/çekilmesidir. ECMT (European Conference of Ministers of Transport)'nin taşımacılık politikası gereği bu tanım sınırlandırılarak şu şekilde daha netleştirilmiştir: Kombine taşımacılık, Avrupa'daki taşıma aşamasının büyük kısmının demir yolu, deniz yolu veya iç suyolu ile başlangıç ve/veya bitiş aşamalarının ise, mümkün olduğunca kısa tutulup kara yolu ile gerçekleştirildiği modlar arası taşımacılıktır (Tuzkaya, 2007, s.15).

Kombine taşımacılık Şekil 4' de görselleştirilmiştir.



Şekil 4 Kombine Taşımacılık

Kaynak: Tuzkaya,2007

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MULTİMODAL TAŞIMACILIK MATEMATİKSEL MODELİ

Lojistik ve taşımacılık sistemleri, tedarik zincirinde maliyet, kalite, güvenilirlik, müşteri memnuniyeti gibi birçok konuda önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle etkili bir planlama ve kontrol gerektirir. Dinamik kapsamlı lojistik veriler, uygulamadaki koşullara ve özel ihtiyaçlara göre en makul ve etkili çözümleri ortaya koymak için sürekli takip edilmeli, her geçen gün daha gelişmiş sistemler kurabilmek için veriler analiz edilerek yeni metotlar oluşturulmalıdır.

Var olan sistemlerin takibi, değerlendirilmesi ve verilerin işlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde geçmişte karşılaşılan problemler ve bu problemlere çözüm üretmek amacıyla geliştirilen metot ve yöntemler incelenmiştir.

3.1.Çok Modlu Taşımacılıkla İlgili Çalışmalar

Farklı taşıma araçları ile taşımanın en az iki modla taşındığı ve taşınacak olan yükün tek bir yük haline getirilmiş olduğu türler arası taşımacılık, çok modlu taşımacılık olarak tanımlanabilir (Barbanova, 2016, s.2). Taşıma modlarının bir dağıtım süreci içerisinde birlikte kullanımı değişiklik gösterebilir.

Taşımacılık ağları tedarik zinciri yönetimi açısından incelendiğinde uygun mod seçiminin zincir performansı üzerinde büyük etkisi olduğu açıktır. Parti hacmi büyüklüğü, emniyet stoku, transit stok, taşıma süresi ve taşıma maliyeti gibi tedarik zinciri performans ölçütleri taşıma modları arasından uygun olanı seçme aşamasında kullanılacak kriterlerdendir. Dikkat edilmesi gereken husus; deniz yolu, demir yolu, kara yolu ve hava yolu şeklindeki sıralamada tüm kriterlerin aldığı değer genellikle azalacak buna karşılık sadece maliyet kriterinde artma olacaktır. Amaç, bu kriterlerin tümünü dikkate alarak bir optimizasyon yapmak ise çoğu zaman bu modların birden fazlasını birlikte kullanmak uygun olacaktır (Tuzkaya, 2007, s.14).

Bu bölümde, çok modlu taşımacılıkta yaşanan problemler, taşımacılık operasyonları sırasında yaşanan sorunlar ve bu sorunlar için önerilen çözümler ile ilgili bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar yöntem ve metotlarına göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

3.1.1. Doğrusal Programlama ile Çözümlenen Çalışmalar

Levinson (1995), gerçekleşen talep miktarlarına bağlı olarak gerçekleşecek talep miktarlarının dağıtımını sağlayacak bir taşıma ağını planlamıştır. Çalışmada artan ve azalan talep miktarlarına göre dağıtım yapan karma-evrimsel model ile arz ve talebin eş zamanlı çözüldüğü denge modeli kıyaslanmıştır. İki farklı modelden melez-evrimsel bir model tasarlanmıştır.

Bookbinder ve Fox (1998), çalışmalarında Kanada ve Meksika arasında gerçekleştirilen çok modlu taşımacılık için rotalar oluşturmuşlardır. Rotaları oluştururken transfer zamanlarını ve taşıma maliyetlerini göz önünde bulundurmuşlardır. Problemin çözümü için en kısa yol algoritmasını kullanmışlardır.

Newman ve Araiyo (2000), çalışmalarında demir yolu ağırlıklı çok modlu taşımacılık üzerinde durmuşlardır. Çalışmada trenlerin rotalara doğrudan ya da dolaylı (aktarma merkezleri taşıma ağına dahil edilerek) atama programlanması yapılırken taşıma sırasında kullanılan konteynerlerin de trenlere yüklenme çizelgeleri oluşturulmuştur.

Newman ve Araiyo modellerini aşağıdaki şekilde formüle etmişlerdir:

İndisler:

i: Başlangıç noktası indeksi

j: Aktarma merkezi indeksi

k: Varış yerleri indeksi

t: Dönem indeksi

l: Hizmet seviyesi indeksi

Parametreler:

α_{ik} : i ve k arasındaki ulaşım süresi

β_{ij} : i ve j arasındaki ulaşım süresi

γ_{jk} : j ve k arasındaki ulaşım süresi

δ_j : j merkezinden geçişten kaynaklı gecikme süresi

C: Trenin kapasitesi (konteyner)

h: Bir konteynerin elde tutma maliyeti (\$/konteyner/gün)

C_{ik}^a : Bir konteynerin i'den k'ya taşınmasının birim değişken maliyeti

C_{ijk}^e : Bir konteynerin i'den j'ye, j'den k'ya taşınmasının birim değişken maliyeti

S_{ik}^{ao} : i ve k arasında treni çalıştırmanın sabit maliyeti

S_{ij}^{eo} : i ve j arasında treni çalıştırmanın sabit maliyeti

- S_{jk}^h : j ve k arasında treni çalıştırmanın sabit maliyeti
 g_i^o : i noktasında konteynerin trene yerleştirilme maliyeti
 g_j^h : j noktasında bir konteyneri yeniden düzenleme maliyeti
 g_k^d : k noktasında bir konteyneri trenden çıkarma maliyeti
 b_{iktl} : i'den k' ya t zamanında taşınan konteyner sayısı

Karar Değişkenleri:

- I_{iktl}^o : i'de tutulan envanter miktarı
 I_{ijktl}^h : j'de tutulan envanter miktarı
 I_{iktl}^d : k' da tutulan envanter miktarı
 X_{iktl}^{ao} : i'den k' ya doğrudan gönderilen konteyner miktarı
 X_{ijktl}^{eo} : i'den j'ye gönderilen konteyner miktarı
 X_{ijktl}^h : j'den k' ya gönderilen konteyner miktarı
 Z_{ikt}^{ao} : i'den k' ya direkt gönderilen tren sayısı
 Z_{ijt}^{eo} : i'den j'ye gönderilen tren sayısı
 Z_{jkt}^h : j'den k' ya gönderilen tren sayısı

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
 \min z = & \sum_{iktl} hI_{iktl}^o + \sum_{ijktl} hI_{ijktl}^h + \sum_{ijkl} \sum_{w=t+\beta_{ij}}^{t+\beta_{ij}+\delta_j} hX_{ijkwl}^{eo} + \sum_{iktl} c_{iktl}^a x_{iktl}^{ao} \\
 & + \sum_{ijktl} c_{ijk}^e x_{ikjtl}^{eo} + \sum_{iktl} g_i^o x_{iktl}^{ao} + \sum_{ijktl} g_i^o x_{ijktl}^{eo} + \sum_{ijktl} g_j^h x_{ijktl}^h \\
 & + \sum_{iktl} g_k^d x_{iktl}^{ao} + \sum_{ijktl} g_k^d x_{ijktl}^h + \sum_{ikt} S_{ik}^{ao} Z_{ikt}^{ao} + \sum_{ijt} S_{ij}^{eo} Z_{ijt}^{eo} \\
 & + \sum_{jkt} S_{jk}^h Z_{jkt}^h
 \end{aligned} \tag{1}$$

Kısıtlar:

$$b_{iktl} + I_{ik(t-1)l}^o = I_{iktl}^o + x_{iktl}^{ao} + \sum_j x_{ijktl}^{eo} \quad \forall i, k, t, l \quad (2)$$

$$I_{ijk(t-1)l}^h + x_{ijk(t-\beta_{ij}-\delta_j)l}^{oe} = I_{ijktl}^h + x_{ijktl}^h \quad \forall i, j, k, t, l \ni t \geq 1 + \beta_{ij} + \delta_j \quad (3)$$

$$I_{ik(t-1)l}^d + x_{ik(t-\alpha_{ik})l}^{ao} + \sum_t x_{ijk(t-\gamma_{jk})l}^h = I_{iktl}^d + b_{iktl} \quad \forall i, k, l, t \ni t \geq 1 + \alpha_{ik} \quad (4)$$

$$\sum_l x_{iktl}^{ao} \leq Cz_{ikt}^{ao} \quad \forall i, k, t \quad (5)$$

$$\sum_{kl} x_{ijktl}^{eo} \leq Cz_{ijkt}^{eo} \quad \forall i, j, t \quad (6)$$

$$\sum_{il} x_{ijktl}^h \leq Cz_{jkt}^h \quad \forall j, k, t \quad (7)$$

Newman ve Araiyno'un çalışmasında trenlerin çizelgelenmesi ve konteynerlerin atanması problemlerine çözüm aranırken amaç, atanan her tren için katlanılan sabit maliyetler, her konteyner için ise oluşan toplam taşıma, elleçleme ve depolama maliyetlerini minimize etmektir (1). Çalışmada varsayımsal bir uygulama üzerinde durulmuştur. Denklem (2), (3) ve (4) sırasıyla, konteynerlerin, istasyonların ve sevkiyat yerlerinin akışları ile ilgili kısıtlardır. Denklem (5) kullanılacak trenlerin kapasiteyi aşmamasını sağlamaktadır. Aynı şekilde denklem (6) ve (7) tren kapasitesinin sırasıyla istasyona atanacak olacak tren sayısını ve istasyondan ayrılacak olan tren sayısını geçmemesini sağlamaktadır.

Banomyong ve Beresford (2001), Güney Doğu Asya'da yer alan Lao'da tekstil ihracatı yapan ihracatçılar için farklı taşıma rotaları ve metotları sunmuşlardır. Çok modlu taşımacılık rotalama alternatifleri için bir ulaşım maliyet modeli geliştirmişlerdir. Model ile beş farklı taşıma alternatifini geliştirmişlerdir. Sunulan alternatif rotalar için risk analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Gambardella ve diğerleri (2001), konteyner terminalindeki yükleme ve boşaltma işlemleri için kaynakların tahsisi ve operasyonların planlanması üzerinde durmuşlardır. Problemi iki farklı adımda incelemişlerdir. Öncelikle yükleme ve boşaltma işlemleri için gerekli kaynakların tahsisi üzerinde durmuşlar, ikinci adımda ise operasyonel işlemlerin

programlanması için çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Uygulamalarında gerçek bir olayı incelemişlerdir.

Choong, Cole ve Kutanoğlu (2002) çok modlu taşımacılıkta kullanılan konteynerlerin boş olma durumlarının yönetilmesi için sayısal bir analiz yapmışlardır. Boş konteyner hareketlerinin oluşturduğu maliyetleri incelemişler, bunun için de tam sayılı bir program kullanmışlardır. Nehri havzasındaki potansiyel mavnalı konteyner operasyonlarıyla ilgili bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Konteyner depolama havuzlarının sayısı ve yerleşimi üzerinde durmuşlardır. Çözüm elde etmek için AMPL (A Mathematical Programming Language) modelleme dili ve CPLEX algoritması kullanılmıştır.

Zhang ve diğerleri (2002) çalışmalarında istif vinçlerinin günlük periyottaki iş yüklerini göz önüne alarak gecikme zamanlarını minimize etmeye çalışmışlardır. Problemi çözerken Karma Tamsayılı Programlama kullanmışlardır.

Zhang ve diğerlerinin formüle ettikleri model aşağıdaki gibidir:

Parametreler:

$X_{ii(0)}$: Başlangıçtaki vinç sayısı

C: Planlama süresi içerisinde bir vincin kapasitesi $C=240$ dakika

N: Toplam blok sayısı

T: Toplam planlama dönemi sayısı $T=6$ periyot

B_{it} : t planlama süresi içinde i bloğundaki iş yükü

t_{ij} : Bir vincin i bloğundan j bloğuna hareket süresi

Karar Değişkenleri:

X_{ijt} : Planlama dönemi t sırasında i bloğundan j bloğuna geçen vinç sayısı

Z_{ijt} : i bloğundan j bloğuna hareket eden vinçler tarafından i bloğunda t periyodu süresinde yerine getirilen iş yükü (Şekil 5'te gösterilmektedir).

Y_{ijt} : i bloğundan j bloğuna hareket eden vinçler tarafından j bloğunda t periyodu süresinde yerine getirilen iş yükü

W_{it} : Planlama süresinin sonunda i bloğunda kalan iş yükü

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N W_{it} \quad (8)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t=1}^T X_{ijt} = \sum_{t=1}^T X_{ji(t-1)} \quad \forall i \text{ ve } \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ijt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N X_{jit} \leq 2 \quad \forall i \text{ ve } \forall t \quad (10)$$

$$W_{i(t-1)} + B_{it} - \left(\sum_{j=1}^N Z_{ijt} + \sum_{j=1}^N Y_{jit} \right) - W_{it} = 0 \quad \forall i \text{ ve } \forall t \quad (11)$$

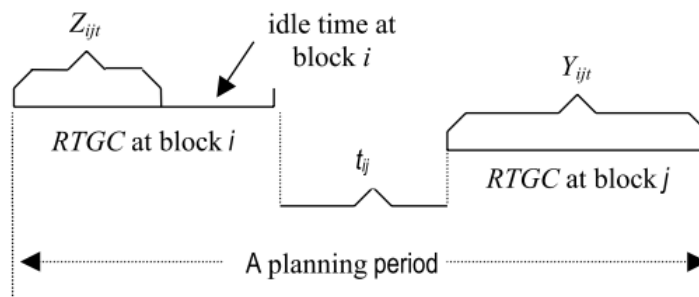
$$Z_{ijt} + Y_{ijt} \leq (C - t_{ij})X_{ijt} \quad \forall i, \forall j \text{ ve } \forall t \quad (12)$$

$$W_{i0} = 0 \quad \forall i \quad (13)$$

$$X_{ij0} = 0 \quad \forall i \text{ ve } \forall j, i \neq j \quad (14)$$

$$W_{it} \geq 0, Z_{ijt} \geq 0, Y_{ijt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j \text{ ve } \forall t \quad (15)$$

$$X_{iit} \in \{0,1,2\}, X_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j \text{ ve } \forall t, i \neq j \quad (16)$$



Şekil 5 Karar Değişkenlerinin Tanımı

Kaynak: Zhang ve diğerleri, 2002

Modelin karar değişkenleri Şekil 5' de görselleştirilmiştir. Z_{ijt} i bloğundan j bloğuna taşıma yapan vinçlerin i bloğunda gerçekleştirdiği iş yükünü, Y_{ijt} i bloğundan j bloğuna taşıma yapan vinçlerin j bloğunda gerçekleştirdiği iş yükünü, t_{ij} ise i bloğundan j bloğuna hareket süresini ifade etmektedir. Modelin amacı (8) geciken iş toplamının

minimizasyonudur. Denklem (9)'daki kısıt, periyotlar arası vinçlerin her blok için akışını veya hareketini sağlar. İkinci kısıt (10) belirlenen periyotta sadece iki vincin bir bloğa hizmet vermesini sağlamaktadır. Üçüncü kısıt (11) iş yükü dengesini sağlamaktadır. Denklem (12)'de yer alan kısıt planlama periyodunda vinç iş yükünün, vinç kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. Denklem (13), başlangıç iş yükü kısıtıdır. Denklem (14), vinçlerin başlangıç yerlerini belirlemektedir. Denklem (15) ve (16) ise negatif olmama ve tamsayı kısıtlarıdır.

