

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

RO-RO GEMİ OPERASYONLARINDA OPTİMİZASYON MODELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berk MERCAN

Denizcilik Çalışmaları Anabilim Dalı

Denizcilik Çalışmaları Programı

TEMMUZ 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

RO-RO GEMİ OPERASYONLARINDA OPTİMİZASYON MODELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berk MERCAN
(423211003)**

Denizcilik Çalışmaları Anabilim Dalı

Denizcilik Çalışmaları Programı

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Bayram Barış KIZILSAÇ
Eş Danışman: Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS**

TEMMUZ 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY★ GRADUATE SCHOOL

OPTIMIZATION MODEL IN RO-RO VESSEL OPERATIONS



M.Sc. THESIS

**Berk MERCAN
(423211003)**

Department of Maritime Studies

Maritime Studies Programme

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Bayram Barış KIZILSAÇ
Thesis Co-Advisor: Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS**

JULY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 423211003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Berk MERCAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “RO-RO GEMİ OPERASYONLARINDA OPTİMİZASYON MODELİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Bayram Barış KIZILSAÇ**.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Leyla TAVACIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Funda Hatice SEZGİN
İstanbul Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Elif Özge ÖZDAMAR
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : 23 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 3 Temmuz 2024





Aileme ve tüm okurlara,



ÖNSÖZ

Öncelikle tezimi hazırlarken akademik bilgi ve deneyimleri ile benden desteklerini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bayram Barış KIZILSAÇ'a, eş danışmanım Prof. Dr. Dilay Çelebi GONİDİS'e ve Prof. Dr. Leyla TAVACIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Her biri farklı tecrübeleri ile tez çalışmamı son haline getirmem konusunda destek oldular.

Çalışma içeriğimi belirlemem konusunda bana bakış açısı kazandıran dersleri anlatan İTÜ Denizcilik Çalışmaları Yüksek Lisans Programı öğretim üyelerine teşekkürlerimi iletmek isterim. Deniz lojistik alanında kariyerime başlamama vesile olan ve mezun olduktan sonra dahi yardımlarını esirgemeyen emekli öğretim üyesi Mustafa ATEŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca yanımda olan ve bugünlere gelmem için her türlü zorluğa karşı mücadele edip bana emek veren anneme ve babama, sevgisi ve akademik desteğiyle beni motive eden eşim Sena MERCAN'a sonsuz teşekkürler.

Temmuz 2024

Berk MERCAN
(Endüstri Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Hipotez	9
2. YÜK TİPLERİNE GÖRE LİMAN SÜREÇLERİ	11
2.1 Konteyner	11
2.2 Genel Yük	13
2.2.1 Genel kargo	13
2.2.2 Dökme yük	14
2.2.3 Proje yük	14
2.3 Sıvı Yük	15
2.4 Ro-Ro	15
3. OPTİMİZASYON MODELLERİ	19
3.1 Doğrusal Programlama	19
3.2 Hedef Programlama	19
3.3 Doğrusal Olmayan Programlama	20
3.4 Dinamik Programlama	20
3.5 Tam Sayılı Programlama	20
4. UYGULAMA	23
4.1 Verilerin Toplanması	23
4.2 Modelleme	29
4.2.1 İndisler	29
4.2.2 Parametreler	29
4.2.3 Karar değişkenleri	30
4.2.4 Kısıtlar	30
4.2.5 Amaç fonksiyonu	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	41



KISALTMALAR

Ro-Ro	: Roll on-Roll off – Sürülebilir Yükler
ETA	: Estimated Time of Arrival – Tahmini Varış Zamanı
GAMS	: General Algebraic Modeling System - Genel Cebirsel Modelleme Sistemi
AGV	: Automated Guided Vehicle – Otomatik Yönlendirmeli Araç
BAP	: Berth Allocation Problem – Rıhtım Atama Problemi
SQM	: Single Queue Models – Tekli Kuyruk Modelleri
MQM	: Multiple Queue Models – Çoklu Kuyruk Modelleri
FCFS	: First Come First Served – İlk Gelen İlk Servis Alır
HPQ	: Hybrid Queue Priority – Hibrit Kuyruk Önceliği
SLAP	: Storage Location Assignment Problem – Depolama Yeri Atama Problemi
STS	: Ship to Shore – Gemi Kara ya da Kara Gemi Rıhtım Vinci
MHC	: Mobile Harbour Crane – Mobil Liman Vinci
RTG	: Rubber Tyred Gantry – Lastik Tekerlekli Vinç
RMG	: Rail Mounted Gantry – Ray Montajlı Vinç
RS	: Reach Stacker – Konteyner İstifleyici Mobil araç
ECH	: Empty Container Handler – Boş Konteyner İstifleyici Araç
TT	: Terminal Tractor – Terminal Taşıyıcısı
SC	: Straddle Carrier – Ayırma Taşıyıcısı
TEU	: Twenty-Foot Equivalent Unit – Yirmilik Eşdeğer Ekipman Birimi
CFS	: Container Freight Station – Konteyner Yük İstasyonu
TOS	: Terminal Operasyon Sistemi
VGM	: Verified Gross Mass – Doğrulanmış Brüt Ağırlık
EDI	: Electronic Data Interchange – Elektronik Veri Değişimi
VIN	: Vehicle Identification Number – Araç Tanımlama Numarası
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
POD	: Port of Discharging – Tahliye Limanı
MIP	: Mixed Integer Programming – Karma Tam Sayılı Programlama



SEMBOLLER

m	: Metre
sn	: Saniye
<i>i</i>	: Saha sayısı
<i>j</i>	: Rıhtım sayısı
<i>k</i>	: Grup sayısı
X(i)	: Saha kapasiteleri
grp(<i>k</i>)	: Gemiye yüklenecek ya da tahliye olacak grupların adetleri
ykm	: Yıkama olacak otomobil adedi
to(<i>i, j</i>)	: Otomobillerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
tm(<i>i, j</i>)	: Minibüs, otobüs, kamyonetlerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
tk(<i>i, j</i>)	: Kamyon ve treylerlerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
ti(<i>i, j</i>)	: İş makinesi ve aksamalarının rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
<i>a_k</i>(<i>i, j</i>)	: <i>j</i> rıhtımından, <i>i</i> sahasına alınacak, <i>k</i> grubu araç sayısı
Y(<i>j</i>)	: Geminin <i>j</i> rıhtımına yanaştırılması
C(<i>k</i>)	: Yük gruplarının sahada kapladığı istif sayısı
Σ	: Toplam
∀	: Her
∈	: Küme elemanı
<i>f</i>	: Fonskiyon
%	: Yüzde



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Uzaklık matrisi.	24
Çizelge 4.2 : Otomobil grubu yüklerin süre matrisi.	25
Çizelge 4.3 : Minibüs, otobüs, kamyonet grubu yüklerin süre matrisi.	25
Çizelge 4.4 : Kamyon, treyler grubu yüklerin süre matrisi.	26
Çizelge 4.5 : İş makinesi, aksam grubu yüklerin süre matrisi.	26
Çizelge 4.6 : Tahliye ve yükleme grupları.	27
Çizelge 4.7 : Sahaların boş istif sayısı.	28
Çizelge 4.8 : Yük tiplerinin sahada kapladığı alan.	28
Çizelge 5.1 : Otomobil gruplarının dağılımı.	33
Çizelge 5.2 : Minibüs vb. grupların dağılımı.	34
Çizelge 5.3 : Kamyon vb. grupların dağılımı.	34
Çizelge 5.4 : İş makinesi gruplarının dağılımı.	34
Çizelge 5.5 : Aksam gruplarının dağılımı.	34
Çizelge 5.6 : Manuel planlama verileri.	35



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Rıhtımlar ve Ro-Ro sahaları.....	23
--	----





RO-RO GEMİ OPERASYONLARINDA OPTİMİZASYON MODELİ

ÖZET

Ürün taşıması, tahliye ve yükleme yerleri, yük özellikleri ve taşıma maliyetleri gibi farklı kriterler dikkate alınarak hava, deniz, kara ve demiryolu taşımacılığının en uygun araçlarıyla gerçekleştirilmektedir. Taşıma modlarında maliyet bakımından avantaj sağlayan deniz yolu taşımacılığı, diğer taşımacılık yöntemlerinden daha çok tercih edilmektedir. Deniz yolu taşımacılığında büyük miktarda yüklerin tek seferde taşınması sağlanmakta ve büyük miktarda mal ticareti yapmak isteyen müşteriler deniz yolunu tercih etmektedir. Konteyner, araç, dökme yük, genel yük, proje yük ve sıvı yük gibi pek çok ürün grubu deniz yolu taşımacılığı ile müşterilere ulaştırılmaktadır.

Türkiye boğazlar sayesinde stratejik bir konuma sahiptir. Bu sebeple Türkiye’de deniz yolu taşımacılığı önemli bir sektördür. Türkiye, hem kısa mesafe deniz taşımacılığı hem de uluslararası deniz yolu taşımacılığında sektörel olarak önemli bir yer tutmaktadır.

Deniz yolu taşımacılığının en hareketli olduğu alanlardan biri olan ve Roll on-Roll off (Ro-Ro) olarak bilinen araç taşımacılığı, uluslararası sıfır otomobil ihtiyacındaki artış ile beraber yaygınlaşmaktadır. Özellikle son zamanlarda Uzak Doğu ülkelerinin üretimi olan araçların maliyetinin düşük olması ve Avrupa’da talep görmesinden dolayı Ro-Ro taşımacılığına yeni servisler eklenmektedir.

Ro-Ro yükleri, deniz yolu taşımacılığında pek çok avantaja sahiptir. Yeni otomobiller, otobüsler, kamyonlar, kamyonetler, römorklar, iş makinaları vb. sürülebilir yüklerin deniz yoluyla kolaylıkla taşınması için Ro-Ro gemileri çok katlı otoparklar şeklinde özel olarak tasarlanmıştır. Standart dışı yükler için ayarlanabilir yükseklikli katlara ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olması Ro-Ro yüklerinin taşınmasında esneklik sağlamaktadır. Ambar üstü istifleme yapılmadığı için yüklerin seyahat boyunca iklim ve çevre koşullarından kaynaklı hasarlanma riski yoktur. Bu gemiler, diğer tür gemilere göre daha hızlı seyir yapmakta ve limandaki operasyonları da daha hızlı bitirmektedir. Ro-Ro gemilerinin kapakları, rıhtım yüksekliğinin uygun olduğu rıhtımlara kolaylıkla açılabilir. Ro-Ro gemilerinin operasyonlarında limanda ekipman vb. makineler kullanılmadığı için yüksek bir başlangıç yatırımı gerektirmemektedir. Ro-Ro sürecinde en yüksek maliyeti ise personel giderleri oluşturmaktadır.

Müşteri ve acenteler ile sözleşmeler ve maddeler belli olduğunda Ro-Ro operasyonlarına ait süreçler başlamaktadır. İlk adım olarak gemilerle anlaşmalı limanlarda gemi acentesi geminin tahmini varış zamanını (ETA) bildirmektedir. Liman operasyonlarının yönetiminde terminal operasyon sistemi (TOS) üzerinden işlemler yapılmaktadır. Liman planlama ve operasyon departmanları, TOS üzerinden ilgili işlemleri gerçekleştirmekte ve süreçleri takip etmektedir. Liman planlama departmanı, Ro-Ro gemilerinin limandaki tahliye-yükleme sayısının kesinleşmesinin ardından listeleri sisteme girmektedir. Listelerdeki yük türlerine ve adetlere bakılarak, geminin hangi rıhtıma yanaşacağı ve tahliye-yükleme yapılacak araçların hangi

sahalara alınacağı belirlenmektedir. Saha planlamada firma bilgilerine ve araçların özel grupaj isteklerine göre planlama yapılmaktadır.