Alattar (2003), çalışmasını Almanya'dan Türkiye'ye ithal edilen malların dağıtım ağı üzerinde gerçekleştirmiştir. Konteyner terminalinde gerçekleştirilen operasyonları optimize etmek için çalışılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon ve kesikli matematik yaklaşımları kullanılarak tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin amaçlarından birisi gemilerin bekleme sürelerinin minimizasyonu bir diğeri ise konteynerlerin bekleme maliyetlerinin minimizasyonudur. Optimal rıhtıma yanaşma süresi ile amaç fonksiyonlarının minimize edilmesi hedeflenen amaçtır.

Zhang ve diğerleri (2003), 2002'deki çalışmalarından farklı olarak ihraç ve transit konteynerlerin aynı blokta istiflendiği kompleks bir terminalde depolama yeri belirleme problemi üzerinde çalışmışlar ve problemi iki aşamada çözmüşlerdir. İlk aşamada bloklar arasındaki iş yükü dengelenmiş, ikinci aşamada ise gemi ile bloklar arasındaki taşıma mesafesi minimum edilmeye çalışılarak konteynerler bloklara atanmıştır. Böylece darboğazlar önlenmeye çalışılmıştır.

Kim ve Bae (2004), çalışmalarında gemilerin çevrim sürelerini kısaltma, gemilere yapılan yüklemeler sırasında limandaki alanların etkin kullanılabilmesi için konteynerlerin yerleşimini düzenleme gibi alanlarda çalışmışlardır. Problem çözüm yöntemi olarak Dinamik Programlama ve Ulaştırma Modeli yöntemini kullanmışlardır.

Lehmann, Grunow ve Günther (2006), otomatikleştirilmiş konteyner terminallerindeki taşıma işlemlerinde oluşan darboğazları ele almışlardır. Darboğazların saptanması için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki terminal sisteminin matris temsiline dayanmaktadır. Diğeri ise bireysel kaynak talepleri ile ilişkilidir. Çalışmada rıhtım vinci çizelgelemesi, istif vinci sıralaması ve çizelgelemesi ve AGV dağıtım problemlerine çözümler aranmıştır.

Cao ve diğerleri (2010), konteyner terminalinde çalışan kamyon ve alan vinçlerinin bütünleşik çalışmalarını çizelgelemişlerdir. Yöntem olarak Karma Tamsayılı Programlama kullanmışlardır. Hesaplama zorluğu nedeniyle Benders'in ayrıştırma

metoduna dayanan iki verimlilik çözüm metodu geliştirmişler ve sonuçları karşılaştırarak yorumlamışlardır.

Guo ve diğerleri (2011), istif vinci operasyonlarında taşıyıcı araçların bekleme sürelerini minimize etmeye çalışmışlardır. Guo ve diğerlerinin önerdikleri model ile üç farklı iş yükü durumuna göre modeli test etmiş ve çözümleri yorumlamışlardır.

3.1.2.Simülasyon Yöntemi ile Çözümlenen Çalışmalar

Castilho ve Daganzo (1993), çalışmalarında taşıma operasyonlarında gerçekleşen elleçleme hareket sayısını ve kullanılan alanı minimize etmeye çalışmışlardır. Bunu yaparken konteyner elleçleme ve depolama stratejilerinden yararlanmışlardır. Konteyner depolama alanlarında depo düzenlerini belirlemede ve konteynerleri geliş zamanlarına göre gruplandırma ve ayırmada simülasyon tekniğinden yararlanmışlardır.

Bruzzone ve Signorille (1998), çalışmalarında konteynerlerin merkezlerdeki bekleme ve depolama faaliyetlerinde oluşan yerleşim problemlerini incelemişler, terminalin yerleşimini planlamışlardır. Yerleşim planının çözümü için simülasyon yöntemini kullanmışlardır.

Liu ve diğerleri (2004), çalışmalarında otomatik konteyner terminallerinin performansını ölçmüşlerdir. Otomasyon ve terminal yerleşiminin terminal performansı üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla simülasyon modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelleri ABD'deki Norfolk Uluslararası Terminali'nde gerçekleşen verilere uygulayarak doğrulamışlardır. Çözüm için kullandıkları simülasyon yöntemi ile dört farklı dağıtım kuralının terminal performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Parola ve Sciomachen (2005), çoklu taşıma türüne sahip bir terminal sisteminde konteynerlerin taşınması sırasında meydana gelen akışları incelemişlerdir. Simülasyon yöntemi ile oluşturulan üç farklı senaryoya göre analizler yapmışlar ve problemin çözümü için Kesikli Olay Simülasyon Modelleme yaklaşımını kullanmışlardır.

Akoğlu (2006), çalışmasında konteynerlerin limandaki depo alanlarında istiflenirken ortaya çıkan problemler üzerine yoğunlaşmıştır. Problemin çözümü için envanter yöntemi ve kuyruk yöntemini kullanarak çözüm üretmeye çalışmıştır. Geçmişte gerçekleşen konteyner istatistiklerini Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu ile incelemiş ve çıkan sonuçları karşılaştırmıştır.

3.1.3. Metasezgisel Yöntemler ile Çözümlenen Çalışmalar

Kim ve diğerleri (1999), çalışmalarında ekspres paket teslimatını içeren büyük ölçekli bir servis ağı tasarım problemini modellemiş ve çözümlenmiştir. Bunu yaparken paketlerin başlangıç noktalarından varış noktalarına kadar hareket maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümünde Service Network Design-Cut adlı bir algoritmadan yararlanılmış ve sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. İlgili algoritmalar kullanılarak varsayımsal bir örnek çözümlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Crainic, Gendreau ve Farvolden (2000), sabit yüklü ve kapasite sınırı olan çok ürünlü bir taşıma ağını maliyetleri göz önünde bulundurarak optimize etmeye çalışmışlardır. Problemin çözümünü iki bölümde incelemişlerdir. Birinci bölümde sezgisel algoritmalar geliştirilmiş, ikinci bölümde ise Tabu Algoritması ile veriler genişletilmiştir.

Wilson, Roach ve Ware (2001), çalışmalarında birçok limana uğrayan bir konteyner gemisinde konteynerler için uygun bir yerleşim planı bulmaya çalışmışlar, modern konteyner gemilerinde zaman ve kapasite kısıtları altında bu işlemlerin ne derece kompleks olduğunun altını çizmişlerdir. Bu kompleks sistemi planlamak adına bir model geliştirmişler ve çözümü için de Dal-Sınır Algoritması ve Tabu Arama Algoritması'nı kullanmışlardır.

Bish ve diğerleri (2005), gelen konteynerlerin depo alanında belirlenen yere atanması ve taşıyıcı araçlarının da konteynerlere atanması işlemleri üzerinde durmuşlardır. Boşaltma zamanlarının ve depo alanı ile rıhtım arasındaki mesafenin en küçüklenmesi üzerine çalışmışlardır. Problem çözümü için Sezgisel Yöntemleri kullanmışlardır.

Eskigun ve diğerleri (2005), dağıtım ağlarında meydana gelen gecikmeler üzerinde çalışmışlardır. Tüm operasyon süresi boyunca meydana gelen gecikme zamanları, dağıtım süresi boyunca aktarma ve depolama için kullanılan tesislerin yerleşimi ve çok modlu taşımacılıkta kullanılacak taşıma modlarının avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak hangi modun kullanılacağına seçimini yapan bir ağ tasarlamışlardır. Problemlerinin çözümünde Lagrajyan sezgisel yöntemini kullanmışlardır.

Ng ve Mak (2005), çalışmalarında istif vinci işlemlerinde darboğaz oluşturan işlemler üzerinde yoğunlaşmışlar ve hazırlık sürelerini minimize etmeye çalışmışlardır.

İşlem sürelerinin alt ve üst sınırlarını saptamışlar ve bunları yaparken de Dal-Sınır Algoritması yöntemini kullanmışlardır.

Ng ve Mak çalışmalarında matematiksel modeli şu şekilde tanımlamışlardır:

t_i : Vincin i işini tamamladığı zaman

h_i : Taşıma süresi

r_i : Kamyon varış zamanı (İşin başlangıç zamanı)

d_{ij} : Vincin i işinin bulunduğu yerden j işinin bulunduğu yere taşınma süresi

n : İş sayısı

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ işi } j \text{ işinden önce bitirse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n (t_i - h_i - r_i) \quad (17)$$

Kısıtlar:

$$t_i \geq r_i + h_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (18)$$

$$t_j - t_i \geq d_{ij} + h_j - (1 - X_{ij})M \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ ve } i \neq j \quad (19)$$

$$X_{ij} + X_{ji} = 1 \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ ve } i \neq j \quad (20)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ ve } i \neq j \quad (21)$$

Ng ve Mak geliştirdiği bu modelin amacı iş bekleme süreleri toplamının minimizasyonudur (17). Denklem (18) iş bitiş zamanı, başlangıç zamanı ve taşıma zamanları arasındaki ilişkiyi kurmaktadır. Ardışık işlerin bitiş zamanları arasındaki ilişki denklem (19) da gösterilmektedir. Denklem (20), karar değişkeni öncelik ilişkisinin doğruluğunu sağlamaktadır. Son denklemde ise karar değişkeninin ikili değişken olma kısıtıdır (21).

Chen ve diğerleri (2007), çalışmalarında konteyner terminallerinde ekipman çizelgeleme için model geliştirmişler ve hizmet süresini minimum yapmayı amaçlamışlardır. Problemi çözerken Tabu Algoritmasını kullanarak iki tip yaklaşım sunmuşlar ve çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır.

Lau ve Zhao (2008), çalışmalarında farklı tiplerdeki elleçleme ekipmanlarını entegre bir biçimde çizelgelemişlerdir. Ekipmanların etkili biçimde kullanılmasını sağlayıp gemilerin limanda geçirdikleri zamanı azaltarak terminallerin verimliliğinin artırılmasını amaçlamışlardır. Geliştirilen model ile terminal ekipmanlarının gecikme süreleri minimize edilirken taşıma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli toplam

seyahat sürelerinin de en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için Çok Katmanlı Genetik Algoritma yönteminden yararlanılmıştır.

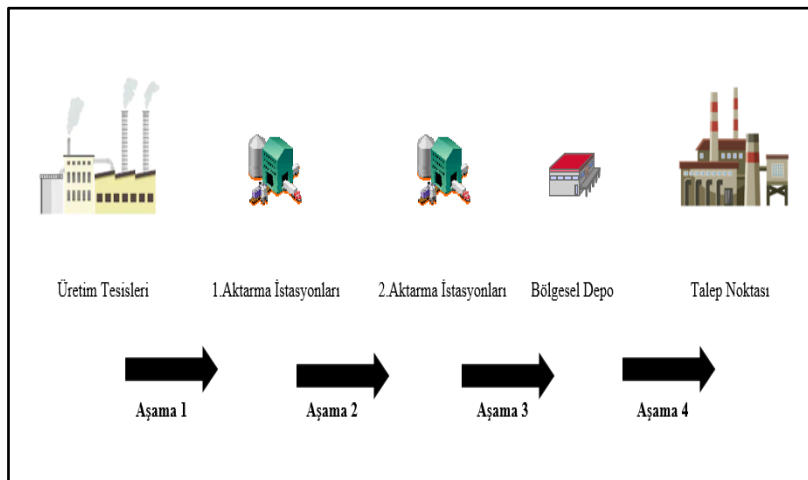
Meng, Cao ve Lee (2008), yükleme-boşaltma işletmelerindeki verimlilik üzerinde çalışmışlardır. Problemin çözümlenebilmesi için tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde tek tip konteyner türünün kullanıldığı ve her bir konteyner için yükleme süresinin aynı olduğu varsayılmıştır. Modelin çözümü için Tavlama Benzetimi Algoritması kullanılmışlardır.

Bazzazi, Safaei ve Javadian (2009), çalışmalarında aktarma ve depolama yerlerinde ürünlerin boşaltılması ve yüklenmesi sırasında nerelerde depolanması ve bekletilmesi gerektiği problemi üzerine yoğunlaşmışlardır. Problemin çözümü için Genetik Algoritma yöntemini kullanmışlardır.

Mak. ve Sun (2009), yükleme-boşaltma işlemlerindeki hazırlık sürelerini düşürmeyi amaçlamışlardır. Süreleri minimize etmek için yeni algoritmalar geliştirerek sonuçları Genetik Algoritma ile karşılaştırmış ve maliyet verimliliği hesaplamışlardır.

3.2.Çok Aşamalı Model Tasarımı

Birden fazla aşamadan oluşan taşıma ağları en genel hali ile Şekil 6' da verilmiştir. İlk aşama ürünlerin ihracatçı ülke içindeki üretim merkezlerinden ilk aktarma istasyonuna kadarki taşımayı içeren birinci aşamadır. İkinci aşama, ilk aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine kadar olan uzun taşıma işleminin gerçekleştiği kısımdır. İkinci aktarma merkezlerinden dağıtımın yapılacağı bölgesel depolara kadarki taşıma işlemi üçüncü aşamadır. Son aşama ise bölgesel depolardan talep noktalarına kadar devam eden taşımadır.



Şekil 6. Çok Aşamalı Taşıma Ağı Yapısı

Tez kapsamında ele alınan ağın yapısı Şekil 6'da gösterilen genel taşıma ağı ile benzerlik göstermekle birlikte yedek parça taşınması yapıldığı için ağ, yerel depolar ile başlayıp talep noktaları ile son bulmuştur.