Liman işletmesinde gemi operasyonunu yapacak ekipte; şoför, trafikçi, servis aracı ve şoförleri, park alanı yanaştırıcısı, hasar kontrol ekibi, bağlama ve çözme personelleri ve ekip lideri yer almaktadır. Geminin yanaşması ve kontrollerinin tamamlanmasının ardından operasyon başlatılmaktadır. Yük sabitlemesi yapılan araçların çözülmesi sağlanmaktadır. Trafik görevlileri geminin güvertesine ve liman güzergahına göre yerleştirilmektedir. Sürücüler araçları gemiden liman sahasına veya sahadan gemiye taşımakta, servis araçları ise sürücüler kaldıkları yerden başladıkları yere geri götürmektedir. Tahliye edilen veya kapıdan limana giren araçlar hasar kontrol ekipleri tarafından kontrol edilip hasar tespit edilmesi halinde müşterilere bilgi verilmektedir. Araçların park etme işlemi yanaştırıcı personel ile gerçekleştirilmekte ve alandan kazanç elde etmek için araç aralarının dar tutulması gerekmektedir. Yanaştırıcı personeller, el işaretleri yardımıyla şoförler ile iletişim kurmakta ve araçları park ettirmektedir. Yanaştırıcı personel sayesinde olası hasarların önüne geçilmektedir. Yüklenecek araçlar, tahliye limanına ve kargo plana uygun olarak yüklendikten sonra, yolculuk sırasında zarar görmemesi için bağlama işlemleri gerçekleştirilmektedir. İşlemler tamamlandıktan sonra gemi kalkışa hazır hale gelmekte ve gerekli izinler alındıktan sonra gemi kalkış yapmaktadır.

Gemi operasyonları haricinde gemiden gelen araçların çıkışı veya gemiye yüklenecek araçların limana giriş süreçleri bulunmaktadır. Bu operasyonlarda liman kapısı üzerinden araç girişi ve çıkışı olmaktadır. İhracatı gerçekleşen araçların bilgilerinin limana iletilmesi sonucu tırlar limana giriş yapabilmektedir. Gemiden gelip kapıdan çıkacak ithalat araçların ise ödeme ve gümrük işlemlerinin tamamlanmasına müteakip araçlar çıkış yapabilmektedir. Araçları taşıyan tırlar taleplerinin aktif olması halinde ikili çevrim yaparak araç getirip limandan araç çıkartabilmektedir.

Uluslararası Ro-Ro taşımacılığında rakiplerin önüne geçmek için son gelişmeleri takip etmek ve süreç verimliliğini artırmak önemlidir. Ro-Ro yüklerinin elleçlendiği limanlarda süreçleri yönetmek için kullanılan çoğu terminal operasyon sistemi, tahliye ve yüklemeyle ilişkin operasyonel ve ticari kayıtların tutulmasından öteye gidememektedir. Optimizasyona yönelik bir çalışma için ciddi bir yazılım yatırımı gerektiğinden liman işletmecileri planlama süreçlerini manuel olarak devam ettirmektedir. Sadece Ro-Ro gibi aynı tip yükleri elleçlemede uzmanlaşmış limanların yanı sıra konteyner, Ro-Ro, genel yük gibi farklı yüklerin elleçlendiği çok amaçlı limanlar da bulunmaktadır. Çok amaçlı limanlar, aynı alan içerisinde her yük tipine göre ayrı bir akış izlenmesi sebebiyle karmaşık bir planlamayı gerektirmektedir. Planlama ve operasyonel kararlarda sadece bu işten sorumlu kişilerin tecrübesinin dayanak alınması süreç ve operasyon verimliliği açısından sürdürülebilir görünmemektedir.

Bu çalışmada Kocaeli ilinde faaliyet gösteren çok amaçlı bir liman işletmesinin süreçleri incelenmiştir. Kişi inisiyatifine ve tecrübesine dayalı olarak planlanan tahliye ve yükleme operasyonlarından toplanan verilerin matematiksel bir modele dönüştürülmesi ve model çözümünden elde edilen sonuçların doğrulanması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği liman tesisinde Ro-Ro gemilerinin yanaşabileceği yedi adet rıhtım bulunmaktadır. Ro-Ro gemilerinin hangi rıhtıma yanaşacağı ve gemiden tahliye edilecek ve yüklenecek araçların hangi sahalarla alınacağı kararı planlamacı tarafından belirlenir. Gemiden tahliye edilecek ve yüklenecek araçlar için saha

planlaması yapılırken operasyon süresi en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Tahliye ve yükleme işlemleri sırasında iş makineleri, kamyon, treyler vb. yüklerin sürüş hızı düşük olduğundan gemiye en yakın sahaya planlama yapılması gerekmektedir. Örnek bir gemi verisinden elde edilen bir problemde tahliye edilecek ve yüklenecek on yedi yük grubu bulunmaktadır ve bunlar iş makineleri, aksamalar, otomobiller, römorklar, kamyonlar vb. yük türlerini içermektedir. Modelde, saha kapasiteleri, sahaların rıhtıma uzaklıkları, yük gruplarının elleçlenme hızları ve yan hizmetler göz önünde bulundurularak gerekli kısıtlar oluşturulmuştur. Ro-Ro gemilerinden tahliye edilecek ve yüklenecek araçların ne kadarının hangi sahalarla alınacağı ve geminin hangi rıhtıma yanaştırılacağı sorularına General Algebraic Modeling System (GAMS) programında oluşturulan bir tam sayılı programlama modeli ile cevap aranmıştır. Geminin yanaştırılması için yanaşabileceği rıhtımlardan bir tanesinin seçilmesi ve bu problemde ikili bir sistem kurulması gerektiğinden tam sayılı programlama yöntemi kullanılmıştır.

Modelin çözümünde geminin hangi rıhtıma yanaştırılması gerektiği, araç gruplarının hangi sahalarla kaç adet istiflenmesi gerektiği ve operasyon süresinin kaç saat süreceği sonuçlarına ulaşılmaktadır. GAMS programında çalıştırılan optimizasyon modelinin sonuçları ile manuel planlama verileri karşılaştırıldığında optimizasyon modelinin manuel plana göre %13 daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Modelden elde edilen sonuçlara bakılarak liman yönetimi, geminin hangi rıhtıma yanaşacağını, dolu olan sahalarda değişiklik yaparak bunun model sonucunda nasıl bir etki yaratabileceği ve sahalara atanan araçların dağılımını değerlendirilebilir ve personel planlaması yapılabilir. Bu model Ro-Ro taşımacılığı yapan limanlarda terminal operasyon sistemleri ile beraber entegre edilerek liman süreçlerine uyarlanabilir ve geliştirilebilir.



OPTIMIZATION MODEL IN RO-RO VESSEL OPERATIONS

SUMMARY

Product transportation is carried out with the most appropriate means of airline, maritime, road and railway transportation, taking into account different criteria such as discharging and loading locations, load characteristics and transportation costs. Maritime transportation, which provides cost advantages in transportation modes, is preferred over other transportation methods. In maritime transportation, large amounts of cargo are transported at once, and customers who want to trade large amounts of goods prefer sea transportation. Many product groups such as containers, vehicles, bulk cargo, general cargo, project cargo and liquid cargo are delivered to customers by maritime transportation.

Türkiye has a strategic location thanks to the straits. For this reason, maritime transportation is an important sector in Turkey. Turkey has an important sectoral place in both short sea shipping and international maritime transportation.

Vehicle transportation, known as Roll on-Roll off (Ro-Ro), which is one of the most active areas of maritime transportation, is becoming widespread with the increase in the international need for new automobiles. Especially recently, new services have been added to Ro-Ro transportation due to the low cost of vehicles produced in Far Eastern countries and their demand in Europe.

Ro-Ro cargo has many advantages in maritime transportation. New cars, buses, trucks, vans, trailers, construction equipment, etc. Ro-Ro vessels are specially designed as multi-storey car parks for easy transportation of drivable cargo by sea. Having adjustable height floors and high carrying capacity for non-standard loads provides flexibility in the transportation of Ro-Ro loads. Since there is no stacking on the warehouse, there is no risk of damage to the cargo due to climate and environmental conditions during the voyage. These vessels faster than other types of vessels and their operations in the port are completed faster. The ramps of Ro-Ro vessels can be easily opened to berths where the berth height is suitable. Machines are not required in the port during the operations of Ro-Ro vessels that's why it does not require a high initial investment. The highest cost in the Ro-Ro process is personnel expenses.

Once the contracts and steps with the customers and agencies are determined, the processes of Ro-Ro operations begin. As a first step, the vessel agency at contracted ports informs the vessel's estimated time of arrival (ETA). In the management of port operations, operations are carried out through the terminal operation system (TOS). Port planning and operations departments carry out the relevant operations and follow the processes through TOS. The port planning department enters the lists into the system after the number of discharging and loading of Ro-Ro vessels in the port is finalized. By looking at the cargo types and quantities in the lists, it is determined which berth the vessel will berth at and which yards the vehicles will be discharged and loaded. In yard planning, planning is done according to company information and special groupage requests of the vehicles.

The team that will carry out vessel operations in the port management; driver, traffic attendant, service vehicle and drivers, stower, survey team, lashing and unlashng personnel and team leader. The operation is started after the ship berths and its checks are completed. Load-fixed vehicles are untied. Traffic officers are placed on the ship's deck and according to the port route. Drivers carry the vehicles from the vessel to the port area or from the yard to the vessel, and the shuttle vehicles take the drivers from where they left off to where they started. Vehicles that are discharged or enter the port through the gate are checked by survey teams and if damage is detected, customers are informed. Parking of vehicles is carried out by stower personnel and the spaces between vehicles must be kept narrow in order to save space. Stowers communicate with the drivers with the help of hand signals and park the vehicles. Possible damage is prevented thanks to the docking personnel. After the vehicles to be loaded are loaded to the discharge port and the cargo is loaded in accordance with the plan, lashing operations are carried out to prevent damage during the journey. After the procedures are completed, the vessel becomes ready for departure and takes off after the necessary permissions are obtained.

Apart from vessel operations, there are processes for vehicles coming from the vessel to exit or for vehicles to be loaded onto the vessel to enter the port. In these operations, vehicles enter and exit via the port gate. As a result of the information of the exported vehicles being transmitted to the port, trucks can enter the port. For import vehicles coming from the vessel and leaving the gate, the vehicles can exit after the payment and customs procedures are completed. Trucks carrying vehicles can bring vehicles and take them out of the port by making a dual cycle, if their demand is active.

In order to get ahead of competitors in international Ro-Ro transportation, it is important to follow the latest developments and increase process efficiency. Most terminal operation systems used to manage processes in ports where Ro-Ro cargoes are handled cannot go beyond keeping operational and commercial records regarding discharge and loading. Since a serious software investment is required for optimization work, port planners continue their planning processes manually. In addition to ports that specialize in handling the same type of cargo such as Ro-Ro, there are also multi-purpose ports that handle different cargo such as containers, Ro-Ro and general cargo. Multi-purpose ports require complex planning because a separate flow is monitored for each cargo type within the same area. Relying solely on the experience of the people responsible for this job in planning and operational decisions does not seem sustainable in terms of process and operational efficiency.

In this study, the processes of a multi-purpose port company operating in Kocaeli province were examined. It is aimed to transform the data collected from discharging and loading operations planned based on individual initiative and experience into a mathematical model and to verify the results obtained from the model solution.

There are seven berths where Ro-Ro vessels can berth at the port facility where the study was carried out. The decision on which berths the Ro-Ro vessels will berth and which yards the vehicles to be discharged and loaded from the vessel will be taken is determined by the planner. While yard planning is carried out for the vehicles to be discharged and loaded from the vessel, the operation time is aimed to be minimized. During discharging and loading operations, construction equipment, trucks, trailers, etc. since the driving speed of the loads is low, planning is required for the area closest to the vessel. In a problem obtained from an example vessel data, there are seventeen cargo groups to be discharged and loaded, and these are construction equipment,

components, automobiles, trailers, trucks, etc. includes load types. In the model, necessary constraints were created by taking into account the yard capacities, distances of the yards from the berths, handling speeds of cargo groups and ancillary services. The questions of how many of the vehicles to be discharged and loaded from Ro-Ro vessels will be taken to which yards and to which berth the vessel will be berthed have been answered with an integer programming model created in the General Algebraic Modeling System (GAMS) program. Since it is necessary to select one of the berths where the vessel can berth and to establish a binary system in this problem, the integer programming method was used.

In the solution of the model, the results are obtained at which berth the vessel should be berthed, how many vehicle groups should be stacked in which yards and how many hours the operation period will last. When the results of the optimization model run in the GAMS program were compared with the manual planning data, it was observed that the optimization model gave 13% better result than the manual plan. By looking at the results obtained from the model, the port management can evaluate which berth the vessel will berth at, what effect this may have on the result of the model by making changes in the occupied areas, and the distribution of vehicles assigned to the yards and personnel planning can be made. This model can be adapted and improved to port processes by integrating with terminal operation systems in ports that carry out Ro-Ro transportation.



1. GİRİŞ

Deniz yolu taşımacılığı ve liman işletmeciliği global dünyada büyük bir hacme sahiptir. Ancak pek çok liman işletmesi, teknoloji ve bilimin getirdiği yenilikleri uygulamak konusunda geriden gelmektedir. Konteyner taşımacılığı alanında çalışmalar olsa da diğer liman süreçlerinde çok fazla çalışmaya rastlanmamaktadır ve dolayısıyla bu süreçlerde iyileştirme potansiyeli oldukça yüksektir. Çalışmanın birinci bölümünde, literatürde liman operasyonlarını iyileştirmek üzere yapılmış çalışmalar taranmıştır. İncelenen çalışmalarda özellikle Ro-Ro gemi operasyonlarına odaklanılmış ve bu alanın gelişime açık yönleri aranmıştır. Tarama sonucunda TOS'a entegre edilebilecek nitelikte bir optimizasyon modeli üzerine çalışılmadığı tespit edilmiştir. Bu tespit çalışmaya yön vermiş ve Ro-Ro özelinde bir matematiksel optimizasyon modeli üzerine çalışılmasına karar verilmiştir.

Limanların sahip olduğu alana ve yatırım gücüne göre farklı yük tiplerini elleçlemeye sıcak bakması sebebiyle yük tiplerini ve her yük tipine dair süreçleri tanımak önem arz etmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde konteyner, genel yük, sıvı yük ve Ro-Ro yük tiplerine göre limanlarda izlenen süreçler ve yüklere ait genel bilgiler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Kocaeli ilinde bulunan çok amaçlı bir limanda konteyner, genel yük, sıvı yük ve Ro-Ro operasyonları gerçekleştirilmektedir. Limanda farklı yüklerin elleçlenmesi esnasında liman sahalarında darboğazlar oluşmakta ve sahaların dinamik olarak kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple çalışmada, liman sahaları ve operasyonlarının Ro-Ro yükleri özelinde iyileştirilmesi ile ilgili bir problem tanımı yapılmıştır.

Ro-Ro operasyonunu iyileştirmek üzere ele alınan problemi matematiksel bir model olarak ifade etmek gerekmektedir. Bu kurguyu yapabilmek için probleme uygun bir optimizasyon modeli kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde optimizasyon yöntemlerine yer verilmiştir. Yapılan araştırma ile problemin yapısı eşleştirildiğinde uygulama aşamasında kullanılacak optimizasyon modeli olarak tam sayılı programlama modeli uygun görülmüştür.

Literatür taraması ve probleme uygun optimizasyon modeli seçimi ile birlikte çalışmanın dördüncü bölümünde modeli kurmak için gerekli veriler toplanmış ve Ro-Ro yüklerinin liman içerisindeki yerleşimini optimize etmesi ve gemiler için rıhtımlara atama yapması hedeflenen tam sayılı programlama modeli GAMS programı üzerinde kurulmuştur. Modeli çalıştırmak limana ait gerçek bir akıştan örneklem olarak alınan veriler modele entegre edilmiştir.

Limana ait yedi adet rıhtım, on sekiz adet saha ve limanda elleçlenen on yedi adet tahliye-yükleme grubuna dair örneklem ile model çalıştırılmıştır. Çalışmanın beşinci ve son bölümünde çalıştırılan modelden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Manuel planlama ve GAMS sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda modelin yeterli sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda kurulan modelin limanda kullanılan TOS'a entegrasyonunun değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan çalışma ile Kocaeli ilinde faaliyet gösteren bir liman işletmesinde, Ro-Ro gemilerinin tahliye ve yükleme operasyonlarından toplanan verilerin matematiksel bir modele dönüştürülmesi ve model çözümünden elde edilen sonuçların doğrulanması amaçlanmaktadır. Böylece planlama yapılırken planı yapan çalışanın inisiyatifine bırakılmadan rıhtım ve sahaların en verimli şekilde kullanılması istenmektedir. Çalışmanın gerçekleştirildiği liman tesisinde yedi adet rıhtıma Ro-Ro gemileri yanaşabilmektedir. Gemiden tahliye edilecek ve yüklenecek araçlar için saha planlaması yapılırken operasyon süresi en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Tahliye ve yükleme işlemleri sırasında yüklerin tipine göre değişen sürüş hızı sebebi ile düşük sürüş hızı olan Ro-Ro yüklerinin uzak sahalarla planlanmaması önem arz etmektedir.

Modelde saha kapasiteleri, sahaların rıhtıma uzaklıkları, yük gruplarının elleçlenme hızları ve yan hizmetler göz önünde bulundurularak kısıtlar oluşturulmadır. Limanda gerçekleşen örnek bir operasyondan elde edilecek veriler ile farklı yük gruplarının özellikleri, rıhtımların ve sahaların özellikleri birer kısıt olarak modelde

kurgulanacaktır. Kurgulanan model GAMS programı kullanılarak çalıştırılacak ve elde edilen sonuçlar ile duyarlılık analizi yapılacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

vsteb ve diğ. (2011), Ro-Ro gemilerinden oluşan bir filonun yönetimi için gerekli olan karar verme süreçlerine odaklanmışlardır. Matematiksel model geliştirip bu modelde belirli bir rota üzerinde seyri planlanmış olan bir geminin hangi kargoları taşıyacağı, her kargodan kaç adet aracın taşınacağı ve araçların gemiye nasıl istifleneceğı konularına yer vermişlerdir. Problemi çözmek için hem standart bir tam sayılı programlama hem de özel olarak tasarlanmış sezgisel bir yöntem kullanmışlardır. Belirli rnek türleri için tam sayılı programlama çözücünün doğru çalıştığını gözlemlerken, diğ. türler için buluşsal yöntemin çok hızlı ve tam sayılı programlama çözücüsünden daha doğru çalıştığını anlamışlardır.

Jia ve diğ. (2022), Ro-Ro gemilerinde iki yönlü olacak şekilde (dual cycling) yükleme ve tahliye operasyon sürelerinin en aza indirmek amacıyla bir tam sayılı programlama formülize etmişlerdir. Ro-Ro ift yönlü tahliye-yükleme problemlerinin genel bir makine planlama probleminden indirigeme yoluyla bir çeşit belirlenimsiz problemler sınıfı olduğunu kanıtlamışlar ve sorunu çözmek için rastgele anahtar algoritması olarak adlandırılan bir buluşsal yöntem önermişlerdir. Buluşsal yöntemin gerçek dünya sorunlarına yalnızca saniyeler içinde optimal veya optimale yakın çözümler bulunduğunu göstermişlerdir. Yaklaşımlarının Ro-Ro operasyonlarının yakıt tüketiminde ve CO₂ emisyonlarında %25'e kadar azalma sağladığını gösteren endüstriyel örnekler hakkında yönetimsel bilgiler sağlamışlardır.

Fanti ve diğ. (2015), bir liman ile kara terminali arasındaki mal akışını ve ticari işlemleri yönetebilecek bir karar destek sisteminin tasarlanmasını ve geliştirilmesini ele almışlardır. Entegre bir karar destek sistem mimarisi önermiş ve belirlemişlerdir. Ana bileşenleri, simülasyon ve optimizasyon modülleri temelinde tasarlamışlardır. Sistemin kullanımını ve uygulanmasını göstermek amacıyla bu çalışmada, Trieste limanının alanını test edip analiz etmiş ve kara terminali ile bir deniz limanı arasındaki yüklerin ihracat akışlarını yönetmeyi amaçlamışlardır. Esas olarak simülasyon ve optimizasyon yaklaşımlarından ve özellikle meta-sezgisel yaklaşımlardan yararlanarak taktiksel ve operasyonel karar düzeyinde entegre bir yaklaşım tasarlamışlardır.

Özkan ve diğ. (2016), Ro-Ro terminalinin kapasitesini etkileyen değişkenlerin terminale gelen araç sayısı, terminaller arası mesafe, gemi kapasitesi, terminal kapıları, gümrük kontrol birimleri, terminal trafiği ve yerel trafik, güvenlik kontrolü, yakıt ikmali hizmetleri vb. olarak belirlemişlerdir. Simülasyon modelleme yöntemini kullanarak üç değişkenin (Terminallere gelen kamyon sayısı, Terminaller arası mesafe ve Ro-Ro gemi kapasitesi) terminal kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Terminallere gelen kamyon sayısının terminal kapasitesini en çok etkileyen değişken olduğunu belirlemişlerdir. Bu durumun bir sonucu olarak Ro-Ro terminal işletmecisinin terminal alanının belirlenmesinde talep faktörünü ön planda tutması ve etkin bir talep tahmini yapması gerektiği düşünülmüştür.

Muravev ve diğ. (2016), simülasyon modellemenin, liman terminal operasyonlarının analizinde oldukça kullanışlı ve yaygın bir yöntem olduğuna karar vermişlerdir. Simülasyon yazılım programlarının birbirleri arasında hangi düzeyde güvenilir olduğunu araştırmışlardır. Bir Ro-Ro terminalinin operasyonlarını simülasyon modelleme yazılım programı olan Arena ve AnyLogic ile bağımsız olarak modellenmişlerdir ve sonuçları karşılaştırmışlardır.

Alvarez ve diğ. (2010), deniz taşımacılığı sistemlerinin performansında rastgeleliğin önemi ve terminal kaynaklarının verimli tahsisini temsil etme ihtiyacı göz önüne alındığında, hibrit bir simülasyon-optimizasyon yaklaşımı seçmişlerdir. Ayrık olay simülasyon modelinde, gemileri ve bunların temel ekonomik ve fiziksel özelliklerini, terminalin mekansal düzenini, kara tarafı ekipmanının performansını, sözleşmeye bağlı anlaşmaları, ilgili cezaları ve yavaşma politikalarını göz önünde bulundurmışlardır. Simülasyon program ile terminaldeki planlama faaliyetlerinin ilerleyişini temsil etmek için optimizasyon modelinin birden fazla örneğini ardı ardına çözmüşlerdir.