Modlar arası taşımacılık açısından düşünüldüğünde en sık kullanılan taşıma modu olmalarından ve incelenecek uygulamanın gerçekleştiği işletmenin mevcut güzergahında bu modlar kullanıldığından dolayı kara yolu, deniz yolu ve demir yolu modele dahil edilmiştir. Hava yolu ve boru hattı taşımacılığı devre dışı bırakılmıştır. Bu taşıma modları kullanılarak farklı taşıma kombinasyonları elde edilmiştir.

- Kara yolu
- Kara yolu- Deniz yolu
- Kara yolu-Demir yolu
- Kara yolu-Deniz yolu-Demir yolu

Her aşamada her taşıma modu kullanılabilmesi gibi genellikle ilk ve son aşamalarda karayolu tercih edilmektedir. Ürün toplanmasının yapıldığı birinci aşamada ve ürünün talep noktalarına dağıtım yapıldığı son aşama genellikle kısa yol mesafeler olduğundan karayolu ulaşımı yapılmaktadır. Ürünlerin aktarma merkezleri arasında taşındığı ve genelde ülkeler arası taşınmanın yapıldığı aşamalar olan ikinci ve üçüncü aşamalarda deniz yolu ya da demir yolu taşımacılığı tercih edilmektedir. Ülkeler arası taşımacılığın hangi mod ile yapılacağına kararı modelin amacına göre değişiklik gösterecektir.

Çok modlu taşımacılık problemi, farklı tipte ürünlerin konteyner ya da treyler şeklindeki ekipmanlar ile birim yük olarak farklı taşıma modları ile arz noktalarından talep noktalarına taşınması ile ilgilidir. Her p ürün tipi, i adet arz noktasından q taşıma modu kullanılarak j . aktarma merkezine getirilir. j , birinci aktarma merkezine gelen ürün bir sonraki aşamaya mod değiştirerek gidecekse aktarma merkezlerinde gerekli elleçleme işlemlerinden geçerek bir sonraki durak olan k . aktarma merkezine yola çıkarılmak üzere hazırlanır. j aktarma merkezlerinden q taşıma modu ile k . aktarma merkezine getirilen p ürünü bir önceki aktarma merkezindeki işlemlerden geçerek q taşıma modu ile l yerel depolara getirilir. Yerel depolarda talep noktalarının taleplerine göre ayrıştırılan p ürünleri q taşıma modu ile talep noktalarına dağıtılır.

Bu problemdeki ana amaç, taşıma süresi boyunca taşınan miktarlara göre değişen toplam taşıma, aktarma, istifleme ve depolama sürelerinin minimize edilmesidir. Hedeflenen amaç gerçekleştirilirken tüm kısıtlar sağlanmalıdır. Taşıma süreleri ve maliyetlerini minimize ederken müşteri memnuniyeti de maksimize edilir.

Çok modlu taşıma problemlerinin gerçek hayat uygulamaları gerçekleştirilirken bazı kısıtlar ile karşılaşılır. Bu kısıtlar aşağıda gruplandırılmıştır:

- Her ürün tipine göre gönderi yapılan ürünlerin arz ve talep miktarlarının eşit olması kısıtı
- Gönderilen ürün miktarlarının aktarma merkezleri ve depoların kapasitelerini aşmama kısıtı
- Rotadaki her noktaya gelen ve giden ürün miktarının eşit olması kısıtı

Genel bir, çok modlu taşımacılık modelinin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

İndisler:

i: Arz noktaları indeksi

j: Birinci aktarma merkezi indeksi

k: İkinci aktarma merkezi indeksi

l: Yerel depolar indeksi

m: Talep noktaları indeksi

p: Ürün tipi indeksi

q: Taşıma modu indeksi

Parametreler:

T_{pijq} : i. arz noktasından j aktarma merkezine q taşıma modu ile taşınan p ürününü taşıma süresi

T_{pjkk} : j. aktarma merkezinden k aktarma merkezine q taşıma modu ile taşınan p ürününü taşıma süresi

T_{pklq} : k aktarma merkezinden l yerel deposuna q taşıma modu ile taşınan p ürününü taşıma süresi

T_{plmq} : l yerel depodan m talep noktasına q taşıma modu ile taşınan p ürününü taşıma süresi

D_{pm} : m talep noktasının p ürününden talep miktarı

C_j : j aktarma merkezinin kapasitesi

C_k : k aktarma merkezinin kapasitesi

C_l : l aktarma merkezinin kapasitesi

Karar Değişkenleri:

X_{pijq} : i arz noktasından j aktarma merkezine q taşıma modu ile taşınan p ürünü miktarı

X_{pjkkq} : j aktarma merkezinden k aktarma merkezine q taşıma modu ile taşınan p ürünü miktarı

X_{pklq} : k aktarma merkezinden l yerel deposuna q taşıma modu ile taşınan p ürünü miktarı

X_{plmq} : l yerel depodan m talep noktasına q taşıma modu ile taşınan p ürünü miktarı

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
 \min z = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^Q T_{pijq} X_{pijq} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q T_{pjkkq} X_{pjkkq} + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q T_{pklq} X_{pklq} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q T_{plmq} X_{plmq} \quad (22)
 \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu tüm taşıma boyunca toplam sürelerin minimize edilmesidir ve her aşamada geçen süre ile taşınan ürün miktarına eşittir (22).

Kısıtlar:

Çok modlu taşımacılık problemlerinin gerçek hayata uyarlanmasında karşılaşılan belli başlı kısıtlar vardır:

1) Noktalara gelen ve giden ürün miktarının eşit olması kısıtı:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^Q X_{pijq} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q X_{pjkkq} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall j \in J \quad (23)$$

i arz noktalarından j birinci aktarma merkezlerine q taşıma modu ile gelen her p ürünü miktarı, j birinci aktarma merkezlerinden k ikinci aktarma merkezlerine q taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarına eşit olmalıdır (23).

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q X_{pjkq} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q X_{pklq} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall k \in K \quad (24)$$

j birinci aktarma merkezlerinden k ikinci aktarma merkezlerine q taşıma modu ile gelen her p ürünü miktarı, k ikinci aktarma merkezlerinden l bölgesel depolara q taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarına eşit olmalıdır (24).

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q X_{pklq} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q X_{plmq} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall l \in L \quad (25)$$

k ikinci aktarma merkezlerinden l yerel depolara q taşıma modu ile gelen her p ürünü miktarı, l yerel depolardan m talep noktalarına q taşıma modu ile gönderilen p ürünü miktarına eşit olmalıdır (25).

2) Her ürün tipine göre gönderi yapılan ürünlerin arz ve talep miktarlarının eşit olması kısıtı:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q X_{plmq} = D_{pm} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall m \in M \quad (26)$$

l yerel depolardan m talep noktalarına q taşıma modu ile gönderilen her tip p ürünü miktarı, talep noktalarının talep miktarlarına eşit olmalıdır (26).

3) Gönderilen ürün miktarlarının aktarma merkezleri ve depoların kapasitelerini aşmama kısıtı:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q X_{pijq} = C_j \quad \forall j \in J \quad (27)$$

i arz noktalarından j birinci aktarma merkezlerine q taşıma modu ile gönderilen toplam p ürünü miktarı j birinci aktarma merkezinin kapasitesini geçemez (27).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^Q X_{pjkq} = C_k \quad \forall k \in K \quad (28)$$

j birinci aktarma merkezlerinden k ikinci aktarma merkezlerine q taşıma modu ile gönderilen toplam p ürünü miktarı k ikinci aktarma merkezinin kapasitesini geçemez (28).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q X_{pklq} = C_l \quad \forall l \in L \quad (29)$$

k ikinci aktarma merkezlerinden l bölgesel depolarına q taşıma modu ile gönderilen toplam p ürünü miktarı l bölgesel depoların kapasitesini geçemez (29).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BİR DAĞITIM FİRMASINDA ÇOK MODLU TAŞIMACILIK UYGULAMASI

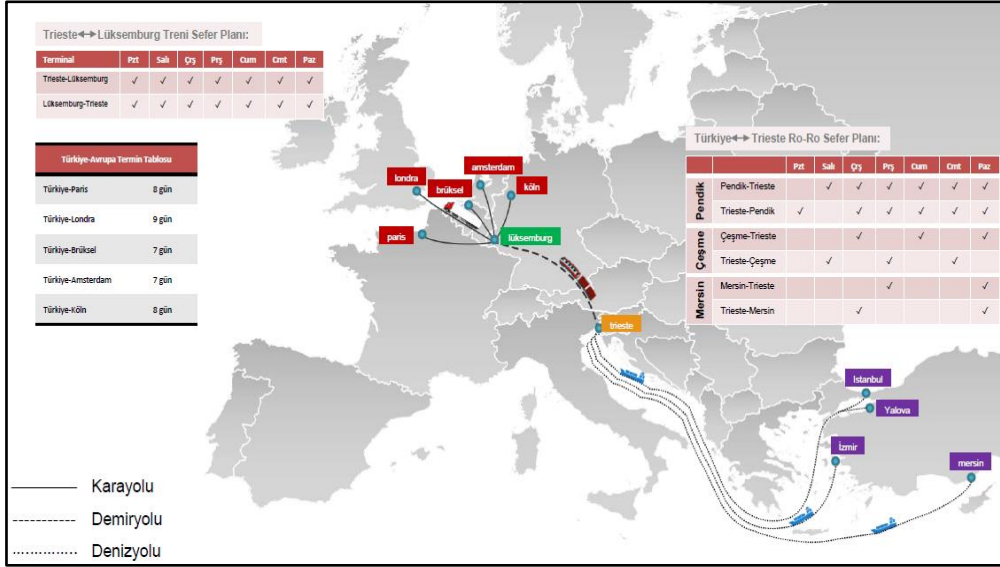
Bu tez çalışmasında önceki bölümlerde incelenen çok aşamalı intermodal taşımacılık problemlerine doğrusal programlama modeli ile çözüm aranmaya çalışılmıştır. Bunun için uygulama yapılacak olan uluslararası taşımacılık firmasında mevcut taşıma ağları incelenmiş ve uygulama için gerekli olan veriler hakkında firma ile görüşmeler yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında firmanın mevcut dağıtım rotasına ek taşıma rotaları önerilmiştir.

Bu kapsamda ilk bölümde firma ile gerekli görüşmeler yapılarak mevcut verilerin analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda ikinci bölümde, standart çok aşamalı taşıma modeli özelleştirilerek mevcut verilere ve talep miktarlarına göre bir model önerilmiştir. Bulgular ve yorum bölümünde ise model, öncelikle mevcut talep miktarlarına çözdürülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Farklı sebeplerle değişebilecek talep miktarlarına göre mevcut talep miktarının azaldığı ve arttığı iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Geliştirilen iki farklı senaryo için model kodlanması tekrarlanmış ve GAMS paket programı ile çözülmüştür. Son durumda üç farklı senaryoya göre çıkan sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

4.1.Mevcut Verilerin Analizi

Tez çalışmasının uygulaması uluslararası modlar arası taşımacılık yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Firmanın belirlenen hat üzerindeki mevcut rotasına ve modlarına alternatif yollar aranmaya çalışılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Firma, farklı işletmelerin parsiyel yüklerini toplayarak taşımasını gerçekleştirmektedir. Mevcut durumda yerel depolarda yükler teslim alınıp deniz yolu ile ilk aktarma merkezi olan Trieste'ye getirilir. Trieste'ye gelen ürünler demir yolu ile Lüksemburg'a getirilir ve buradan kara yolu ile talep noktalarına dağıtımı yapılır. Mevcut sistemin akışı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Trieste-Lüksemburg Arası Mevcut Rota

Firma bu rotada haftada 448 dorse ürün taşımaktadır. Taşınan ürün miktarının %50'si otomotiv sektörü ürünleridir ve 1 dorsenin ortalama 25 ton yük taşıdığı varsayılmıştır. Toplamda 5600 ton otomotiv ürünü taşınmaktadır.

Otomotiv ürünleri içerisinde ise taşıma yoğunluğu en fazla olan dört ürün çeşidi seçilmiştir. Bu ürünlerin miktar açısından oranları Tablo 13' deki gibidir. Ürünlerin adet cinsinden miktarları Tablo 14' de gösterilen ağırlık özelliklerine göre hesaplanmıştır.

Tablo 14.

Ürünlerin Taşınma Oranları ve Miktarları (ton)

Ürün	Taşınma Yüzdesi	Miktar(ton)	Adet
1	45	2520	2520
2	30	1680	1120
3	15	840	1680
4	10	560	1400

Her ürünün fiziksel özellikleri farklıdır. Bu özelliklere göre 1 konteynere yüklenebilecek ürün miktarı Tablo 15' de verilmiştir.

Tablo 15.

Talep Edilen Ürünlerin Özellikleri

Ürün	Ağırlık	Konteynere Yüklenebilecek Ürün Miktarı
1	1 ton	10
2	1,5 ton	5
3	0,5 ton	15
4	0,4 ton	20

İşletme belirlenen rotada haftada ortalama 5600 ton otomotiv ürünü taşımaktadır. Yerel depolardan çıkan ürün miktarları ton cinsinden adet cinsine Tablo 16’ da çevrilmiştir.

Tablo 16.

Yerel Depoların Arz Miktarları (Adet)

Arz Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Mersin	410	150	360	210
İzmir	610	250	290	390
Yalova	500	300	380	350
İstanbul	1000	420	650	450
Toplam (adet)	2520	1120	1680	1400

Ürünler yerel depolardan konteynerlerle taşınmaktadır. Her ürün çeşidinin konteynere yüklenebildiği miktarlar farklıdır ve Tablo 15’ de gösterilmiştir. Bu miktarlar dikkate alınarak yerel depoların arz miktarları konteyner cinsinden Tablo 17’ de hesaplanmıştır.

Tablo 17.

Yerel Depoların Arz Miktarları (Konteyner)

Arz Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Mersin	41	30	24	11
İzmir	61	50	20	20
Yalova	50	60	26	18
İstanbul	100	84	44	23
Toplam (adet)	252	224	114	72

Tablo 18.

Talep Noktalarının Talep Miktarları (adet)

Talep Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Londra	1000	120	520	350
Paris	640	400	310	500
Brüksel	230	300	320	230
Amsterdam	350	200	290	150
Köln	300	100	240	170
Toplam (adet)	2520	1120	1680	1400

Firma son aşamada ürünlerini Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln illerindeki talep noktalarına dağıtmaktadır. Talep noktalarının talep miktarları adet cinsinden Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 19.