Golias ve diğ. (2009), geminin gecikmeli kalkışlarını en aza indirmek ve dolaylı olarak yakıt tüketimini ve boş modda gemiler tarafından üretilen emisyonları azaltmak için bir yavaşma planlama politikası sunmuşlardır. Gemi varış sürelerini bir değişken olarak kabul etmişler ve okyanus taşıyıcılarına optimize edilmiş bir gemi hızı sağlamışlardır. Gerçek verileri kullanan örnek problemler ile önerilen politikanın, gemilerin limanda rölanti modunda ürettiği emisyon miktarını azalttığını, gemi çalışma hızlarını optimum seviyelere düşürerek yakıt tüketimini ve limanda bekleme

süresini optimize ettiğini ve gemilere geç varışların etkilerini en aza indirdiğini göstermişlerdir.

Jia (2021), Avrupa'da faaliyet gösteren bir nakliye şirketinden esinlenerek istifleme planlaması, ikili çevrim ve tahmini kargo boşaltma süresi sorunlarını araştırmıştır. Temel verimsizlikleri tespit etmiş ve endüstri ortamındaki sorunları formüle etmiştir. Matematiksel model ile sezgisel ve istatistiksel bir çerçeve önermiş ve gerçek veriler üzerinde test etmiştir. Bu tezin sürdürülebilirliğini, özellikle de RoRo denizcilik sektörünün yakıt ve emisyon azaltımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma ile beraber optimizasyon ve istatistiksel yöntemlerin karmaşık endüstriyel sorunların çözümüne nasıl katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Çalışmayı RoRo denizcilik endüstrisini daha sürdürülebilir hale getirmek için her iki toplumu da ilgilendiren bir sonuç ve gelecekteki çalışmalarla sona erdirmiştir.

Main ve diğ. (2023), kargonun dinamik varışının, kargo maliyeti ile kargoyu beklemek ve istiflemek için harcanan zamandan kaynaklanan yakıt maliyetlerini dikkate alarak istifleme planlamasını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Sorunu çözmek için karma tam sayılı bir program formülasyonu ve sezgisel bir yaklaşım sunmuşlardır. Buluşsal yöntemin kargonun dinamik varışına yönelik istifleme planlarını nasıl yapabileceğini göstermişlerdir. Gelir, yakıt maliyetleri ve kargo taşıma süresine ilişkin algoritma duyarlılığını araştırmak için bir duyarlılık analizi yapmışlardır. Bu parametrelerin düzensizliğinde istiflenen kargo birimi sayısında yüksek hassasiyet olduğunu göstermişlerdir.

Yan-ning ve diğ. (2014), Ro-Ro gemi yükleme özelliklerinin analizine dayanarak, birden fazla liman için gemilerin stabilitesi, yükleme verimliliği ve taşıma geliri gibi gerçekçi kısıtlamalar dikkate alınarak ro-ro gemi yükleme problemini karışık tam sayılı programlama ile formüle etmişlerdir. Önerilen modelin çözümü için çok aşamalı, çok boyutlu kısıtlamalar, çok torbalı birleşimsel optimizasyon özelliklerine sahip bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Küçük ölçekli problemlerde ise genetik algoritma çözümlü sonuçların tam çözümlere yalnızca %1,4 oranında yakın olduğu; Büyük ölçekli problemlere gelince, genetik algoritmadan elde edilen sonuçlar, pratik dağıtım kurallarından elde edilenlerden açıkça daha iyi olduğunu, dolayısıyla önerilen algoritmanın sağlamlığını doğrulamışlardır. Ayrıca, hem yükleme sürecinin hem de yükleme modellerinin görselleştirilmesini gerçekleştirmek için Visual Basic tabanlı

bir yönetim bilişim sistemi geliştirmişler ve bu, gerçek zamanlı karar verme konusunda katkı sağlayacağını öne sürmüşlerdir.

Morales-Fusco ve diğ. (2010), karayolu trafiğinin kısa mesafe deniz taşımacılığı zincirlerine taşınması için hızlı, sık ve güvenilir deniz taşımacılığının sağlanmasını gerekli görmüşleridir. Bu anlamda Ro-Ro gemilerinin limanda kalma sürelerinin daha kısa olması ve dolayısıyla trafiğin ciddi oranda artması muhtemel olması nedeniyle kullanılabilecek en uygun gemilerin Ro-Ro gemileri olduğunu düşünmüşlerdir. Bir Ro-Ro terminalinin halihazırda faaliyette olan veya tasarım sürecindeki kapasitesini hesaplayarak, terminali kalite göstergeleri aracılığıyla ve bazı kalite standartlarıyla ilişkilendirmişlerdir. Halihazırda yollarda ve havalimanlarında kullanılanlara benzer basit bir hizmet metodolojisi önermişlerdir. Metodolojiyi İspanya'daki gerçek bir terminale uygulanmasıyla makaleyi sona erdirmişlerdir.

Brahimi ve diğ. (2021), tek hatlı bir hizmet tasarımı ve operasyon problemini modellemişlerdir. Modele, dahil edilecek limanları, bunların sırasını, gemilerin seyir hızını, gemi sayısını ve hizmet tarafından taşınacak kargo miktarların seçimini yaptırmışlardır. Karı maksimize etmeyi amaçlamışlardır. İlk olarak, karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama formülasyonu ile bir yumuşatma önermişlerdir. Optimum hız değerinin nasıl elde edileceğini gösterip, bu değer elde edildikten sonra matematiksel programlama formülasyonunu karma tam sayılı doğrusal programa dönüştürmüşlerdir. Daha sonra problemin çözümü için iki adımlı kesin bir algoritma sunmuşlardır. Gerçek veriler kullanılarak, küçük boyutlu problemler için en iyi çözümü 1 dakikadan kısa sürede, nispeten büyük boyutlu problemler için ise birkaç saat içinde bulmuşlardır. Yirmi beşe kadar bağlantı noktasına sahip rastgele oluşturulmuş veri kümeleri üzerinde daha fazla test gerçekleştirmişlerdir. Bu testlerin sonuçlarını oldukça umut verici bulmuşlar ve algoritmanın performans sınırlarının belirlenmesine olanak sağlamışlardır.

Ku (2009), Ro-Ro terminalinde yükleme planı kavramlarını tanıttıktan sonra Ro-Ro gemi operasyonunda yükleme planı için gerçek zamanlı değerlendirme modelinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Belirli kısıtlamalara sahip belirli bir Ro-Ro terminal ortamı varsayımı üzerine, sezgisel bir algoritma kullanılarak bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Her kargo grubunun tahmini çalışma süresi, simülasyonun sonuçlarından çıkarmış ve bunları daha sonra terminal planlamacıları ve operatörlerinin görevleri boyunca herhangi bir kritik yolu tanımlaması için kritik yol

metot ağının girdileri haline getirmiştir. Ayrıca, operasyonel kısıtlamalarda değişiklikler olduğunda veya tahmin ile gerçek ilerleme arasındaki zaman farkı önemli hale geldiğinde simülasyon modelinin kritik yolları nasıl değiştirdiğini yeniden hesaplamıştır. Daha sonra yükleme işlemi sırasında operasyonel değişiklikler için gerçek zamanlı ayarlama prensibinin önemini vurgulamıştır.

Øvstebø ve diğ. (2011), bir Ro-Ro gemisinin iki coğrafi bölge arasında seyretmesi, ilkinde kargoyu alıp ikincisine teslimat yapması sorununu ele almışlardır. İsteğe bağlı kargolar, esnek kargo miktarları ve gemi stabilite kısıtlamaları ile çeşitli varyasyonlar dikkate alınıp, geminin rotası ve programı ile yükün gemide istiflenmesine ilişkin kararların üzerinde çalışmışlardır. Problemi, Xpress program kullanılarak çözülen karma tam sayılı bir program olarak modellemişlerdir. Ek olarak, tabu arama ve gıcırtilı tekerlek optimizasyonundan elde edilen bileşenler kullanılarak özel olarak tasarlanmış bir buluşsal prosedür oluşturmuşlardır. Buluşsal yöntemin gerçekçi boyuttaki problem örneklerini ele alabildiğini gösteren kapsamlı hesaplama sonuçları sunmuşlardır.

Zhang ve diğ. (2023), Bu makalede otomobil Ro-Ro terminallerinde makro düzeyde saha bölümü tahsisi ve transfer insan gücü tahsisine ilişkin ortak bir çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ortak çizelgeleme problemini, araçların gerekli toplam sürüş mesafesini en aza indirme hedefiyle karma tam sayılı programlama modeli olarak formüle etmişlerdir. Bir dizi problem analizinden ve matematiksel çıkarımlara dayalı ikili bölümlleme tekniklerinden elde edilen gevşeme durumları sunmuşlardır. Ayrıca sorunun karmaşıklığını azaltmak için sıkıştırılmış stratejiler uygulamışlardır. Daha sonra, kural tabanlı adım adım algoritma, güçlendirilmiş sütun oluşturma ve çok köklü dal ve sınırdan oluşan birleştirilmiş bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmalarının performansını değerlendirmek için rastgele verilere dayalı sayısal deneyler ve gerçek operasyon verilerine dayalı bir örnek olay çalışması yapmışlardır. Sonuçların, önerilen algoritmaların yüksek kaliteli çözümleri verimli bir şekilde üretebildiğini ve günlük işlemlerde büyük pratik değere sahip olduğunu göstermişlerdir.

Park ve diğ. (2021), Ro-Ro gemilerinin araç yükleme işleminde otomatik yönlendirmeli araçların (AGV) uyarlanması mevcut yükleme işlemiyle karşılaştırmalı olarak tanıtmayı amaçlamışlardır. Yükleme süreçlerinin verimliliğini karşılaştırmak için Arena simülasyonunu kullanarak AGV'lerin bir Ro-Ro limanına

uyarlanması için uygulanabilir senaryoları analiz etmişlerdir. AGV'lerin Ro-Ro gemilerinin araç yükleme sürecine uyarlanmasının verimliliği artırdığını ve mevcut yükleme sürecindeki birçok sorunu çözdüğünü ortaya çıkarmışlardır. 21 veya daha fazla AGV ile tüm işlem süresi mevcut yükleme işlemine benzer veya daha kısa olurken, 40 AGV'den sonra aynı olduğunu saptamışlardır. Ayrıca AGV sayısı arttıkça transfer süresinin azaldığını ancak kuyruğun arttığını gözlemlemişlerdir. AGV adaptasyonunun etkisini belirleyen bu çalışmada Ro-Ro liman operasyonlarındaki çeşitli trafik durumlarının geliştirilmesine yönelik değerli bilgiler sunmuşlardır.

Dragović ve diğ. (2015), makalede öncelikle son yıllarda hızlı bir büyüme yaşayan Ro-Ro otomobil terminalinin performans göstergeleri ve trafik analizi ele almışlardır. 2013 yılında Bar Limanı'nı ziyaret eden gemilerin trafik ve frekans analizini yapmışlardır. Söz konusu dönemde elde edilen terminal trafiğine dayalı detaylı, aynı zamanda gelecekte sağlanması gereken stratejileri ve talimatları geliştirmek için yerel liman yetkililerine rapor edilebilecek ampirik analizde bulunmuşlardır. Ayrıca burada otomobillerin gemilere yüklenme sürecinin analitik varsayımına dayanan ayırık olay simülasyon modelini uygulamışlardır. Girdi verilerini kullanarak analitik ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Tang ve diğ. (2015), otopark ölçeğinin, tüm Ro-Ro terminalinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğuna değinmişler ve otoparkın ölçeğini belirlemek için şehir planlama teorisi kullanmışlardır. Ancak Ro-Ro terminalindeki trafiğin özellikleri kentsel alandan farklı olması nedeniyle bu makalede Ro-Ro terminaline giren ve çıkan araçları Arena yazılımıyla simüle etmek için bir simülasyon modeli önermişlerdir. Uygulamada, önerilen simülasyon modelinin bir RORO terminalindeki otoparkın ölçeğini belirlemek için etkili bir araç olduğunu göstermişlerdir.

Yıldırım ve diğ. (2020), çalışmalarında rıhtım atama probleminin (BAP) çözümü için sürü tabanlı Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritmasını temel alan bir simülasyon optimizasyon modülü ile birleştirilmiş bir karar destek sistemi önermişlerdir. Önerilen metodolojiyi Türkiye'deki İzmir limanı için uygulamışlardır. Gemi önceliklerinin BAP üzerindeki etkilerini araştırmak için tekli (SQM) ve çoklu kuyruk modellerine (MQM) dayanan dört farklı deney senaryosunu ilk gelen ilk alır (FCFS) kuralı ile birleştirmişler ve hibrit kuyruk önceliği (HQP) kuralını önermişlerdir. SQM senaryolarının, ortalama gemi bekleme sürelerini en aza indirecek şekilde MQM senaryolarından üstün olduğunu ve MQM için dinamik bir yanaşma yeri tahsis

stratejisinin uygulanmasının, gemi bekleme sürelerini önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Ayrıca SQM'nin sonuçları ile HQP yaklaşımının kullanılmasının, ortalama gemi bekleme sürelerini daha da en aza indirdiğini ve FCFS öncelik kuralıyla karşılaştırıldığında daha büyük gemiler için aşırı bekleme sürelerine yol açmadan rıhtım kullanımını ve liman verimini arttırdığını göstermişlerdir.

Chen ve diğ. (2021), araçların tersaneye gelişi için depolama yeri atama problemini (SLAP) incelemişler ve gemi yükleme verimliliğini artırmayı ve Ro-Ro terminallerinde verimli depolamaya katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. Engellenen rotalardan kaynaklanan iki kilitlenme durumunu ayrıntılı olarak analiz etmişlerdir. Ro-Ro gemisi istifleme planına dayanarak, arabaların bir Ro-Ro gemisine yükleme sırasını yansıtacak bir araba grubu konsepti önermişlerdir. Dağılım derecesi, sahadaki her araba grubunun merkezi yerleşimini tanımlayacak şekilde tanımlamışlardır. Tüm kabin gruplarının toplam dağılım derecelerini en aza indirmek için doğrusal 0-1 tam sayılı programlama modeli formüle etmişlerdir. Ayrıca, farklı araç gruplarının depolanması için her konumun tercih edilen derecesini ölçmek üzere çekim derecesi adı verilen bir gösterge sunmuşlardır. Çözülen problemin ölçeğini azaltmak için, kapalı döngü (olumlu ve olumsuz) geri bildirim dayalı, dönen ufuk sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yöntem ile otomotiv Ro-Ro terminallerinin yönetimi için tatmin edici bir araba atama planını etkili bir şekilde üretebildiğini göstermişlerdir.

1.3 Hipotez

Çalışmanın hipotezi, "Ro-Ro yüklerinin elleçlenmesinde geleneksel yöntemler yerine matematiksel bir model kullanılarak saha, rıhtım ve operasyon verimliliği artırılabilir" olarak belirlenmiştir. Operasyon verimliliğinin artması ile operasyonlar için gerekli kaynakların kullanım yüzdesi azalacaktır. Personellerin iş yükünün azaltılması ile personel planlamasının kolaylaşacaktır. Kullanılan yakıt miktarının azalması ile karbon ayak izi oranı düşecek ve çevrenin korunmasına katkı sağlanacaktır. Operasyon verimliliğinin sağlanması ile müşteri memnuniyetinin arttırılacaktır.

Gemi operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili çalışmaların konteyner yüklerine daha çok yönelmesi sebebi ile Ro-Ro yüklerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Çalışmada elde edilmesi planlanan modelin TOS'a entegre edilebilir bir yapıda olması ile ilgili ise benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Model, limanda

gerçekleşen bir operasyonun verileri analiz edilerek geliştirileceğinden elde edilecek sonuçlar doğrudan uygulanabilir olacaktır.



2. YÜK TİPLERİNE GÖRE LİMAN SÜREÇLERİ

Limandaki elleçlenen kargolar her bir limana göre farklılık gösterse de temel aşamalar her limanda aynıdır. Her bir yük tipinden sadece birini benimseyen limanların olmasının yanı sıra saha yüzölçümü ve rıhtım uzunlukları bakımından zengin limanlarda ise her yük tipinin elleçlendiğini görebiliriz. Limanlar farklı yük tiplerini elleçleyebilmeleri için farklı yük tiplerine göre yatırım yapması ve deneyimli personel çalıştırmaları gerekmektedir. Her birinin prosedürleri ve maliyetleri farklı yük tiplerine uygun yatırımların yapılması ve gerekli izinlerin alınmasıyla beraber limanlar bu yükleri elleçlemeye hazır hale gelirler.

2.1 Konteyner

Limanların konteyner elleçleyebilmeleri için bu yük tipine uygun bazı ekipmanlara sahip olması gerekmektedir. Konteynerin gemiden sahaya tahliye edilebilmesi ya da sahadan gemiye yüklenebilmesi için rıhtım vinçlerine sahip olması gerekmektedir. Ship to shore ya da shore to ship (STS) adı verilen vinçler konteyner elleçlemek için özel tasarlanan vinçlerdir. Bu vinçler teknik özelliklerinin yeterli olması koşuluyla büyük konteyner gemilerine hizmet verebilirler. STS vinçlerinin yanı sıra mobil liman vinci (MHC) ile de konteyner elleçlemesi yapılabilir. MHC ile elleçleme yapılırken vincin kolunun kaç yan sıra konteynere kadar uzandığı önem taşır ve MHC'ler kabin yüksekliğinin, görüş açısının ve aradaki konteynerlere uzanamamasından kaynaklı büyük konteyner gemilerinde kullanılamamaktadır. STS ile arasında performans ölçütü olarak da fark bulunmaktadır. STS geminin bir ambarına sabitlendikten sonra sağ ve sol hareketleri yapma gereksini duymayacağından MHC'ye göre çok daha hızlı konteyner elleçlemektedir. Konteynerlerin sahada istiflenebilmesi için ise saha vinçleri ve araçları gereklidir. Bu saha ekipmanlarına lastik tekerlekli vinç (RTG), ray montajlı vinç (RMG), konteyner istifleyici mobil araç (RS) ve boş konteyner elleçleme aracı (ECH) örnek gösterilebilir. RTG ve RMG vinçlerinin çalışabilmesi için özel olarak inşa edilmiş, üst üste dolu konteyner istifine dayanıklı alanlar ve elektrik ile çalışacak ise ekipmanlara uygun bir elektrik altyapısının bulunması gerekmektedir.

Konteynerlerin sahadan gemiye, gemiden sahaya ya da sahadan sahaya taşıma yapılması için terminal aracı olarak adlandırılan (TT) ya da hem istifleme hem de taşıma aracı olarak kullanılan ayırma taşıyıcısı (SC) kullanılmaktadır. Bu ekipmanların hepsi operatörler vasıtasıyla kullanılabilir ya da yatırım maliyeti daha yüksek olarak bir otonom yapı da limana kurulabilir.

Konteyner taşımacılığı yapan, gemi ve konteynerlerin sahibi olan firmalar ile liman arasında sözleşme yapıldıktan sonra yıllık kaç yirmilik ekipman birimi (TEU) konteyner elleneceğinden yola çıkarak ekipman, kapasite ve personel planlaması yapılması gerekmektedir. Yıllık elleçlenecek TEU üzerinden limanının bulunduğu bölgeye göre farklılık gösteren bir konteyner yük istasyonu (CFS) alan hesaplaması da yapılması gerekmektedir. CFS alanında iç dolum, iç boşaltım, muayene, tam tespit ve konteynerden konteynere mal aktarım işlemleri yapılmaktadır. Bu alanın yeterliliğine göre konteynerler serilip müşterilere ve gümrük görevlilerine hizmet verilmektedir. Acentenin hangi servisinin limana uğrak yapacağının belirlenmesinin ardından limanın kullandığı TOS'da gerekli tanımlamalar yapılmaktadır. Bu tanımlamaların ardından limana konteynerler giriş yapabilmektedir. Ön hazırlık tamamlandıktan sonra süreç başlamaktadır. Acentenin geminin ETA'sını bildirmesi ile konteynerler limana giriş yapar. Saha planlamacısının TOS'a tanımladığı planlar (servis, liman, boyut, tür vb.) ile eşleşen konteyner belirli bir lokasyona atanır. Dolu konteynerlerde doğrulanmış brüt ağırlığın (VGM) oluşabilmesi için araçların kantarda dolu ve boş olarak tartılması gerekmektedir. İhraç konteynerlerin dışarıdan limana girmesi ve limandaki dolum olan konteynerlerin de tamamlanmasının ardından geminin yükleme listesi oluşmaktadır. Gemiden tahliye olacak konteyner var ise tahliye listesi iletilir ve TOS'ta listeler tanımlanır. Geminin uzunluk ve varış derinlik bilgilerine göre rıhtım planlaması yapılır. Son limandan kalkışı ile beraber gemideki konteynerleri, yükleme yapılacak lokasyonları ve ayrıntılarının gösterildiği elektronik veri değişimi (EDI) olarak adlandırılan dosyalar da sisteme yüklenir. Liste, liman ve gemi verileri birbirleri ile karşılaştırılıp herhangi bir farklılık bulunması takdirinde acente ile iletişime geçilir. Farklılıkların giderimesine müteakip STS planları ve saha planları hazırlanır. Gemiye kaç STS, RTG, TT, RS, ECH vb. ekipmanların çalışacağı liman planlamacıları tarafından belirlenir. Gemi yanaşmasının ve acente onayının ardından operasyona başlanır ve planlamacılar tarafından ekipmanlar ve personeller yönlendirilir. İthal konteynerlerin limana istiflenmesinden sonra konteynerler gümrük izinleri ve ödeme

işlemlerinden sonra limandan çıkabilir. Firmaya giden dolu konteynerler boşaldıktan sonra boş konteyner acente tarafından planlanır ve aynı limana geri dönüş olacak ise limana bildirildikten sonra limana giriş yapılabilir.