Talep Noktalarının Talep Miktarları (Konteyner)

Talep Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Londra	100	24	35	18
Paris	64	80	21	25
Brüksel	23	60	22	12
Amsterdam	35	40	20	8
Köln	30	20	16	9
Toplam (adet)	252	224	114	72

Her ürün çeşidinin bir konteynere yüklenebilme adedi farklı olduğundan talep noktalarının adet cinsinden talep ettiği miktarlar konteyner adedi cinsinden Tablo 19’da hesaplanmıştır.

Tablo 20.

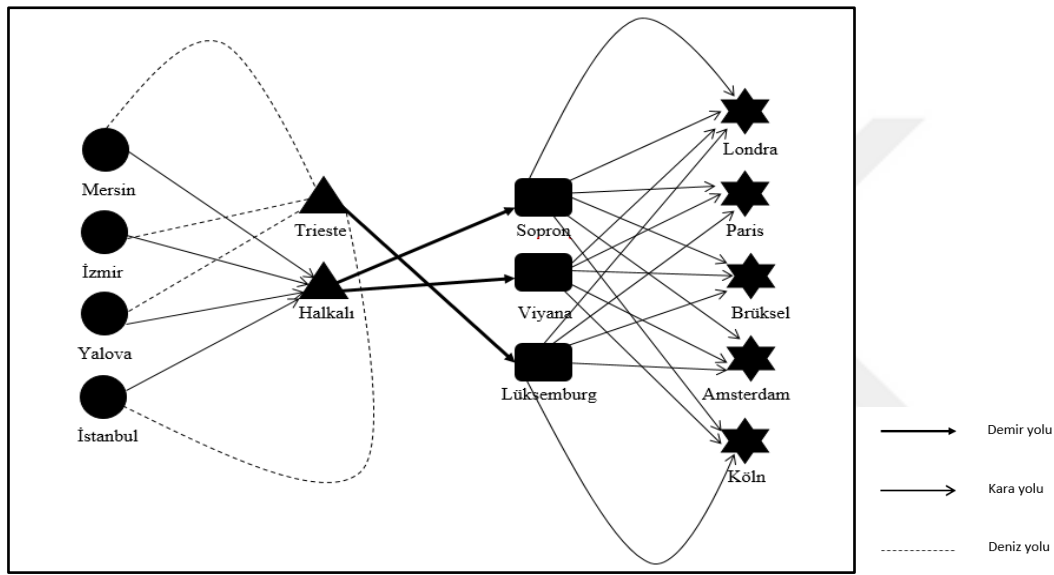
Aktarma Merkezlerinin Konteyner Kapasitesi

Birinci Aktarma Merkezleri	Konteyner Kapasitesi	İkinci Aktarma Merkezleri	Konteyner Kapasitesi
Trieste	2000	Lüksemburg	1000

Ürünlerin aktarımının yapıldığı iki aktarma merkezi vardır. Bunlardan bir tanesi liman, diğeri ise demir yolu istasyonudur. Belirlenen dönemlerde bu merkezlerin firma için ayrılan konteyner kapasitelerinin Tablo 20’de olduğu gibi varsayılmıştır.

Firmanın dört merkezde yerel deposu bulunmaktadır. Bunlar; Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul depolarıdır. Mevcut durumda ürünler, depolardan direkt deniz yolu Trieste'ye gönderilmektedir. Ürünler, mevcut rotaya ek olarak yerel depolardan kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna getirilip buradan demir yolu ile Avrupa'daki aktarma merkezleri olan Sopron ve Viyana'ya gönderilebilir. Son aşama olarak bu merkezlerden kara yolu ile talep noktalarına ürün dağıtımı yapılabilir.

Tez çalışması kapsamında firmanın mevcut taşıma ağına ek, alternatif yollar aranmıştır. Mevcut rotaya önerilen alternatif güzergahlar Şekil 9' da gösterilmiştir.



Şekil 9. Alternatif Taşıma Ağları Yapısı

Mevcut rotaya ve alternatif rotalara ait beş adet aktarma merkezi vardır. Bunların biri liman, diğerleri ise demir yolu terminalleridir. İlgili aktarma merkezlerinin belirlenen zamanlarda firma için ayırdığı konteyner kapasitelerinin Tablo 21'deki gibi olduğu varsayılmıştır.

Tablo 21.

Aktarma Merkezlerinin Konteyner Kapasitesi

Birinci Aktarma Merkezleri	Konteyner Kapasitesi	İkinci Aktarma Merkezleri	Konteyner Kapasitesi
Trieste	2000	Sopron	1000
Halkalı	500	Viyana	1000
		Lüksemburg	1000

Uygulama kapsamında incelenen dört ürünün taşınma süreleri, taşıma modlarına göre farklılık göstermektedir. Her bir ürünün Trieste limanına deniz yolu ile taşınma süreleri Tablo 22' deki gibidir.

Tablo 22.

Ürünlerin Yerel Depolardan Trieste'ye Taşınma Süreleri –Deniz Yolu (Saat)

	Trieste			
	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	72	70	68	62
Ürün 2	72	70	68	62
Ürün 3	72	70	68	62
Ürün 4	72	70	68	62

Diğer bir seçenek olarak ürünler yerel depolardan kara yolu ile Halkalı demir yolu terminaline de getirilebilir. Ürünlerin yerel depolardan kara yolu ile Halkalı istasyonuna taşınma süreleri Tablo 23' de verilmiştir.

Tablo 23.

Ürünlerin Yerel Depolardan Halkalı'ya Taşınma Süreleri-Kara Yolu (Saat)

	Halkalı			
	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	15	9	3	1.5
Ürün 2	15	9	3	1.5
Ürün 3	15	9	3	1.5
Ürün 4	15	9	3	1.5

Birinci aktarma merkezlerine gelen ürünler buradan bir sonraki aşamaya demir yolu ile aktarılmaktadır. Ürünlerin ilk aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine demir yolu ile taşınma süreleri Tablo 24' deki gibidir.

Tablo 24.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Taşınma Süreleri-Demir Yolu (Saat)

		Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün 1	Trieste	Taşıma yok	Taşıma yok	24
	Halkalı	96	96	Taşıma yok
Ürün 2	Trieste	Taşıma yok	Taşıma yok	24
	Halkalı	96	96	Taşıma yok
Ürün 3	Trieste	Taşıma yok	Taşıma yok	24
	Halkalı	96	96	Taşıma yok
Ürün 4	Trieste	Taşıma yok	Taşıma yok	24
	Halkalı	96	96	Taşıma yok

Ürünler, Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln'deki talep noktalarına kara yolu ile taşınmaktadır. Ürünlerin ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına taşınma süreleri Tablo 25' de gösterilmiştir.

Tablo 25.

Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Taşınma Süreleri-Kara Yolu (Saat)

		Londra	Paris	Brüksel	Amsterdam	Köln
Ürün 1	Sopron	19	17	15	15	13
	Viyana	19	16	14	15	12
	Lüksemburg	9	6	3	7	4
Ürün 2	Sopron	19	17	15	15	13
	Viyana	19	16	14	15	12
	Lüksemburg	9	6	3	7	4
Ürün 3	Sopron	19	17	15	15	13
	Viyana	19	16	14	15	12
	Lüksemburg	9	6	3	7	4
Ürün 4	Sopron	19	17	15	15	13
	Viyana	19	16	14	15	12
	Lüksemburg	9	6	3	7	4

Ürünler aktarma merkezlerinde bir takım yükleme ve boşaltma işlemlerine maruz kalmaktadır. Ayrıca merkezlerden farklı taşıma modları ile bir sonraki aşamaya geçecek olan ürünler belirli sürelerle depo alanlarında bekletilebilmektedir.

Yerel depolardan kara yolu ile gönderilecek ürünlerin müşteriler tarafından depoya teslimi yapıldıktan sonra yerel depolarda boşaltılma işlemi için geçen süreler Tablo 26' da verilmiştir.

Tablo 26.

Ürünlerin Yerel Depolardaki Boşaltılma Süreleri-Kara Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	2	2	2	3
Ürün 2	2	3	2	4
Ürün 3	1	1	1	2
Ürün 4	1	1	1	2

Müşteriler tarafından yerel depolara getirilip teslim edilen ürünlerin bir kısmı da deniz yolu ile taşınabilmektedir. Yerel depolardan deniz yolu ile gönderilecek ürünlerin yerel depolardaki boşaltım süreleri Tablo 27' deki gibidir.

Tablo 27.

Ürünlerin Yerel Depolardaki Boşaltılma Süreleri-Deniz Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	3	3	3	5
Ürün 2	3	3	2	4
Ürün 3	2	2	2	2
Ürün 4	2	2	2	2

Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul'daki yerel depolardan kara yolu ile Halkalı istasyonuna gönderilecek ürünlerin araçlara yüklenme süreleri Tablo 28' deki gibidir.

Tablo 28.

Ürünlerin Yerel Depolardaki Yüklenme Süreleri-Kara Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	2	2	2	3
Ürün 2	2	3	2	4
Ürün 3	1	1	1	2
Ürün 4	1	1	1	2

Yerel depolardaki ürünlerin bir kısmı da deniz yolu ile Trieste limanına gönderilebilir. Deniz yolu ile Trieste limanına gönderilecek ürünlerin yüklemelerinin yapılması için geçen süreler Tablo 29'daki gibidir.

Tablo 29.

Ürünlerin Yerel Depolardaki Yüklenme Süreleri-Deniz Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	3	3	2	4
Ürün 2	3	3	2	4
Ürün 3	2	2	1	2
Ürün 4	2	2	1	2

Kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilen ürünlerin istasyonda boşaltılma süreleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri-Kara Yolu (Saat)

	Trieste	Halkalı
Ürün 1	Taşıma yok	2
Ürün 2	Taşıma yok	3
Ürün 3	Taşıma yok	1
Ürün 4	Taşıma yok	1

Deniz yolu ile Trieste limanına gelen her bir ürün mod değişimi için limanda boşaltılıp demir yolu için hazırlanmaktadır. Ürünlerin Trieste limanında boşaltılma süreleri Tablo 31'deki gibidir.

Tablo 31.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri-Deniz Yolu (Saat)

	Trieste	Halkalı
Ürün 1	4	Taşıma yok
Ürün 2	4	Taşıma yok
Ürün 3	2	Taşıma yok
Ürün 4	2	Taşıma yok

Birinci aktarma merkezlerine gelen ürünler buralardan demir yolu ile bir sonraki aşamaya gönderilmektedir. Demir yolu ile yola çıkacak ürünlerin birinci aktarma merkezlerinde yüklenme süreleri Tablo 32’ de verilmiştir.

Tablo 32.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezlerindeki Yüklenme Süreleri Demir Yolu (Saat)

	Trieste	Halkalı
Ürün 1	3	2
Ürün 2	4	3
Ürün 3	2	1
Ürün 4	2	1

Tablo 33.

Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerindeki Boşaltılma Süreleri Demir Yolu (Saat)

	Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün 1	2	3	3
Ürün 2	3	2	3
Ürün 3	1	1	1
Ürün 4	1	1	1

Trieste limanından ve Halkalı demir yolu istasyonundan yüklenen ürünlerin ikinci aktarma noktaları olan Sopron, Viyana ve Lüksemburg istasyonlarında boşaltılma süreleri Tablo 33’ deki gibidir.

Tablo 34.

Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezlerindeki Yüklenme Süreleri Kara Yolu (Saat)

	Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün 1	2	3	3
Ürün 2	2	3	3
Ürün 3	1	1	1
Ürün 4	1	1	1

Ürünler, ikinci aktarma merkezleri olan Sopron, Viyana ve Lüksemburg’dan talep noktalarına kara yolu ile taşınmaktadır. Ürünlerin talep noktalarına ulaştırılmak üzere son aktarma merkezlerinde yükleme süreleri Tablo 34’ deki gibidir.

Yerel depolardan başlayıp talep noktalarında son bulan taşıma işlemi birden fazla aşama ve taşıma modundan oluşmaktadır. Ürünler, aktarma merkezlerinde ve yerel depolarda bir sonraki aşamalar için mod değişimi yapılmak üzere boşaltılıp aktarılırken bir sonraki aşamanın taşıma moduna göre belirli sürelerde aktarma merkezlerinde ve yerel depolarda depolanabilmektedir.

Yerel depolardan kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna gönderilecek ürünlerin Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul yerel depolarında depolanma süreleri Tablo 35' deki gibidir.

Tablo 35.

Ürünlerin Yerel Depolarda Depolanma Süreleri -Kara Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	96	96	120	72
Ürün 2	96	96	120	72
Ürün 3	96	96	120	72
Ürün 4	96	96	120	72

Ürünlerin bir kısmı Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul'daki yerel depolardan deniz yolu ile Trieste limanına da gönderilebilmektedir. Yerel depolardan deniz yolu ile taşınan ürünlerin depolanma süreleri Tablo 36' da verilmiştir.

Tablo 36.

Ürünlerin Yerel Depolarda Depolanma Süreleri-Deniz Yolu (Saat)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	144	120	144	96
Ürün 2	144	120	144	96
Ürün 3	144	120	144	96
Ürün 4	144	120	144	96

Yerel depolardan kara yolu ile Halkalı istasyonuna gelip demir yolu ile taşınmaya devam edecek ürünlerin Halkalı istasyonunda bekletilme süreleri Tablo 37' deki gibidir.

Tablo 37.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri-Kara Yolu (Saat)

	Trieste	Halkalı
Ürün 1	Taşıma yok	48
Ürün 2	Taşıma yok	48
Ürün 3	Taşıma yok	48
Ürün 4	Taşıma yok	48

Tablo 38.

Ürünlerin Birinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri Deniz Yolu (Saat)

	Trieste	Halkalı
Ürün 1	140	Taşıma yok
Ürün 2	140	Taşıma yok
Ürün 3	140	Taşıma yok
Ürün 4	140	Taşıma yok

Ürünler ilk aktarma merkezi olan Trieste limanına deniz yolu ile getirilip belirli bir süre burada depo edilmektedir. Ürünlerin Trieste limanında depolanma süreleri Tablo 38 'deki gibidir.

Tablo 39.

Ürünlerin İkinci Aktarma Merkezinde Depolanma Süreleri-Demir Yolu (Saat)

	Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün 1	72	48	96
Ürün 2	72	48	96
Ürün 3	72	48	96
Ürün 4	72	48	96

Son olarak kara yolu ile talep noktalarına dağıtılacak ürünler ikinci aktarma merkezleri olan Sopron, Viyana ve Lüksemburg demir yolu istasyonlarında bekletilebilmektedirler. Ürünlerin bu istasyonlarda depolanma süreleri Tablo 39' daki gibidir.