2.2 Genel Yük

Konteynere sığmayan, taşıma adedi fazla olduğu için konteyner kiralınması tercih edilmeyen, yağmurdan etkilenebilen, dökme, rulo sac, filmaşın, levha sac, proje kargolar vb. yükler genel yük olarak adlandırılır. Bu yükler genel yük gemileri olarak adlandırılan tulum ambarların bulunduğu dökme yük, genel kargo ve proje kargoların istiflenebildiği gemiler ile taşınmaktadır. Acentenin liman yönetimine elleçlenecek yükün detaylarını iletmesinin ardından limanda yükü elleçleyecek ekipman ve personel bulunması durumunda anlaşmaya varılır. Bu anlaşma düzenli sefer ya da tek seferlik bir anlaşma olabilir. Genel yük operasyonlarında genellikle MHC vinçleri kullanılmaktadır. Gemi operasyonundan elleçlenecek yükün veya liman sahasında depolanacak yükün özelliklerine göre genel yük operasyonları çeşitlendirilebilir. Her yük çeşidi için farklı ekipmanlar ve ataçmanlar kullanılır. Ayrıca personel sayısı da değişkenlik gösterir. Genel kargo ve proje yüklerinin elleçlenmesinde kullanılan bazı ekipmanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Mapa-Kilit
- Polyester Sapan
- Sonsuz Sapan
- Çelik Sapan
- Zincir Sapan
- Kanca
- Sapan Halkası

2.2.1 Genel kargo

Adedi ve tonajı bulunan bu yüklerde miktar çok fazla olduğundan konteynere iç dolum yapmak çok maliyetlidir. Bu yüzden genel kargo gemileri olarak adlandırılan gemilerde bu yükler taşınabilir. Genel kargoda rulo sac, levha sac, filmaşın, iş makinesi ve aksamaları, büyük torbalar içerisindeki çeşitli dökme yük vb. yükler örnek

verilebilir. Bu tarz yüklerin adedinin fazla olması ve liman sahasında depolanmasının maliyeti müşteri gözünde artacağından supalan olarak adı verilen geminin yanaşmasına müteakip dışarıdan araç üzerinde direkt gemiye ya da gemiden müşteriye yük akışı gerçekleştirilir. Yağmur yağması ve yağmurdan etilenen yükler olması durumunda geminin operasyonu durdurulur, ambar kapağı gemiciler tarafından kapanır ve beklemeye geçilir.

2.2.2 Dökme yük

Dökme yükler genellikle küçük parça ve ya toz halinde bulunan yükler olarak adlandırılır. Dökme yüklerin adedi sayılamayacağından tonaj üzerinden hesaplamalar yapılır. Bu yüklere arpa, buğday, mısır, magnezit, soda, karbonat vb. ürünler örnek gösterilebilir. Gemilerde ise bu yükler ambarın içerisinde yağmurdan korunaklı şekilde muhafaza edilir. Genellikle MHC'nin ucuna kapma takılarak elleçlenen bu yükler, limanda bant sistemi kurulu ise bu bant sistemi yardımıyla silodan veya depodan direkt gemiye aktarımları sağlanır. Yağmur yağması durumunda geminin operasyonu durdurulur, ambar kapağı gemiciler tarafından kapanır ve beklemeye geçilir.

2.2.3 Proje yük

Proje yükler müşterilerin talebine göre özel olarak tasarlanmış ve gemiye özel olarak istiflenen yükler olarak nitelendirilebilir. Acente ve liman arasında yükün çeşitliliğine ve liman ekipmanlarının yeterliliğine göre anlaşma yapılır. Eğer tonajı fazla olan ve liman vincinin kaldırma kapasitesinin üstünde bir yük ile karşılaşılırsa bu yük liman tarafından kabul edilmemektedir. Liman onayı sonrası yükün kaldırma noktaları ve kaldırma planları incelendikten sonra yük elleçlenebilir. Proje yüklere yat, trafo, tramvay, pervane vb. yükler örnek gösterilebilir. Tonajın fazla olması ve güvenli kaldırma prosedürü içerisinde yükün çeşidine göre 2 adet MHC ile operasyon yapılmaktadır. MHC'lerin birbirine çarpıp çarpmaması ve makaraların dolaşmaması için iki vinç arasında yeterli açıklık bırakılmalıdır. Liman operasyon biriminin onayı

doğrultusunda gerçekleşen bu operasyonlar dikkat edilmediği takdirde ciddi kazalara, can ve mal kayıplarına yol açabilir.

2.3 Sıvı Yük

Sıvı yük enerji ve kimya endüstrisi açısından önemli bir üründür. Aseton, petrol, kimyasal ürünler vb. bu ürün grubuna örnek verilebilir. Limanların sıvı yük elleçleyebilmeleri için diğer yükler gibi izinlerinin alınması gerekir. Tanklara dolum yapılacağından ve bu yüklerin çoğunu tehlikeli yükler oluşturduğundan depolanma aşaması önem arz eder. Sıvı yük tanklarının ve çevresinin inşaatı, gemiye hortum bağlantılarının kurulumu, izinlerin alınması vb. birçok yatırımın maliyeti oldukça yüksektir. Gemi tahliye-yükleme süreçleri, tank temizliği ve kamyonlara dolum aşamaları profesyonel ekipler tarafından yapılmalıdır.

2.4 Ro-Ro

Ro-Ro operasyonları da diğer yüklerin operasyonlarında olduğu gibi liman ve acentenin sözleşmesi ile başlar. Ro-Ro'da acentenin yanı sıra müşteri de bu süreçlerde daha çok yer almaktadır. Sözleşmelerin belirlenmesinin ardından gemiler, uğrak limanları ve bildirilen gemi-sefer bilgileri TOS'a tanımlanır. Liman iç bölgesinde otomobil fabrikaları yer almakta ve fabrikalar ihracat yapmak için deniz yolunu tercih ederse limanda ihracat oranı artış gösterir. Liman yönetimi Ro-Ro yüklerini elleçleyebilmek için kendi bünyesinde ya da taşeron ile anlaşmalı personel bulundurmalıdır. Personel sayısı araç, yük çeşidi ve performans hedefine farklılık gösterebilir. Kapı giriş talebinin müşterilerden limana iletilmesi sonrasında hangi araç tanımlama numarasının (VIN) diğer bir deyişle şasi numaralarının limana giriş yapacağı ve bunları hangi tır plakaları getireceği limana bildirilir ve kapı giriş talepleri aktif hale gelir. Yoğun bir Ro-Ro akışının olduğu limanlarda ise sevkiyat, gemi, hasar kontrol, trafik, puantör, yük sabitleme ekipleri bulunmaktadır.

Sevkiyat ekibi kapı girişlerden sorumludur ve planlama ile irtibat halinde olup geminin hangi rıhtıma yanaşacağına göre araçları uygun sahalara belli kriterlere göre park etmek ile görevlidirler. Otomobil taşıyan tırların maksimum 7 veya 8 adet taşınması ve liman sahasında gösterilen alana tır şoförünün indirmesinin ardından sevkiyat ekipleri araçları belirlenen sahalara taşır ve yanaştırıcı eşliğinde park eder. Hasar kontrol

ekipleri araçların hasar tespitinden sorumludurlar ve hasarlı giriş yapan araçları müşteriye veya acenteye bildirmekle yükümlüdürler. Hasar bildiriminin ardından araç onarım görecektir ise kapı çıkış yapar ve onarılıp gemiye yetiştirilir. Hasar kontrol ekiplerinin kaçırdığı ya da liman içi taşımada oluşan hasarlar liman kaynaklı olarak değerlendirilir ve maliyeti limana rücu edilir. Bu yüzden hasar kontrol ekiplerinin limandan kaynaklı olmayan hasarları kaçırmaması önem arz eder. Puantör ekibi de kapı giriş yapan her aracı barkod üzerinden okutup TOS'a kaydını tamamlar. Acente gemiyi ihracat yükleri tamamlanmadan rıhtıma yanaştırmak isteyebilir. Tahliye adedinin fazla olmasından kaynaklı ihracat yükleri de tahliye işlemleri devam ederken kapı giriş yapabilir. Gemide tahliye olacak ise özet beyanın ve tahliye listelerinin acente tarafından limana gönderilmesi gerekir. Liman planlamacısı özet beyanda ve tahliye listelerinde bulunan VIN, konşimento, firma, tahliye edilecek saha, rejim, transit ise tahliye limanı, özet beyan numarası ve tarihi vb. bilgileri TOS'a kaydeder. Müşterilerden gelen Türk Standardları Enstitüsü (TSE) talepleri de araçların sahada ayrımı yapılacak şekilde TOS'a işlenir. Farklı TOS uygulamalarında değişiklik gösterse de VIN'a göre marka ve model tanımlaması sistemsal yapılmalıdır. Genellikle on yedi haneden oluşan VIN'ın ilk baştaki üç hanesi markayı geri kalan kısımları da modeli temsil etmektedir. TOS'a yüklenen şasi numaraları tanımlamaları yapılmışsa otomatik olarak marka ve model isimleri sistemde gözükmemektedir. Aksi takdirde her araç için marka ve model yazılması gerekmektedir. Transit rejimli tahliye operasyonlarında araçların yüklenecekleri gemi, ülke ve tahliye limanı (POD) bilgileri sisteme girilmelidir. Bu bilgiler doğrultusunda araçlar grup halinde sahalara istiflenir. Gemiye yükleme yapılacak ise acenteden yükleme listesi alınır ve araçların ülke, POD, VIN, iş makineleri ve aksesuarlar için tonaj, vb. bilgiler listeden TOS'a uyarlanıp sisteme yüklenir. Tahliye ve yükleme listelerinin oluşmasıyla beraber iş akış planı hazırlanır ve operasyon ekibi ile paylaşılır. Geminin yanaşmasından önce acenteye diğer liman uğraklarını ve gemi rotasını ayarlayabilmek için yanaşma durumları ile alakalı bilgilendirme yapılır. Rıhtım bilgisi, tahmini yanaşma ve operasyon süreleri acenteye iletilir. Acentenin talebine istinaden gemilerde kumanya, yakıt ikmali ya da personel değişikliği olabilir ve bunlar da operasyonu kısa süren gemilerde geminin limanda kalış zamanını uzatabilir.

Tahliye, yükleme listeleri, ve geminin yanaşma saati netleştiği zaman Ro-Ro operasyonlarından sorumlu personel gemide hangi ekipten kaç kişi çalışacak ise bu

personellerin planını yapar. Geminin yanaşmasına müteakip iş akış planı çalışacak personellere aktarılır ve farkındalık yaratılmış olur. Geminin rampa, kat ve liman sahasının hemzemin geçitlerine trafikçiler yerleştirilir. Trafikçi personeller gemi operasyonunda kaza oluşmaması adına araçları dur ve geç gibi komutlarla yönlendirir. Sözleşmeye bağlı olarak liman yük sabitleme ekipleri bağlama ve çözme işlemleri yapacak ise gemideki araçları büyük bir hassasiyetle çözmeye başlar. Çözülen araçlara şoförler binerek geminin katlarından araçları belirlenen sahalara götürmeye başlarlar. Genellikle geminin rampasında konumlandırılan puantör araçların camında bulunan barkod yardımıyla el terminalinden okutur ve sistemsel limana giriş kaydı oluşmuş olur. Liman süreçlerinde farklılık gösterse de şoförlerin de kaydı yapılabilir. Bu sayede hangi şoförün kaç adet araç taşıdığı görürülür ve performans göstergelerinde raporlanabilir. VIN ve şoför de eşleştirilince kaza vb. olaylarda aracı hangi şoförün taşıdığı kontrol edilebilir. Puantör ün el terminali ile okutmasının ardından ekranında aracın TSE ya da grupaj talebi bulunması halinde uyarı gözükür ve aracı önceden belirlenen alana yönlendirir. Taşınan araçlar yanaştırıcı personeller tarafından el işaretleri kullanılarak sahalara istiflenir. Şoförler gemi ile saha arası uzak mesafe olduğundan gemiden tekrar araç arabilmek için bir servis aracına ihtiyaç duymaktadır. Servis araçlarının tahliye sürecinde şoförleri sahadan alıp tekrar gemiye bırakması gerekir. Araçların gemiden sahaya bırakılması ve şoförlerin gemiden tekrar araç almaya hazır hale gelmesi bir çevrim süresi olarak nitelendirilir. Yüklenecek araçların geminin hangi katına yükleneceğini geminin hat planlamacısı belirler ve kargo planını limana gönderir. Geminin katının boş olması, POD bilgilerinin eşleşmesi ve diğer yüklemelere engel olmaması koşuluyla tahliye operasyonu bitmeden de yükleme yapılabilir. Geminin operasyonunda değişikliğe gidilip performans düşeceğinden bu durum liman sahası müsaitse tahliye bitirilip sonrasında yükleme yapılacak şekilde tercih edilir. Geminin rampasının dar olması ve servis araçlarının da bu rampayı kullanması dolayısıyla kaza riski artacağından tahliye ve yükleme operasyonlarının aynı anda yapılması tercih edilmemektedir. Beyannameleri tamamlanan ve sisteme girilen ihracat yükleri kargo planına göre gemiye yüklemesi başlatılır. Tahliyenin tam ters süreci olan yüklemede araçlar sahadan şoförler ile gemiye taşınır ve gemide yanaştırıcı yardımıyla istiflenir. Gemi istifi liman sahasına göre daha dar yapılacağından şoför ve yanaştırıcının daha dikkatli olması gerekmektedir. Ülkelerin direksiyon yönü değişiklik gösterdiğinden istife gemide sağdan veya soldan başlamak önem arz eder. Tahliye olacağı sırada şoför koltuğu tarafındaki kapının rahatlıkla

açılması gereklidir. Aksi takdirde istiflemeye ve tahliye olacağı limanda sorunlar yaşanacaktır. Araçların POD'leri ve kargo planına göre yüklemesini ardından yük sabitleme ekipleri araçları gemi katlarındaki delikler yardımıyla bağlama işlemlerini yaparlar.

Sıfır araçların operasyonları diğer araç türlerine göre hızlı gerçekleşir. Gemiden tahliye olacak veya yüklenecek kamyon, treyler, mafi, proje yük, iş makinesi ve aksamların operasyonları ise uzun sürmektedir. Gemi operasyon ekibinde iş makinesi vb. yükleri elleçleyebilmek bu araç gruplarını sürebilen ve ehliyeti bulunan personellerin de bulunması gerekir. Sürülerek operasyonu gerçekleştirilemeyen aksam ve proje yükler için ise gemide tonajına uygun forklift kullanılır. Operasyonu uzun süren yükler, geminin operasyon süresini daha da uzatmaması için geminin en yakınındaki sahaya alınması gerekmektedir. Operasyon süresi içerisinde zorunlu olarak yemek ve dinlenme molaları verilmektedir. Dinlenme ihtiyacı olan şoför çalıştırıldığı vakit kaza oranının da artması kaçınılmazdır. Ekip liderlerinin operasyon takibi yapmasının yanı sıra sorumlu olduğu personellerin de araç kullanmaya elverişli olduğunu takip etmesi gerekmektedir. Gemi operasyonun, yük sabitleme işlemlerinin bitmesi ve acenteye haber verilmesinin ardından gemi kalkışa hazır hale gelir.

Firmaların grupaj istekleri doğrultusunda sahada ayrılan ithal yükler ambar onayı, kapı çıkış kağıdının verilmesi ve ödeme onayının ardından limandan çıkış yapmaya hazır hale gelir. Limana firma ya da taşıyıcısı tarafından hangi şasi numaralı araçların çıkış yapacağı ve bu araçları hangi tır plakalarının taşıyacağı bildirilir. Bu talepler TOS bağlantılı internet sitesi üzerinden kurgulanarak müşteriler tarafından işlemler rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Talep açılması ve onaylarının verilmesinin ardından limana araç almak için tırlar giriş yapabilir. İhracat yükü getiren araç plakasının çıkış talebine tanımlı olması koşuluyla ithalat yükü de alabilir. Bu durum diğer yük gruplarında olduğu gibi, araç trafiğinin azalması ve operasyonlarının akıcılığı için nakliyeciler tarafından daha çok tercih edilmelidir.

3. OPTİMİZASYON MODELLERİ

Amaçlara uygun olarak en uygun çözümün elde edilebilmesi için çeşitli hesaplama teknikleri vardır. Bunlara yöneylem araştırması yöntemleri (teknikleri) veya optimizasyon (eniyleme) yöntemleri adı verilir.

3.1 Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, doğrusal ilişkilere sahip değişkenlerin sınırlı kaynaklar altında eniyilenmesi için bir amaç belirleme yöntemidir. Bankacılık, eğitim, petrol endüstrisi, taşımacılık, ziraat ve ormancılık gibi çeşitli alanlarda optimizasyon problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılmaktadır. (Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2016) Doğrusal programlama, insanoğluna genel hedefleri belirleme ve büyük karmaşıklıkta pratik durumlarla karşı karşıya kaldığında hedeflerine "en iyi" şekilde ulaşmak için alınacak ayrıntılı kararların yolunu çizme yeteneğini veren büyük bir devrimsel gelişmenin parçası olarak görülebilir. Bunu yapmak, gerçek dünya problemlerini ayrıntılı matematiksel terimlerle (modeller), modelleri çözüme teknikleriyle (algoritmalar) ve algoritmaların adımlarını yürütmek için motorlarla formüle etmenin yollarıdır (Dantzig, 2002).

3.2 Hedef Programlama

Hedef Programlama (GP), çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Geleneksel olarak doğrusal programlamanın, her bir amaç için hedef değerlerine ulaşılmaya çalışılması yoluyla ifade edilen birden fazla hedefi içerecek şekilde bir uzantısı olarak görülür. İlişkiyi görmenin başka bir yolu da doğrusal programlamanın, tek amaçlı hedef programlamanın özel bir durumu olarak kabul edilebilmesidir. Tüm bu düşünceler, hedef programlamayı çoklu amaç programlama paradigması içerisine yerleştirir (Jones ve Tamiz, 2002). Çeşitli hedefleri dikkate alma yeteneği, yönetsel karar problemlerinin çözümünde çekicidir. Yöneticiler, özellikle stratejik değerlendirmeler gerektiren hedeflerin belirlenmesi sürecine uzun süredir dahil olmuşlardır. Yöneticiler

aynı zamanda tüm hedeflere aynı anda ulaşamayacağı için gerçekleştirilmesi mümkün olmayan planlar yapma konusunda da beceriklidirler. Hedef programlama süreci, karar vericilerin hedefleri tanımlamasını, bu hedefler için hedef düzeylerini belirlemesini ve bu hedeflenen hedeflerin önemini belirlemesini içerir (Lee ve Olson, 1999).

3.3 Doğrusal Olmayan Programlama

Önceki bölümlerde tanıtılanlar da dahil olmak üzere çok sayıda matematiksel programlama uygulaması doğal olarak doğrusal programlar olarak oluşturulur. Doğrusal programlama varsayımları veya yaklaşımları, dikkate alınan karar değişkenleri aralığı boyunca uygun problem temsillerine de yol açabilir. Ancak diğer zamanlarda, doğrusal olmayan amaç fonksiyonları veya doğrusal olmayan kısıtlamalar biçimindeki doğrusal olmayan durumlar, bir uygulamanın bir matematik programı olarak düzgün bir şekilde temsil edilmesi için çok önemlidir. Portföy seçimi, su kaynakları planlaması, kısıtlı regresyon vb. problemler doğrusal olmayan programlamanın kullanım alanlarına örnektir. (Bradley ve diğ., 1977).

3.4 Dinamik Programlama

Dinamik Programlama, çizelgeleme, paketleme, en kısa yol, stok yönetimi gibi değişik optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Temel olarak problemi alt problemlere ayırır ve her problemin çözümünü birleştirerek asıl probleme çözüm bulur. Dinamik programlama, n değişkenli bir problemin optimum çözümünü n aşamaya ayrıştırarak bulur. Her aşamada tek değişkenli bir alt problemi çözerek bulur. Hesaplamalar tekrarlanarak yapılır ve bir alt problemin çözümü bir sonraki alt problemin girdisidir. Son alt problem çözüldüğünde, problemin tamamının optimum çözümü bulunmuş olur (On Dokuz Mayıs Üniversitesi, 2019).

3.5 Tam Sayılı Programlama

Tam sayılı Programlama, karar değişkenlerinin kesikli olarak tanımlı olduğu problemleri çözmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu tür problemler, gerçek dünya uygulamalarında sıkça karşılaşılan durumları modellemek ve çözmek için gereklidir. Doğrusal programlama çözümleri genellikle kesirli sayılar üretirken,

birçok uygulama tamsayı sonuçlar gerektirir. Örneğin, üretim miktarları gibi kesirli olmayan değerler için tam sayılı programlama kullanılır (Patır, 2009).

Tamsayı programlama, eşitlik, eşitsizlik ve tamsayı kısıtlamalarına tabi bir fonksiyonun minimuma indirilmesi veya maksimuma çıkarılmasıdır. Tamsayı kısıtlamaları, optimizasyon problemindeki değişkenlerin bir kısmını veya tamamını yalnızca tam sayı değerleri alacak şekilde kısıtlar. Bu, ayrı miktarları evet veya hayır kararlarını içeren problemlerin doğru şekilde modellenmesine olanak sağlar. Değişkenlerin yalnızca bazılarında tamsayı kısıtlamaları olduğunda, soruna karma tam sayılı program (MIP) adı verilir. Örnek tamsayı programlama problemleri arasında finasta portföy optimizasyonu, enerji üretiminde üretim birimlerinin optimum dağıtımı (birim taahhüdü), mühendislikte tasarım optimizasyonu ve ulaşım ve tedarik zinciri uygulamalarında planlama ve yönlendirme yer alır (Url-1, 2024).

Karar değişkenlerinin (ölçülebilir) kesirli olmayan veya ayrık değerler alması gereken herhangi bir karar problemi (maksimumlaştırma veya küçültme hedefi olan), bir tamsayı optimizasyon problemi olarak sınıflandırılabilir. Genel olarak bir tamsayı problemi kısıtlanmış veya kısıtlanmamış olabilir ve amacı ve kısıtlamaları temsil eden fonksiyonlar doğrusal veya doğrusal olmayabilir. Dar anlamda, her tamsayı problemi, fonksiyonları yalnızca değişkenlerin ayrık değerlerinde tanımlandığından, doğrusal olmayan olarak kabul edilmelidir. Ancak tam sayılı problemlere çözüm yöntemleri geliştirmek açısından daha anlamlı bir sınıflandırma oluşturabilmek adına bu teknik detay gözden kaçırılabilir. Yani, değişkenler üzerindeki tamsayı kısıtlaması gevşetildiğinde ortaya çıkan fonksiyonlar kesinlikle doğrusal ise, bir tamsayı problemi doğrusal olarak sınıflandırılır. Aksi takdirde problem doğrusal değildir. Daha sonra bu sınıflandırmanın tamsayı problemine yönelik çözüm yöntemlerinin geliştirilmesinde önemli bir temel oluşturduğu gösterilecektir (Taha, 2014).