4.2.Model Formülasyonu

Üçüncü bölümde tanımlanan ve formüle edilen çok aşamalı model tasarımı ile belirlenen standart model, uygulamanın yapıldığı firmanın mevcut durum ve koşullarına göre özelleştirilmiştir.

Firmanın Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul'da olmak üzere dört adet yerel deposu bulunmaktadır. Bu yerel depolar arz noktaları olarak kabul edilmiştir. Dağıtım yapılacak ürünler, gönderi yapan müşteriler tarafından bu depolara getirilip teslim edilmektedir. Yerel depolardan ilk aktarma merkezleri olan Trieste ve Halkalı'ya gönderilen ürünler iki farklı taşıma modu ile gönderilebilmektedir. Trieste limanına gönderilecek ürünler deniz yolu ile Halkalı demiryolu istasyonuna gönderilecek ürünler ise yerel depolardan kara yolu ile gönderilmektedir. İlk aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine gönderilecek ürünlerin taşınması için demir yolu kullanılmaktadır. Ancak Trieste limanından sadece Lüksemburg istasyonuna gönderim vardır. Halkalı istasyonundan ise Sopron ve Viyana istasyonlarına gönderi yapılabilmektedir. İşletmenin beş adet talep noktası vardır. Bunlar Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln şehirlerindeki müşterilerdir. Firma ikinci aktarma merkezlerine gelen ürünleri kara yolu ile talep noktalarına ulaştırmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan modelin formülasyonunda kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

4.2.1.Modelde Kullanılan İndisler ve Parametreler

İndis Seti:

i: Yerel Depolar (1:Mersin,2:İzmir,3:Yalova,4:İstanbul)

j: Birinci Aktarma Merkezleri (1:Trieste,2:Halkalı)

k: İkinci Aktarma Merkezleri (1:Sopron,2:Viyana,3:Lüksemburg)

l: Talep Noktaları (1:Londra,2:Paris,3:Brüksel,4:Amsterdam,5:Köln)

p: Ürün Tipi

Parametreler:

D_{pl} : l talep noktasının talep ettiği p ürünü miktarı

X_{pi} : i yerel deposunun arz miktarı

- **Taşıma Süreleri**

Rt_{pij} : p ürününü i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine kara yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

St_{pij} : p ürününü i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine deniz yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

Tt_{pjk} : p ürününü j birinci aktarma merkezinden k ikinci aktarma merkezine demir yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

Rt_{pkl} : p ürününü k ikinci aktarma merkezinden l talep noktasına kara yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

- **Aktarma Süreleri**

$Ra_{pi}^{I,bos}$: i yerel deposundan kara yolu ile gidecek p ürününün yerel depoda boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Sa_{pi}^{I,bos}$: i yerel deposundan deniz yolu ile gidecek p ürününün yerel depoda boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ra_{pi}^{I,yuk}$: i yerel deposundan kara yolu ile gidecek p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Sa_{pi}^{I,yuk}$: i yerel deposundan deniz yolu ile gidecek p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Ra_{pj}^{J,bos}$: Kara yolu ile j aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Sa_{pj}^{J,bos}$: Deniz yolu ile j aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ta_{pj}^{J,yuk}$: Demir yolu ile j aktarma merkezinden gidecek olan p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Ta_{pk}^{K,bos}$: Demir yolu ile k aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ra_{pk}^{K,yuk}$: Kara yolu ile k aktarma merkezinden l talep noktasına gidecek olan p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

- **Depolanma Süreleri**

Rd_{pi}^I : Kara yolu ile gidecek p ürününün i yerel deposunda depolanma süresi (saat/ürün)

Sd_{pi}^I : Deniz yolu ile gidecek p ürününün i yerel deposunda depolanma süresi (saat/ürün)

Rd_{pj}^J : Kara yolu ile gelen p ürününün j aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

Sd_{pj}^J : Deniz yolu ile gelen p ürününün j aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

Td_{pk}^K : Demir yolu ile gelen p ürününün k aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

- **Kapasiteler**

A_j : j birinci aktarma Merkezinin kapasitesi (konteyner)

B_k : k ikinci aktarma Merkezinin kapasitesi (konteyner)

4.2.2. Karar Değişkenleri

R_{pij} : i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine kara yolu ile taşınan p ürünü miktarı

S_{pij} : i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine deniz yolu ile taşınan p ürünü miktarı

T_{pjk} : j birinci aktarma merkezinden k ikinci aktarma merkezine demir yolu ile taşınan p ürünü miktarı

R_{pkl} : k ikinci aktarma merkezinden l talep noktasına kara yolu ile taşınan p ürünü miktarı

4.2.3. Amaç Fonksiyonu

Çalışmada taşıma süreleri ile aktarma ve istifleme sürelerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

1) Taşıma Süreleri Minimizasyonu: Taşıma işlemi gerçekleştirilirken müşteri memnuniyetini artırmak amacıyla mümkün olan en kısa sürede taşıma yapılmalıdır. Arz noktalarından nihai talep noktalarına kadar olan tüm noktalar arasındaki en kısa süreli taşıma modunun seçilmesi amaçlanır. İlgili matematiksel ifade, tüm rota boyunca toplam taşıma süresini minimize eder. Birim taşıma zamanı ile belirlenen zaman içerisinde taşınacak tüm yük miktarının çarpımı sonucunda elde edilir (30).

$$\begin{aligned}
\min z = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Rt_{pij} R_{pij}) + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (St_{pij} S_{pij}) \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (Tt_{pj k} T_{pj k}) + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (Rt_{pkl} R_{pkl}) \quad (30)
\end{aligned}$$

2)Aktarma-İstifleme Süreleri Minimizasyonu: Aktarma merkezleri ve yerel depolarda yüklerin boşaltılması, bu alanlarda depolanması ve tekrar yüklenmesi sırasında geçen yük başına birim zamanlar ile bu işlemlere tabi tutulan yük miktarlarının çarpımı sonucu elde edilen toplam süredir. Taşıma süresi boyunca seçilen taşıma moduna göre değişiklik gösterir (31).

Aşamalar arasında yüklerin taşınması (30), aktarma merkezlerine ve yerel depolara boşaltılması, bu alanlarda istiflenip depolanması ve bir sonraki aşama için tekrar yüklenme süreleri (31) birleştirilip toplam süre değerlendirilmiştir.

$$\begin{aligned}
\min z = & \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Ra_{pi}^{I,bos} + Rd_{pi}^I) R_{pij} \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Sa_{pi}^{I,bos} + Sd_{pi}^I) S_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Ra_{pi}^{I,yuk} R_{pij}) \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Sa_{pi}^{I,yuk} S_{pij}) + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Ra_{pj}^{J,bos} + Rd_{pj}^J) R_{pij} \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Sa_{pj}^{J,bos} + Sd_{pj}^J) S_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Ta_{pj}^{J,yuk} T_{pj k} \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (Ta_{pk}^{K,bos} + Td_{pk}^K) T_{pj k} \\
& + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L Ra_{pk}^{K,yuk} R_{pkl} \quad (31)
\end{aligned}$$

4.2.4. Matematiksel Modelin Kısıtları

Modelin amaç fonksiyonlarının optimizasyonu sırasında dikkate alınması gereken kısıtlar aşağıda sıralanmıştır. Nihai noktadaki müşterilerin talepleri, ara aşamaların kapasiteleri ile ilgili kısıt setleri mevcuttur.

1) j Aktarma Merkezine Gelen-Giden Yük Miktarının Eşitliği Kısıtı:

Birinci aktarma merkezleri olan Trieste limanı ve Halkalı demir yolu istasyonuna gelen ve giden yük miktarları eşit olmalıdır. Ancak Trieste limanına kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna ise deniz yolu ile ulaşım yoktur. Bu nedenle kısıt deniz yolu ulaşımı kısıtı (32) ve kara yolu kısıtı (33) olarak iki kısımda incelenmiştir.

Deniz Yolu Yükü

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I S_{pi1} = \sum_{p=1}^P T_{p13} \quad \forall p \in P \quad (32)$$

Deniz yolu ile birinci aktarma merkezine (Trieste) taşınan her ürün miktarı Trieste limanından demir yolu ile taşınan ürün miktarına eşit olmalıdır (32).

Kara Yolu Yükü

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I R_{pi2} = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^2 T_{p2k} \quad \forall p \in P \quad (33)$$

Kara yolu ile birinci aktarma merkezine (Halkalı) taşınan her ürün miktarı Halkalı demir yolu istasyonundan demir yolu ile taşınan ürün miktarına eşit olmalıdır (33).

2) k Aktarma Merkezine Gelen-Giden Yük Miktarının Eşitliği Kısıtı:

Birinci aktarma merkezlerinden çıkan toplam ürünler ikinci merkezlerine gelen toplam ürün miktarına eşit olmalıdır. Ancak birinci aktarma merkezi olan Trieste limanından Sopron ve Viyana demir yolu istasyonlarına gönderim yoktur. Aynı şekilde yine birinci aktarma merkezi olan Halkalı demir yolu istasyonundan Lüksemburg demir yolu istasyonuna gönderim yoktur. Trieste limanından demir yolu ile çıkan ürünler Lüksemburg demir yolu istasyonuna, Halkalı demir yolu istasyonundan demir yolu ile çıkan ürünlerin ise bir kısmı Sopron demir yolu istasyonuna bir kısmı ise Viyana demir yolu istasyonuna gönderilmektedir. Bu sebeple ikinci aktarma merkezlerine gelen ve giden yük miktarlarının eşitliği kısıtları ayrı ayrı ele alınmıştır.

$$\sum_{p=1}^P T_{p21} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p1l} \quad \forall p \in P \quad (34)$$

Demir yolu ile Sopron istasyonuna gelen yük miktarı kara yolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olmalıdır (34).

$$\sum_{p=1}^P T_{p22} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p2l} \quad \forall p \in P \quad (35)$$

Demir yolu ile Viyana istasyonuna gelen yük miktarı karayolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olmalıdır (35).

$$\sum_{p=1}^P T_{p13} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p3l} \quad \forall p \in P \quad (36)$$

Demir yolu ile Lüksemburg istasyonuna gelen yük miktarı buradan kara yolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olmalıdır (36).

3) j Aktarma Merkezinin Kapasitesi Kısıtı:

Birinci aktarma merkezlerine gönderilen ürünlerin tamamı aynı taşıma modu ile taşınmamaktadır. Bir kısmı deniz yolu bir kısmı kara yolu ile taşınmaktadır. Bu yüzden farklı taşıma modları ile taşınan ürün miktarları farklı kapasite alanlarına göre değerlendirilmiştir.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I S_{pi1} \leq A1 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall i \in I \quad (37)$$

Deniz yolu ile taşınan ürünlerin miktarı Trieste limanının kapasitesini geçemez (37).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I R_{pi2} \leq A2 \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall i \in I \quad (38)$$

Kara yolu ile taşınan ürün miktarı Halkalı demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (38).

4) k Aktarma Merkezinin Kapasitesi Kısıtı:

İkinci aktarma merkezlerine taşınan ürünlerin hepsi aynı rotayı kullanmamaktadır. Trieste limanından gelen ürünler Lüksemburg demir yolu terminaline, Halkalı demir yolu

istasyonundan gelen ürünler ise Sopron ve Viyana demir yolu istasyonuna gelmektedir. Bu nedenle ikinci aktarma merkezlerinin kapasite kısıtları farklı durumlarda incelenmiştir.

$$\sum_{p=1}^P T_{p21} \leq B1 \quad \forall p \in P \quad (39)$$

Demir yolu ile Halkalı demir yolu istasyonundan Sopron demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Sopron demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (39).

$$\sum_{p=1}^P T_{p22} \leq B2 \quad \forall p \in P \quad (40)$$

Demir yolu ile Halkalı demir yolu istasyonundan Viyana demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Viyana demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (40).

$$\sum_{p=1}^P T_{p13} \leq B3 \quad \forall p \in P \quad (41)$$

Demir yolu ile Trieste limanından Lüksemburg demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Lüksemburg demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (41).

5) Arz Miktarlarının Yerel Depolardan Her Bir Ürün Tipi için Gönderilen Miktarla Eşit Olması Kısıtı:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S_{pij} = X_{pi} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall i \in I \quad (42)$$

Müşteriler tarafından yerel depolara getirilip teslim edilen ürün miktarları yerel depolardan deniz yolu ve kara yolu ile taşınacak olan toplam ürün miktarına eşit olmalıdır (42).

6) Her Talep Noktasının Her Ürün Tipi ile İlgili Toplam Talebinin Karşlanması Kısıtı:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L R_{pkl} = D_{pl} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall l \in L \quad (43)$$

Talep noktalarının her ürün tipi için talebi ikinci aktarma merkezinden kara yolu ile taşınan toplam ürün miktarına eşit olmalıdır (43).

4.3.Bulgular ve Yorum

Özelleştirilen model ile firmada gerçekleşen talep miktarlarına göre ilgili veriler kullanılarak model GAMS paket programı ile kodlanmış ve çözdürülmüştür. Model, üç farklı alternatif senaryo için tasarlanmış, farklı talep miktarlarına göre çözdürülmüş ve sonuçlar incelenerek kıyaslanmıştır. Her senaryo için önerilen rotalarda kullanılan yollar çıkarılmıştır.

Senaryo 1: Mevcut Talep Miktarı 662 adet konteyner

İlk durumda model, mevcut talep miktarı için GAMS paket programı ile kodlanmış ve çözdürülmüştür. Mevcut durumda firma dört arz noktasından beş talep noktasına haftada toplam 662 adet konteyner taşımaktadır. Birinci üründen toplam arz miktarı 252 konteyner, ikinci üründen toplam arz miktarı 224 konteyner, üçüncü üründen toplam arz miktarı 114 konteyner ve dördüncü üründen toplam arz miktarı ise 72 konteynerdir. İllere göre arz miktarları Tablo 17' deki, talep miktarları ise Tablo 19'daki gibidir.

Tablo 40.

Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	41	61	50	100
Ürün 2	30	39	60	-
Ürün 3	24	20	26	-
Ürün 4	11	20	18	-

Toplam arzın Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul şehirlerinden haftada 662 adet konteyner olması durumu için model çözdürüldüğünde, ürünlerin arz noktalarından birinci aktarma merkezlerine taşınmasında kara yolu ve deniz yolu modlarının her ikisi de kullanılmıştır. Ürün 1 için tüm şehirlerin arz miktarlarının birinci aktarma merkezlerine ulaştırılması karayolu ile sağlanmıştır. Ürün 2'nin Mersin ve Yalova şehirlerinin arz miktarlarının ulaşımı kara yolu ile sağlanmıştır. İzmir şehrinin arz miktarının bir kısmı kara yolu ile bir kısmı ise deniz yolu ile ulaştırılmıştır. İstanbul

şehrinin arz miktarlarının tamamı ise deniz yolu ile ilk aktarma merkezlerine ulaştırılmıştır. Ürün 3'ün Mersin, İzmir ve Yalova şehirlerinin arzları kara yolu ile taşınırken İstanbul'un arz miktarının tamamı ise deniz yolu ile ilk aktarma merkezlerine taşınmıştır. Ürün 4 'ün Mersin, İzmir, Yalova şehirleri için arz miktarları kara yolu ile taşınmış, İstanbul'un arz miktarı ise deniz yolu ile birinci aktarma merkezine ulaştırılmıştır.

Her ürün tipi için her ilin arz miktarlarının kara yolu ile taşınan miktarları Tablo 40, deniz yolu taşınan miktarları ise Tablo 41'deki gibidir.

Tablo 41.

Yerel Depolardan Deniz Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	-	-	-	-
Ürün 2	-	11	-	84
Ürün 3	-	-	-	44
Ürün 4	-	-	-	23

Ürünler ilk aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine getirilirken demir yolu ağları kullanılmaktadır. Ürünler bu yolla Sopron, Viyana ve Lüksemburg istasyonlarına taşınmaktadır. Ürün 1'in tamamı Halkalı-Viyana hattı üzerinden birinci aktarma merkezinden ikinci aktarma merkezine taşınmıştır. Ürün 2 taşınırken hem Halkalı-Viyana hattı hem de Trieste-Lüksemburg hattı kullanılmıştır. Ürün 3 ve ürün 4 de Halkalı-Viyana ve Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmıştır. Ürünlerin ağlar üzerinden taşınma miktarları Tablo 42' deki gibidir.

Tablo 42.

Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün1	Trieste	-	-	-
	Halkalı	-	252	-
Ürün 2	Trieste	-	-	95
	Halkalı	-	129	-
Ürün 3	Trieste	-	-	44
	Halkalı	-	70	-
Ürün 4	Trieste	-	-	23
	Halkalı	-	49	-

Tablo 43.

İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Londra	Paris	Brüksel	Amsterdam	Köln
Ürün 1	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	100	64	23	35	30
	Lüksemburg	-	-	-	-	-
Ürün 2	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	-	69	-	40	20
	Lüksemburg	24	11	60	-	-
Ürün 3	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	13	21	-	20	16
	Lüksemburg	22	-	22	-	-
Ürün 4	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	7	25	-	8	9
	Lüksemburg	11	-	12	-	-

Ürünlerin tamamı ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına kara yolu ile taşınmaktadır. Ürün 1'in tamamı Viyana istasyonu üzerinden Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln illerindeki talep noktalarına dağıtılmıştır. Amsterdam ve Köln şehirlerinin Ürün 2'den talepleri Halkalı-Viyana hattı üzerinden karşılanırken Londra'nın talebi Trieste-Lüksemburg üzerinden karşılanmış, Paris şehrinin ise talebinin bir kısmı Halkalı-Viyana hattı üzerinden, bir kısmı ise Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden karşılanmıştır. Paris, Amsterdam ve Köln illerinin Ürün 3' den taleplerinin tümü Halkalı-

çözdürülmüştür. Yeni durumda birinci ürünün arz miktarı 400 konteyner, ikinci ürünün arzı 250 konteyner, üçüncü ürünün arzı 200 konteyner ve dördüncü ürünün arzı ise 150 konteyner olmuştur. Yerel depoların arz miktarlarının Tablo 44’ deki, Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln şehirlerinin talep miktarlarının ise Tablo 45’ deki gibi olduğu varsayılmıştır.

Tablo 44.

Yerel Depoların Arz Miktarları (Konteyner)

Arz Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Mersin	50	40	35	25
İzmir	70	50	30	35
Yalova	60	60	45	40
İstanbul	220	100	90	50
Toplam (adet)	400	250	200	150

Tablo 45.

Talep Noktalarının Talep Miktarları (Konteyner)

Talep Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Londra	200	30	35	25
Paris	65	90	80	50
Brüksel	30	70	35	20
Amsterdam	35	40	30	10
Köln	70	20	20	45
Toplam (adet)	400	250	200	150

Tanımlanan yeni verilere göre model tekrardan GAMS paket programı ile çözdürülmüş ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Yeni sonuçlara göre Mersin ve Yalova şehirlerinin arz miktarlarının tamamı kara yolu ile taşınmıştır. İzmir’in arz miktarının tamamı deniz yolu ile sağlanırken İstanbul’un arzlarının bir kısmı kara yolu bir kısmı ise deniz yolu ile taşınmıştır. Ürün 2’nin Mersin ve Yalova arzlarının tamamı karayolu ile taşınmış, İzmir ve İstanbul şehirlerinin arzlarının tamamı ise deniz yolu ile gönderilmiştir. Ürün 3’ün Mersin ve Yalova arzlarının tamamı kara yolu ile taşınırken İzmir ve İstanbul şehirlerinin arzlarının tamamı ise deniz yolu ile ilk aktarma merkezlerine taşınmıştır. Ürün 4’ün ise Mersin ve Yalova

arzlarının tamamı kara yolu ile taşınırken İzmir ve İstanbul illerinin arzlarının tamamı deniz yolu ile birinci aktarma merkezlerine gönderilmiştir. Ürünlerin kara yolu ile gerçekleştirilen taşıma miktarları Tablo 46’ daki gibi, deniz yolu ile gerçekleştirilen taşıma miktarları ise Tablo 47’ deki gibi olmuştur.

Tablo 46.

Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	50	-	60	145
Ürün 2	40	-	60	-
Ürün 3	35	-	45	-
Ürün 4	25	-	40	-

Tablo 47.

Yerel Depolardan Deniz Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	-	70	-	75
Ürün 2	-	50	-	100
Ürün 3	-	30	-	90
Ürün 4	-	35	-	50

Ürünler, tüm birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine demir yolu ile ulaştırılmaktadır. Mevcut talep miktarlarına göre ürünlerin taşınma miktarları Tablo 48’ deki gibi gerçekleşmiştir. Ürün 1, Ürün 2, Ürün 3 ve Ürün 4 ‘ün bir kısmı Trieste-Lüksemburg hattı ile taşınırken bir kısmı ise Halkalı-Viyana hattı ile ikinci aktarma merkezlerine ulaştırılmıştır. Ürünlerin taşınmasında Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır.

Tablo 48.

Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün 1	Trieste	-	-	145
	Halkalı	-	255	-
Ürün 2	Trieste	-	-	150
	Halkalı	-	100	-
Ürün 3	Trieste	-	-	120
	Halkalı	-	80	-
Ürün 4	Trieste	-	-	85
	Halkalı	-	65	-

Paris, Amsterdam ve Köln şehirlerinin Ürün 1 taleplerinin tamamı Halkalı-Viyana hattı üzerinden taşınmıştır. Brüksel'in talep miktarlarının tamamı Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden taşınırken Londra'nın talep ettiği ürünler, Halkalı-Viyana ve Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden taşınmıştır. Londra, Amsterdam ve Köln şehirlerinin talep ettiği Ürün 2'lerin tamamı Halkalı-Viyana hattı üzerinden taşınırken Brüksel'in ürün taleplerinin tamamı Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden taşınmıştır. Paris'in Ürün 2 taleplerinin ise bir kısmı Halkalı-Viyana hattı üzerinden taşınmış, bir kısmı ise Trieste-Lüksemburg hattı ile talep noktalarına ulaştırılmıştır. Paris, Brüksel şehirlerinin Ürün 3' den taleplerinin tamamı Trieste-Lüksemburg hattı üzerinden taşınmış, Amsterdam ve Köln illerinin ise talep miktarlarının tamamı Halkalı-Viyana hattı üzerinden taşınmıştır. Londra'nın ise Ürün 3 taleplerinin bir kısmı Halkalı-Viyana hattı, bir kısmı ise Trieste-Lüksemburg hattı ile talep noktalarına taşınmıştır. Paris ve Brüksel'in Ürün 4 talep miktarlarının tamamı Trieste-Lüksemburg hattı ile talep noktalarına ulaştırılmıştır. Amsterdam ve Köln şehirlerinin talep miktarlarının tamamı Halkalı-Viyana hattı ile talep noktalarına taşınırken Londra'nın talep miktarlarının bir kısmı Halkalı-Viyana hattı ile bir kısmı ise Trieste-Lüksemburg hattı ile taşınmıştır. Ürünlerin taşınma miktarları Tablo-49'daki gibi gerçekleşmiştir.

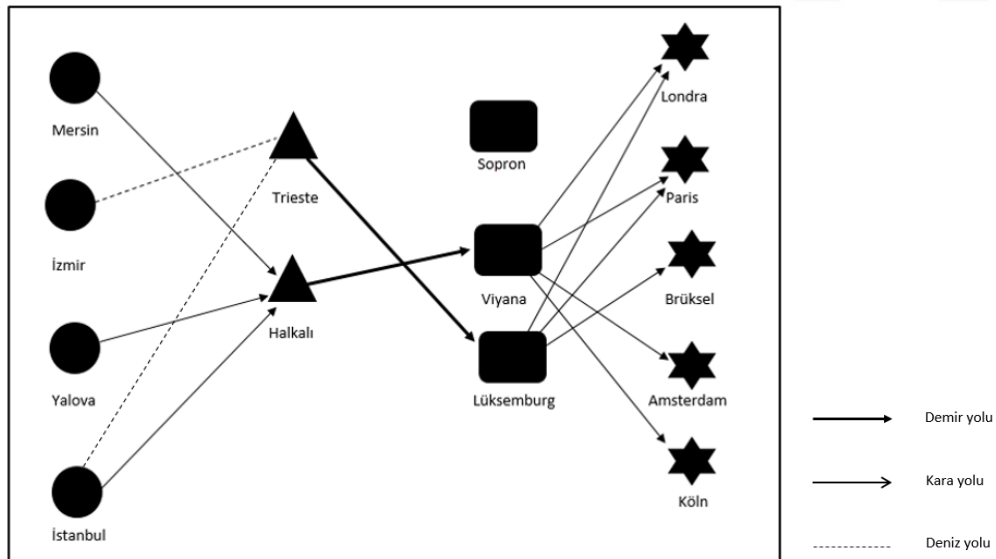
Ürünlerin yerel depolardan başlayıp Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln'deki talep noktalarında son bulan taşınma işlemleri için gerçekleşen toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri 388.692 saat olmuştur.

Tablo 49.

İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Londra	Paris	Brüksel	Amsterdam	Köln
Ürün 1	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	85	65	-	35	70
	Lüksemburg	115	-	30	-	-
Ürün 2	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	30	10	-	40	20
	Lüksemburg	-	80	70	-	-
Ürün 3	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	30	-	-	30	20
	Lüksemburg	5	80	35	-	-
Ürün 4	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	10	-	-	10	45
	Lüksemburg	15	50	20	-	-

Ürünler yerel depolardan talep noktalarına taşınırken varsayılan talep miktarı doğrultusunda her nokta için taşıma ağında kullanılan yollar Şekil 11’ deki gibi olmuştur.



Şekil 11. Senaryo 2’de kullanılan yollar

Senaryo 3: Talep Miktarının Mevcut Durumdan Az Olması (400 adet konteyner)

Üçüncü senaryoda ortalama talep miktarından daha az talep olabileceği düşünülerek talep miktarının 400 konteyner olduğu varsayılmış ve model yeniden çözdürülmüştür. Yeni durumda birinci üründen 150 konteyner, ikinci üründen 100 konteyner, üçüncü üründen 100 konteyner ve dördüncü üründen 50 konteyner arz olduğu varsayılmıştır. Yerel depoların arz miktarlarının Tablo 50'deki, Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln şehirlerinin talep miktarlarının ise Tablo 51'deki gibi olduğu varsayılmıştır.

Tablo 50

Yerel Depoların Arz Miktarları (Konteyner)

Arz Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Mersin	30	20	30	5
İzmir	40	20	10	15
Yalova	30	10	25	10
İstanbul	50	50	35	20
Toplam (adet)	150	100	100	50

Tablo 51.

Talep Noktalarının Talep Miktarları (Konteyner)

Talep Noktaları	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün	4.Ürün
Londra	20	15	5	5
Paris	30	5	15	6
Brüksel	30	25	20	4
Amsterdam	20	35	25	16
Köln	50	20	35	19
Toplam (adet)	150	100	100	50

Tanımlanan yeni verilere göre model tekrardan GAMS paket programı ile çözdürülmüş ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Ürünlerin tamamı arz noktalarından kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilmiştir. İlk aktarma merkezine ürün taşınmasında deniz yolu hattı kullanılmamıştır. Ürünlerin yerel depolardan birinci aktarma merkezlerine kara yolu ile taşınma miktarları ise Tablo 52'deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 52

Yerel Depolardan Kara Yolu ile Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

	Mersin	İzmir	Yalova	İstanbul
Ürün 1	30	40	30	50
Ürün 2	20	20	10	50
Ürün 3	30	10	25	35
Ürün 4	5	15	10	20

Ürünler, birinci aktarma merkezlerine kara yolu ile Halkalı hattı ile getirilmiştir. Kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilen ürünler, Halkalı-Viyana hattı üzerinden ikinci aktarma merkezlerine ulaştırılmıştır. Ürünlerin taşınma miktarları Tablo 53' deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 53.

Birinci Aktarma Merkezlerinden İkinci Aktarma Merkezlerine Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Sopron	Viyana	Lüksemburg
Ürün1	Trieste	-	-	-
	Halkalı	-	150	-
Ürün 2	Trieste	-	-	-
	Halkalı	-	100	-
Ürün 3	Trieste	-	-	-
	Halkalı	-	100	-
Ürün 4	Trieste	-	-	-
	Halkalı	-	50	-

Tablo 54.

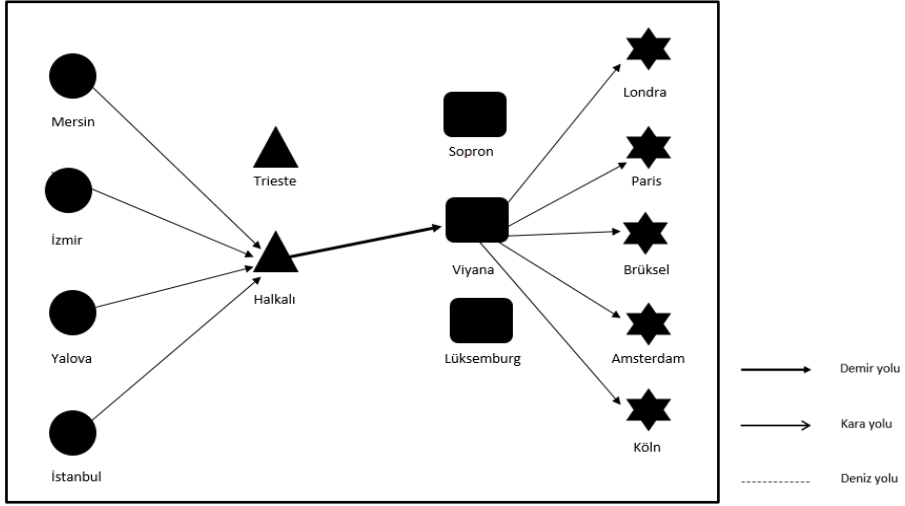
İkinci Aktarma Merkezlerinden Talep Noktalarına Gönderilen Ürün Miktarları (Konteyner)

		Londra	Paris	Brüksel	Amsterdam	Köln
Ürün 1	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	20	30	30	20	50
	Lüksemburg	-	-	-	-	-
Ürün 2	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	15	5	25	35	20
	Lüksemburg	-	-	-	-	-
Ürün 3	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	5	15	20	25	35
	Lüksemburg	-	-	-	-	-
Ürün 4	Sopron	-	-	-	-	-
	Viyana	5	6	4	16	19
	Lüksemburg	-	-	-	-	-

Halkalı-Viyana hattı üzerinden demir yolu ile Viyana demir yolu istasyonuna getirilen ürünler, Viyana'dan kara yolu ile Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln'deki talep noktalarına dağıtılmıştır. Ürünlerin taşınma miktarları Tablo 54' deki gibi gerçekleşmiştir. Talebin az olması durumunda deniz yolu hattı ve Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır.

Ürünlerin yerel depolardan başlayıp Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Köln'deki talep noktalarında son bulan taşınma işlemleri için gerçekleşen toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri 126.512 saat olmuştur.

Ürünlerin yerel depolardan nihai müşterilerin bulunduğu şehirlere taşınması sırasında taşıma ağı üzerinde kullanılan yollar Şekil 12' deki gibi olmuştur.



Şekil 12. Senaryo 3' de kullanılan yollar

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi, artan müşteri talepleri ve hızlı tüketim firmalar arasındaki rekabeti artırmıştır. Pazar alanlarının genişlemesi, neredeyse tüm dünyanın pazar yeri haline gelmesi ürün dağıtım sistemlerini daha komplike hale getirmiştir. Bu karmaşık ortam ve koşullardaki problemlere her zaman olurlu bir çözüm bulabilmek kolay olmayabilmektedir.

Taşımacılık ve lojistik sistemleri, üretim ve hizmet sektörünün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Toplam maliyetler açısından ciddi bir bölüme sahip olan taşımacılık faaliyetlerinde yapılacak en ufak bir iyileştirme büyük maliyet tasarruflarını getirecektir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye ve dünyada her geçen gün daha da gelişen taşımacılık sektörünü yakından ilgilendiren çok modlu taşımacılık ağları ile ilgilenilmiştir. Özellikle uluslararası ve geniş bir coğrafi alanda yapılan uzun taşımalarda ürünlerin taşınması yapılırken birçok problemle karşılaşmaktadır. Ürünler birçok aşamadan geçerken farklı kriterlere göre farklı taşıma modları seçilebilmektedir. Taşıma ağlarının oluşturulmasında etkili olan avantaj ve dezavantajlar göz önüne alınarak bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Modelin geliştirilme sürecinde modların avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulurken aynı zamanda talep noktalarının talep miktarları da dikkate alınmıştır. Artan ve azalan talep miktarlarına göre ağın yoğunluğu değişebilmektedir. Bu sebeple mevcut, artan ve azalabilecek talep miktarlarına göre farklı durumlar incelenmiştir.

Modelin uygulama bölümü Türkiye ve Avrupa'daki belirli şehirlerde uzun taşımaları deniz yolu ve demir yolu ile yakın taşımaları ise kara yolu ile gerçekleştirerek intermodal taşımacılık yapan bir işletmede yapılmıştır. Mevcut durumdaki taşıma ağı incelenmiş ve mevcut duruma her aşamada alternatif rotalar ve taşıma modları geliştirilmiştir. Mevcut durumdaki aşamaların lokasyon alternatifleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen model çözülerek hangi ürün tipinin, hangi taşıma modu ile, hangi rotadan talep noktasına ulaştırılacağı ve tüm bunlar gerçekleştirilirken modelin ana amacı olan toplam taşıma, aktarma ve istifleme sürelerinin ne kadar olacağı gibi sorulara cevap aranmıştır. Mevcut talep miktarından yola çıkılarak belirlenen farklı talep miktarları için

model çözümü tekrarlanmış ve bu durumlarda kullanılan taşıma yolları, taşıma miktarları ve taşıma modları karşılaştırılarak ve yorumlanmıştır.

Bu çalışmada aşağıdaki sorulara cevap bulmak amaçlanmıştır:

Mevcut dağıtım rotaları nelerdir?

- Ürünler hangi dağıtım rotasında hangi işlemlerden geçmektedir?

-Hazırlık sürelerinin azaltılması firmaya taşıma süresi açısından ne gibi yararlar sağlar?

-Firma taşıma ağı boyunca depolama işlemlerinde ne gibi sıkıntılar yaşamaktadır?

-Yükleme-boşaltma işlemlerinde istif vinci, kamyon, taşıma araçları gibi araçların ürünlere atanmasında bekleme süresi açısından yaşanan sıkıntılar nelerdir?

-Yükleme-boşaltma işlemleri esnasında elleçleme sürelerinde yapılan iyileştirmelerin firmaya kazandıracığı yararlar neler olabilir?

“Birinci araştırma sorusu olan mevcut dağıtım rotaları nelerdir?” sorusunu cevaplamak için firmadan yetkili kişilerle görüşülmüştür. Görüşmeler sonucunda firmanın, Avrupa’nın birçok şehri, Asya ülkeleri, Balkan ülkeleri ve Orta Doğu ülkelerine çeşitli taşıma modlarından yararlanılarak intermodal taşımacılık yaptığı tespit edilmiştir. Şirket Almanya, İspanya, Rusya, Hollanda, İngiltere, Romanya, İtalya, Suudi Arabistan ve daha birçok ülke ile çalışmaktadır.

“Ürünler hangi dağıtım rotasında hangi işlemlerden geçmektedir?” sorusunun yanıtı firmanın yaptığı intermodal taşımacılık boyunca her noktada ve her aşamadaki işlemleri kapsamaktadır. Firma, ürünlerini dünya ülkelerine taşıırken kara yolu, deniz yolu, demir yolu gibi birçok taşıma modunu kullanmaktadır. Bu uzun taşımacılık sırasında mod değişimlerinde ve hazırlık aşamalarında ürünler bazı aktarma merkezlerinde ve depolarda bekletilmekte ve yeni aşamaya hazırlanması için depolarda ve merkezlerde çeşitli elleçleme, yükleme, boşaltma işlemlerinden geçirilmektedir.

“Hazırlık sürelerinin azaltılması firmaya taşıma süresi açısından ne gibi yararlar sağlar?” sorusuna yanıt aranmak için firmanın geçmiş zamanlarda gerçekleşen talep miktarları alınmış ve belirlenen taşıma ağı üzerinde taşınan dört ürün üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Firma, Trieste-Lüksemburg intermodal taşımacılık hattında haftada ortalama 5600 ton otomotiv sektörü ürünü taşımaktadır. Bu miktar, müşteri talep ve ihtiyaçlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Hat üzerindeki mevcut rotaya farklı taşıma noktaları, taşıma modları ve aktarma merkezleri eklenmiştir. Artan ve azalan talebe göre kullanılan taşıma modları, aktarma merkezleri ve rotalar değişebilmektedir. Yoğunluğa göre tek bir rota yerine alternatif birkaç yol yaratılarak taşıma süresi açısından

firmaya fayda sağlanmıştır. Ayrıca firma mevcut durumda deniz yolu ve demir yolu modlarını kullanmaktadır. Yaratılan yeni rotalarda uzun mesafelerin demir yolu ile kısa mesafelerin ise kara yolu ile taşınması sağlanarak deniz yolu taşımasında limanlarda geçen uzun bekleme ve depolanma süreleri, yükleme, boşaltma süreleri azaltılmış ve toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri minimuma indirilmiştir.

Çalışmada değişen talep miktarlarına göre model, GAMS paket programı ile kodlanmış ve üç farklı alternatif senaryo için çözdürülmüştür.

Birinci senaryoda arz noktalarından talep noktalarına haftada toplam 662 adet konteyner taşınmaktadır. 662 adet konteyner talebine göre model kodlanıp çözdürüldüğünde ürünlerin yerel depolardan birinci aktarma merkezlerine taşınmasında hem kara yolu hem de deniz yolu kullanılmıştır. Mersin ve Yalova şehirlerinden sadece kara yolu ile taşıma olurken İzmir ve İstanbul şehirlerinden ise hem kara yolu hem deniz yolu ile taşıma olmuştur. Ürünlerin birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmasında demir yolu kullanılmış, Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır. Ürünlerin ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına dağıtımını kara yolu ile yapılmış, dağıtımın tamamı Viyana ve Lüksemburg şehirlerinden gerçekleştirilmiştir. Tüm ürünlerin taşınması sırasında toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri 234.835 saat olmuştur. Ürünlerin yerel depolardan talep noktalarına kadar uzanan taşıma ağındaki rotaları, taşınma miktarları ve taşımada kullanılan taşıma modları Tablo 55' de özetlenmiştir.

Tablo 55.

Senaryo 1 Taşıma Rotaları

	Ürün	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.
Senaryo 1	1	Kara Yolu	Halkalı	Demir Yolu	Viyana	Kara Yolu
		252		252		252
	2	Kara Yolu	Halkalı	Demir Yolu	Viyana	Kara Yolu
		129		129		129
		Deniz Yolu	Trieste	Demir Yolu	Lüksemburg	Kara Yolu
		95		95		95
	3	Kara Yolu	Halkalı	Demir Yolu	Viyana	Kara Yolu
		70		70		70
		Deniz Yolu	Trieste	Demir Yolu	Lüksemburg	Kara Yolu
		44		44		44
	4	Kara Yolu	Halkalı	Demir Yolu	Viyana	Kara Yolu
		49		49		49
		Deniz Yolu	Trieste	Demir Yolu	Lüksemburg	Kara Yolu
		23		23		23

İkinci senaryoda haftalık taşıma miktarının arttığı ve 1000 konteyner olduğu duruma göre model, GAMS paket programı ile kodlanıp çözdürülmüştür. Ürünler, birinci

aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınırken hem deniz yolu hem kara yolu kullanılmıştır. Mersin ve Yalova illerinden kara yolu ile taşıma yapılırken İzmir'den sadece deniz yoluyla, İstanbul'dan ise hem deniz yolu hem kara yolu ile taşıma yapılmıştır. Ürünlerin birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmasında demir yolu kullanılmış, Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır. Ürünlerin ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına dağıtımını kara yolu ile yapılmış, dağıtımın tamamı Viyana ve Lüksemburg şehirleri üzerinden gerçekleştirilmiş Sopron şehrinden taşıma olmamıştır. Ürünlerin tamamının taşınması sırasında toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri 388.692 saat olmuştur. Ürünlerin yerel depolardan talep noktalarına kadar uzanan taşıma ağındaki rotaları, taşınma miktarları ve taşımada kullanılan taşıma modları Tablo 56' deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 56.

Senaryo 2 Taşıma Rotaları

	Ürün	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.
Senaryo 2	1	Kara Yolu 255	Halkalı	Demir Yolu 255	Viyana	Kara Yolu 255
		Deniz Yolu 145	Trieste	Demir Yolu 145	Lüksemburg	Kara Yolu 145
	2	Kara Yolu 100	Halkalı	Demir Yolu 100	Viyana	Kara Yolu 100
		Deniz Yolu 150	Trieste	Demir Yolu 150	Lüksemburg	Kara Yolu 150
	3	Kara Yolu 80	Halkalı	Demir Yolu 80	Viyana	Kara Yolu 80
		Deniz Yolu 120	Trieste	Demir Yolu 120	Lüksemburg	Kara Yolu 120
	4	Kara Yolu 65	Halkalı	Demir Yolu 65	Viyana	Kara Yolu 65
		Deniz Yolu 85	Trieste	Demir Yolu 85	Lüksemburg	Kara Yolu 85

Üçüncü senaryoda haftalık taşıma miktarının azaldığı ve 400 konteyner olduğu varsayılmış ve model, GAMS paket programı ile kodlanıp çözdürülmüştür. Ürünler, birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınırken sadece kara yolu kullanılmıştır. Ürünler, tüm şehirlerden kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna getirilmiştir. Birinci aktarma merkezi olan Halkalı demir yolu istasyonundan ikinci aktarma merkezlerine ürün taşımada demir yolu kullanılmış, ürünlerin taşınmasında sadece Halkalı-Viyana hattı kullanılmıştır. Ürünlerin tamamı kara yolu ile Viyana üzerinden talep noktalarına dağıtılmıştır. Ürünlerin tamamının taşınması sırasında toplam taşıma, aktarma ve istifleme süreleri 126.512 saat olmuştur. Ürünlerin yerel depolardan

talep noktalarına kadar uzanan taşıma ağındaki rotaları, taşınma miktarları ve taşımada kullanılan taşıma modları Tablo 57' de özetlenmiştir.

Tablo 57.

Senaryo 3 Taşıma Rotaları

Senaryo 3	Ürün	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.
	1	Kara Yolu 150	Halkalı	Demir Yolu 150	Viyana	Kara Yolu 150
2	Kara Yolu 100	Halkalı	Demir Yolu 100	Viyana	Kara Yolu 100	
3	Kara Yolu 100	Halkalı	Demir Yolu 100	Viyana	Kara Yolu 100	
4	Kara Yolu 50	Halkalı	Demir Yolu 50	Viyana	Kara Yolu 50	

Çalışmada firmanın mevcut talep miktarlarını ve yaşanan talep dalgalanmalarını göz önüne alan üç farklı senaryoya göre düzenlenen model çözümlenmiştir. İlk durum firmanın mevcut durumunu göstermekte ve bu senaryoda toplam 662 konteyner ürün taşınmıştır. Ürünlerin 500 konteyneri kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilmiş, buradan demir yolu ile Viyana istasyonuna ulaştırılmıştır. Ürünler kara yolu ile talep noktalarına gönderilmiştir. 162 konteyner ürün ise deniz yolu ile Trieste limanına gönderilmiş, buradan demir yolu ile Lüksemburg istasyonuna taşınmıştır. Ürünler Lüksemburg'dan talep noktalarına kara yolu ile dağıtılmıştır. İkinci durum talebin mevcut duruma göre arttığı ve haftada 1000 konteyner olduğu durumu ifade eder. Bu senaryoda ürünlerin 500 konteyneri kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilir, buradan demir yolu ile Viyana istasyonuna taşınır. Ürünler Viyana'dan talep noktalarına kara yolu ile taşınmıştır. Diğer 500 konteyner ise deniz yolu ile Trieste limanına getirilmiş, buradan demir yolu ile Lüksemburg istasyonuna taşınmıştır. Ürünler Lüksemburg istasyonundan kara yolu ile talep noktalarına taşınmıştır. Son senaryo ise talebin mevcut duruma göre azaldığı ve haftada 400 konteyner olduğu durumu ifade eder. Bu senaryoda 400 konteyner ürünün tamamı kara yolu ile Halkalı istasyonuna getirilir, buradan demir yolu ile Viyana istasyonuna taşınır. Ürünler Viyana'dan talep noktalarına kara yolu ile taşınmıştır. Üç farklı senaryoya göre kullanılan rotalar, taşıma modları ve taşıma miktarları Tablo 58'de kıyaslanmıştır.

Tablo 58.

Senaryoların Kıyaslanması

	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.	Akt. Mer.	Mod ve Konteyner Mik.	Toplam
Senaryo 1	Kara Yolu 500 Deniz Yolu 162	Halkalı Trieste	Demir Yolu 662	Viyana Lüksemburg	Kara Yolu 662	662
Senaryo 2	Kara Yolu 500 Deniz Yolu 500	Halkalı Trieste	Demir Yolu 1000	Viyana Lüksemburg	Kara Yolu 1000	1000
Senaryo 3	Kara Yolu 400	Halkalı	Demir Yolu 400	Viyana	Kara Yolu 400	400

Günümüzdeki taşımacılık ve lojistik işlemlerinin optimizasyonlarına yönelik çok sayıda bilimsel çalışma ve araştırma mevcuttur. Buna rağmen ülkemizde halen birçok işlem gerçekleştirilirken bilimsel metotlar göz ardı edilmekte sadece faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Bu durum, fark etmeden de olsa firmalara ciddi ölçüde zaman ve maliyet kaybı yaşatmaktadır. Bu tez çalışmasının bir yandan firmalara zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamaları beklenirken bir yandan da bundan sonra bu alanlarda gerçekleştirilecek olan bilimsel çalışmalara referans olması umulmaktadır. Önerilen model esnek yapıdadır. Model, uygulamada bahsi geçen firmanın özel durumları ve rotaları için düzenlenmiştir. Aynı model başka bir işletmenin kendi özel durumları, rotaları, amaç, değişken ve kısıtlarına modifiye edilebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akarabulut Y. (2015). Türkiye’de demiryolu ulaşımı
- Akay, D. (2016). Uluslararası lojistikte taşıma modu seçimini etkileyen faktörler Türkiye uygulaması ve bir model önerisi. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Konya.
- Akoğlu K. (2006). Konteyner limanının depolama sahasının genetik algoritma ile optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa
- Alattar, M.A., (2003). Multiobjective optimization for intermodal container freight terminals: mathematical modeling of transport and operations. *University of Southern California*.
- Bahar, E (2018). Türkiye’de havayolu işletmeciliğinin gelişimi. *Arel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonomi, Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*,3-1,26-28
- Banomyong, R., Beresford, A.K.C., (2001). Multimodal transport: the case of laotian garment exporters. *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, 31(9), 663-685.
- Barbanova, K. (2016). Türkiye ihracatında multimodal taşımacılık. *ABMYO Dergisi*, 41, 1-16
- Bazzazi, M., Safaei, N., Javadian, N. (2009). A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 44–52
- Bish, E. K. (2003). A multiple-mrane-constrained scheduling problem in a container terminal. *European Journal of Operational Research*, 144, 83–107.
- Bish, E.K., Chen, F.Y., Leong, Y.T., Nelson, B.L., Cheong, J.W., Levi, D.S. (2005). Dispatching vehicles in a mega container terminal. *OR Spectrum* 27, 491-506.
- Bruzzone, A. and Signorille, R. (1998). Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout. *Simulation*, No: 71 (2), 74-83.
- Cao, J. X., Lee, D. H., Chen, J. H., Shi, Q. (2010). The integrated yard truck and yard crane scheduling problem: Bender’s decomposition-based methods. *Transportation Research Part E*, 46, 344–353.
- Castilho, B. D. Daganzo, C. F. (1993). Handling strategies for import containers at marine terminals. *Transportation Research*, 27 (2), 151-166.

- Chen, Y., Leong, Y.T., Ng, J.W.C., Demir, E.K., Nelson, B.L., Simchi-Levi, D. (1998). Dispatching automated guided vehicles in a mega container terminal.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J., Xi, L. (2007). A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *European Journal of Operational Research*, Volume 181, Issue 1, 40-58.
- Choong, S.T., Cole, M.H., Kutanoglu, E., (2002). Empty container management for intermodal transportation networks. *Transportation Research Part E*, 38, 423-438.
- Crainic, T.G, Gendreau, M., Farvolden, J.M., (2000). A simplex-based tabu search method for capacitated network design. *Journal on Computing*, 12(3), 223-236.
- Demircioğlu, Mert, (2009). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım ile Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., Tew, J.D. (2005). Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 165,182-206
- Gambardella, L.M., Mastrolilli, M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M., (2001). An optimization methodology for intermodal terminal management. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12, 521-534.
- Guo, X., Huang, S. Y., Hsu, W. J., Low, M. H. Y. (2011). Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 472-484.
- İnce, E. (2012). Cumhuriyetin ilk yıllarında Türkiye’de karayolu ulaşımına genel bir bakış ve köyde ulaşım. *ÇTTAD*, XII/24, 171-188.
- Kim D, Barnhart C, Ware K, Reinhardt G (1999) Multimodal express package delivery: a service network design application. *Transportation Science*, 33, 391-407
- Kim, K.H., Bae, J.W. (2004). A look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals. *Transportation Science* 38, 224-234.
- Köğmen, Z. (2014). Karayolu Taşımacılığının Diğer Taşımacılık Modlarıyla Karşılaştırılması ve Sağladığı Avantajlar. *Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi

- Lau, H. Y. K., Zhao, Y. (2008). Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals. *Int. J. Production Economics*, 112-2, 665-682.
- Lehmann, M., Grunow, M., Günther, H.O. (2006). Deadlock handling for real-time control of AGVs at automated container terminals. *OR Spectrum* 28, 631-657.
- Levinson, M.D., (1995). An evolutionary transportation planning model structure and application. *Transportation Research Record*, 1493, 64-73.
- Liu, C.I., Jula, H., Vukadinovic, K., Ioannou, P. (2004). Automated guided vehicle system for two container yard layouts. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12-5, 349-368
- Mak, K.L., Sun, D. (2009). Scheduling yard cranes in a container terminal using a new genetic approach. *Engineering Letters*, 17: 4, 1-7
- Meng, Q., Cao, Z., Lee, D. H. (2008). Deployment strategies of double-rail-mounted gantry crane systems for loading outbound containers in container terminals. *Int. J. Production Economics*, 115, 221– 228
- Newman, A.M. ve Araiyno, C., (2000). Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting. *Transportation Science*, 34(3), 256–270.
- Ng, W. C., Mak, K. L. (2005). Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied Mathematical Modelling*. 29, 263–276
- Parola, F. Sciomachen, A., (2005). Intermodal container flows in a port system network: analysis of possible growths via simulation models. *International Journal of Production Economics*, 97-1, 75-88.
- Tozar, B. Güzel, E. (2011). Enerji lojistiği perspektifinde hazar petrollerinin Türk Boğazlarına etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3-2, 1-2
- Tuzkaya, R. U. (2007). Çok modlu taşımacılık sistemlerinin stratejik planlamasında kritik faktörlerin modellenmesine yönelik bir çözüm yaklaşımı. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Vural, D., Gencer, C., Karadoğan, D. (2014). Ulaştırma uygulamalarına yönelik çok modlu model önerisi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 13-1, 75-105

- Wilson, I. D., Roach, P. A., Ware, J. A. (2001). Container stowage pre-planning: using search to generate solutions a case study. *Elsevier, Knowledge Based Systems, 14*, 137-145.
- Yenal, S. (2011). Dünyada ve Türkiye’de uluslararası denizyolu taşımacılığının gelişiminin değerlendirilmesi.
- Zhang, C., Wan, Y., Liu, J., Linn, R. J. (2002). Dynamic crane deployment in container storage yards, *Transportation Research Part B, 36*, 537–555.
- Zhang C., Liu J., Wan Y., Murty K. G., Linn R. J. (2003). Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological, 37(10)*, 883- 903.
- OECD. Dünyada Kara Yolu ile Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)
<https://data.oecd.org/transport/freighttransport.htm#indicator-chart>
- OECD Türkiye’de Yıllara Göre Kara Yolu ile Taşınan Yük Miktarı (Erişim tarihi:15.01.2020)
<https://data.oecd.org/transport/freight-transport.htm#indicator-chart>
- OECD Dünyada Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)
<https://data.oecd.org/transport/container-transport.htm#indicator-chart>
- OECD Türkiye’de Yıllara Göre Deniz Yolu ile Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)
<https://data.oecd.org/transport/container-transport.htm#indicator-chart>
- Worldbank. Dünyada Hava Yolu ile Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)
<https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.GOOD.MT.K1?end=2018&start=1970&view=chart>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Türkiye’de Yıllara Göre Uçak Sayısı (Erişim tarihi:15.01.2020)
<http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/faaliyet/2018.pdf>
- Türkiye İstatistik Kurumu Türkiye’de Yıllara Göre Hava Yolu ile Taşınan Yük Miktarı (Erişim tarihi:15.01.2020)

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051

OECD Dünyada Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)

<https://data.oecd.org/transport/freight-transport.htm#indicator-chart>

OECD. Türkiye’de Yıllara Göre Demir Yolu ile Yapılan Taşıma Miktarları. (Erişim tarihi:15.01.2020)

<https://data.oecd.org/transport/freight-transport.htm#indicator-chart>

Türkiye İstatistik Kurumu Türkiye’de Doğalgaz Boru Hattı Uzunluğu ve Taşıma Miktarları (Erişim tarihi:15.01.2020)

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051

Türkiye İstatistik Kurumu Türkiye’de Petrol Boru Hattı Uzunluğu (Erişim tarihi:15.01.2020)

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051

Türkiye İstatistik Kurumu. Türkiye’de Petrol Boru Hattı ile Taşınan Petrol Miktarı. (Erişim tarihi:15.01.2020)

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Sevgi Eşiyok

Doğum Yeri ve Tarihi: Adana - 02.06.1990

E-Mail: sevgiesiyok@gmail.com

Eğitim Bilgileri:

Yüksek Lisans: 2017-2021\Çukurova Üniversitesi\İşletme Tezli Program Mezuniyet Derecesi: 3.87/4

Yüksek Lisans: 2016-2017\Çukurova Üniversitesi\İşletme ve Teknoloji Yönetimi Tezsiz Program/ Mezuniyet Derecesi :4/4

Lisans: 2009-2013\Doğuş Üniversitesi\Endüstri Mühendisliği

2004-2008 Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi

Projeler:

-Çukurova Üniversitesi İşletme ve Teknoloji Yönetimi Tezsiz Yüksek Lisans Programı Bitirme Projesi- Araç Rotalama Problemi Üzerine Bir Uygulama

-Doğuş Üniversitesi Bitirme Projesi (8 Ay) - Standart Pompa ve Makine Sanayi Tic. A.Ş.

Tezler:

-Çukurova Üniversitesi İşletme Tezli Yüksek Lisans Bitirme Tezi- Çok Modlu Taşımacılık Sistemlerinin Optimizasyonuna Yönelik Bir Uygulama

Yayımlar:

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Demircioğlu, M., Eşiyok, S. (2020). “Çok Modlu Taşımacılık Sistemlerinin Optimizasyonuna Yönelik Bir Uygulama” Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 29(1). <https://doi.org/10.35379/cusosbil.678728>

Demircioğlu, M., Eşiyok, S. (2020). “COVID 19 Salgını ile Mücadelede Kümeleme Analizi ile Ülkelerin Sınıflandırılması” İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 19(37) (COVID 19 Özel Ek). <https://dergipark.org.tr/pub/iticusbe/issue/55168/753509>

Yazılan Uluslararası Kitaplar veya Kitaplardan Bölümler:

Demircioğlu, M., Eşiyok, S. “Bölüm 9: Uluslararası Lojistik Sistemlerinin Modellenmesine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımı” Üretim Yönetimi (Editör: Selçuk Çolak), Akademisyen Yayınevi, Ankara, 2020.

Demircioğlu, M., Eşiyok, S. (2020) “Comparing The Sustainability Performance of The Countries with The Data Envelopment Analysis.” 1st International Hazar Scientific Research Conference. Khazar University. Baku, Azerbaijan.

Kongreler

Demircioğlu, M., Eşiyok, S. (2020) “Comparing The Sustainability Performance of The Countries with The Data Envelopment Analysis.” International Khazar Conference On Scientific Research 18-20 September 2020. Khazar University, Azerbaijan. ISBN: 978-625-7139-64-9

Staj Deneyimleri:

Sompo Japan Sigorta

08.2012- 09. 2012 (1 ay) İstanbul(Asya) – Türkiye Tam zamanlı
-Stajyer Mühendis

TEKİŞ Teknik Erozyon A.Ş.

08.2011 - 09. 2011 (1 ay) İstanbul(Asya) – Türkiye Tam zamanlı
-Stajyer Mühendis

Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.

06.2010 - 07. 2010 (1 ay) İstanbul(Avrupa) - Türkiye Tam zamanlı
-Stajyer Mühendis

İş Deneyimleri:

Kıvanç Tekstil Sanayi ve Tic. A.Ş.

20.01.2015 - 07.01.2016 Adana- Türkiye Tam zamanlı
-Endüstriyel Verimlilik

MNG Kargo Yurtiçi ve Yurtdışı Taşımacılık A.Ş

04.03.2014 – 15.01.2015 Adana- Türkiye Tam zamanlı

-Kalite Güvence ve İç Denetim

Dil Bilgisi:

İngilizce: Okuma: B2, Yazma: B2, Konuşma: B1

Almanca: Okuma: A1, Yazma: A1, Konuşma: A1

Bilgisayar Bilgisi:

- MS Project ●●●●●○○○○○
- ARENA ●●●●○○○○○
- MS Office ●●●●●●●○○
- Weka Explorer – Data Mining ●●●●●●○○○