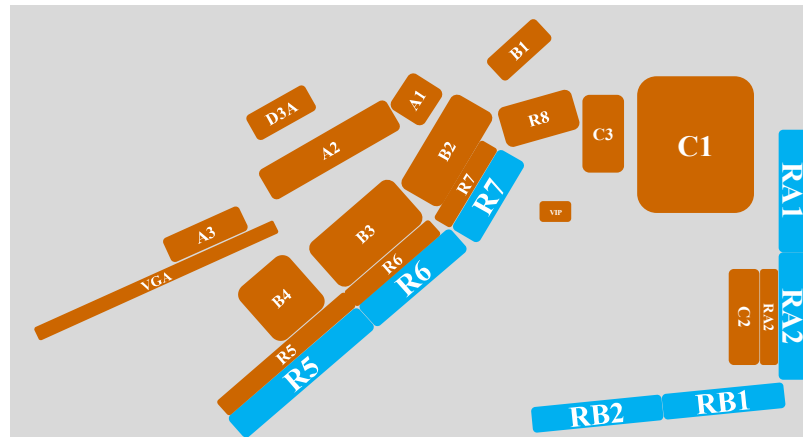


4. UYGULAMA

Kocaeli bölgesinde konteyner, genel yük, Ro-Ro, sıvı yük gibi kargo çeşitlerini tek liman özelinde elleçleyebilen ve yatırımlarına bu çeşitliliği sürdürerek devam eden özel bir limandan Ro-Ro operasyonları için verimlilik artırma çalışmaları yapılmak istenmektedir. Bu sebeple gemi operasyonlarını ve liman özelliklerini içeren veriler toplanmıştır.

4.1 Verilerin Toplanması

Deniz liman işletmesinin incelenmesi sonucunda limanda Ro-Ro gemi operasyonlarının yapılabilmesi için 7 rıhtım bölgesi ve araçların istiflenebilmesi için 18 saha bulunmaktadır. Şekil 4.1’de rıhtım ve sahalara ait kroki görülmektedir. İşletmenin Ro-Ro, konteyner ve genel yük gibi farklı yük tiplerini taşıyan gemileri elleçlemesi sebebi ile geminin hangi rıhtıma yanaştırılacağı önem arz etmektedir. Tüm yük tiplerini taşıyan gemiler liman içerisindeki rıhtımları ortak kullanmaktadır. Gemiler mevcut durumda yüklerin alınacağı sahaya yakınlık ve boş-dolu rıhtım durumuna göre planlama ekibi tarafından verilen karara göre en uygun rıhtıma yanaştırılmaktadır.



Şekil 4.1 : Rıhtımlar ve Ro-Ro sahaları.

Mevcut sistemde RB1 ve RB2 rıhtımları genellikle konteyner; RA1, RA2 ve R6 rıhtımları Ro-Ro; R5 ve R7 rıhtımları ise genel yük ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Ancak gemilerin varış saatlerinin çakışması ve rıhtım yoğunluğu oluşması durumunda farklı rıhtımlar farklı yük tipleri için de değerlendirilmektedir. Yapılan bu değerlendirmelerin matematiksel bir dayanağı olmayıp planlama ekibinin tecrübeye binaen verdikleri kararlar ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada limanda bulunan rıhtım ve sahaların en optimum şekilde değerlendirilebilmesi için matematiksel veriler toplanmıştır. Yapılması planlanan optimizasyon çalışması bir ulaştırma problemi olarak ele alındığında öncelikle ilgili alanların birbirine olan uzaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Çizelge 4.1’de rıhtım ve Ro-Ro sahalarının birbirlerine uzaklıkları belirtilmiştir.

Çizelge 4. 1 : Uzaklık matrisi.

Saha/Rıhtım (m)	RA2	RA1	R7	R6	R5	RB1	RB2
C1	400	180	550	700	960	630	840
C2	65	320	840	990	1.250	255	465
C3	565	555	345	495	755	695	685
VIP	560	520	735	885	1.145	415	710
RA2	80	470	965	1.115	1.375	115	410
B4	1.460	1.450	725	460	195	1.600	1.605
B3	1.310	1.300	325	175	205	1.355	1.355
B2	1.000	990	230	190	455	1.100	1.110
B1	895	885	165	315	575	1.035	1.030
A3	1.600	1.590	580	730	375	1.705	1.710
A2	1.350	1.340	600	450	685	1.475	1.480
A1	1.220	1.210	480	320	560	1.330	1.345
R8	820	810	135	300	565	945	945
R7	970	960	80	245	505	1.080	1.085
R6	1.190	1.180	290	115	145	1.320	1.315
R5	1.520	1.510	520	375	570	1.635	1.640
VGA	1.570	1.560	920	740	475	1.790	1.805
D3A	1.700	1.690	860	680	500	1.810	1.820

Sıfır araç lojistik süreçlerini sürdüren Ro-Ro limanlarında otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, treyler, iş makinesi ve aksam gibi yük tipleri bulunmaktadır. Bu yük tipleri liman hız kurallarına istinaden rıhtımlardan sahalara, sahalardan rıhtımlara ve sahalardan sahalara liman sürücüleri tarafından istiflenmektedir. Yüklerin liman içindeki hızları ve rıhtım-saha uzaklıklarına göre kaç saniyede ilgili alana ulaştıklarına dair veriler toplanmıştır.

Çizelge 4.2’de liman içi hız sınırı 30 km/sa olan otomobil grubu araçların süreleri yer almaktadır.

Çizelge 4. 2 : Otomobil grubu yüklerin süre matrisi.

Saha/Rıhtım (sn)	RA2	RA1	R7	R6	R5	RB1	RB2
C1	48	22	66	84	115	76	101
C2	8	38	101	119	150	31	56
C3	68	67	41	59	91	83	82
VIP	67	62	88	106	137	50	85
RA2	10	56	116	134	165	14	49
B4	175	174	87	55	23	192	193
B3	157	156	39	21	25	163	163
B2	120	119	28	23	55	132	133
B1	107	106	20	38	69	124	124
A3	192	191	70	88	45	205	205
A2	162	161	72	54	82	177	178
A1	146	145	58	38	67	160	161
R8	98	97	16	36	68	113	113
R7	116	115	10	29	61	130	130
R6	143	142	35	14	17	158	158
R5	182	181	62	45	68	196	197
VGA	188	187	110	89	57	215	217
D3A	204	203	103	82	60	217	218

Çizelge 4.3’de liman içi hız sınırı 20 km/sa olan minibüs, otobüs, kamyonet grubu araçların süreleri yer almaktadır.

Çizelge 4. 3 : Minibüs, otobüs, kamyonet grubu yüklerin süre matrisi.

Saha/Rıhtım (sn)	RA2	RA1	R7	R6	R5	RB1	RB2
C1	72	32	99	126	173	113	151
C2	12	58	151	178	225	46	84
C3	102	100	62	89	136	125	123
VIP	101	94	132	159	206	75	128
RA2	14	85	174	201	248	21	74
B4	263	261	131	83	35	288	289
B3	236	234	59	32	37	244	244
B2	180	178	41	34	82	198	200
B1	161	159	30	57	104	186	185
A3	288	286	104	131	68	307	308
A2	243	241	108	81	123	266	266
A1	220	218	86	58	101	239	242
R8	148	146	24	54	102	170	170
R7	175	173	14	44	91	194	195
R6	214	212	52	21	26	238	237
R5	274	272	94	68	103	294	295
VGA	283	281	166	133	86	322	325
D3A	306	304	155	122	90	326	328

Çizelge 4.4’de liman içi hız sınırı 10 km/sa olan kamyon, treyler grubu araçların süreleri yer almaktadır.

Çizelge 4. 4 : Kamyon, treyler grubu yüklerin süre matrisi.

Saha/Rıhtım (sn)	RA2	RA1	R7	R6	R5	RB1	RB2
C1	144	65	198	252	346	227	302
C2	23	115	302	356	450	92	167
C3	203	200	124	178	272	250	247
VIP	202	187	265	319	412	149	256
RA2	29	169	347	401	495	41	148
B4	526	522	261	166	70	576	578
B3	472	468	117	63	74	488	488
B2	360	356	83	68	164	396	400
B1	322	319	59	113	207	373	371
A3	576	572	209	263	135	614	616
A2	486	482	216	162	247	531	533
A1	439	436	173	115	202	479	484
R8	295	292	49	108	203	340	340
R7	349	346	29	88	182	389	391
R6	428	425	104	41	52	475	473
R5	547	544	187	135	205	589	590
VGA	565	562	331	266	171	644	650
D3A	612	608	310	245	180	652	655

Çizelge 4.5’de liman içi hız sınırı 5 km/sa olan iş makinesi, aksam grubu araçların süreleri yer almaktadır.

Çizelge 4. 5 : İş makinesi, aksam grubu yüklerin süre matrisi.

Saha/Rıhtım (sn)	RA2	RA1	R7	R6	R5	RB1	RB2
C1	288	130	396	504	691	454	605
C2	47	230	605	713	900	184	335
C3	407	400	248	356	544	500	493
VIP	403	374	529	637	824	299	511
RA2	58	338	695	803	990	83	295
B4	1.051	1.044	522	331	140	1.152	1.156
B3	943	936	234	126	148	976	976
B2	720	713	166	137	328	792	799
B1	644	637	119	227	414	745	742
A3	1.152	1.145	418	526	270	1.228	1.231
A2	972	965	432	324	493	1.062	1.066
A1	878	871	346	230	403	958	968
R8	590	583	97	216	407	680	680
R7	698	691	58	176	364	778	781
R6	857	850	209	83	104	950	947
R5	1.094	1.087	374	270	410	1.177	1.181
VGA	1.130	1.123	662	533	342	1.289	1.300
D3A	1.224	1.217	619	490	360	1.303	1.310

Ro-Ro gemi operasyonlarında tahliye ve yükleme operasyonları için araçların POD, marka, model ve müşteri isteklerine göre sahada ayrı istiflenmeleri gerekmektedir. Rıhtım ve sahalar arası uzaklık ve araç cinsine göre operasyon süresi dışında Ro-Ro operasyonlarında grupaj kısıtı da önemlidir. Oluşturulacak matematiksel modele bir kısıt olarak dahil edilebilmesi için gruplandırılmış örnek bir tahliye-yükleme verisi Çizelge 4.6’da belirtilmiştir. Bu veriler limandaki yüksek hacimli bir Ro-Ro gemi operasyonundan alınmıştır. Model sonuçları bu verilerin matematiksel modelde girdi olarak kullanılmasıyla elde edilecektir.

Çizelge 4.6 : Tahliye ve yükleme grupları.

Gruplar	Adet
Tahliye Otomobil Grup 1	500
Tahliye Otomobil Grup 2	19
Tahliye Otomobil Grup 3	1138
Tahliye Otomobil Grup 4	189
Tahliye Minibüs-Otobüs-Kamyonet Grup 1	68
Tahliye Minibüs-Otobüs-Kamyonet Grup 2	142
Tahliye Minibüs-Otobüs-Kamyonet Grup 3	5
Tahliye Kamyon-Treyler Grup 1	2
Tahliye Kamyon-Treyler Grup 2	15
Tahliye İş Makinesi Grup 1	10
Tahliye Aksam Grup 1	7
Yükleme Otomobil Grup 1	1200
Yükleme Otomobil Grup 2	120
Yükleme Minibüs-Otobüs-Kamyonet Grup 1	22
Yükleme Kamyon-Treyler Grup 1	9
Yükleme İş Makinesi Grup 1	5
Yükleme Aksam Grup 1	10

Gemiden sahaya ve kapıdan sahaya alınacak araçların saha atamalarının yapılması gerekmektedir. Alınacak araçların sahalar istiflenmesinde kapasite kısıtı bulunmaktadır. Limandaki 18 adet Ro-Ro sahasının kapasiteleri incelenmiş olup Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Limandaki sahaların dolulukları anlık değişmektedir ve kapasite değerleri belli bir zaman diliminden örneklem alınmıştır. Kapasite değerleri sahalarda bulunan otomobil boyutundaki boş istif sayısını belirtmektedir.

Çizelge 4.7 : Sahaların boş istif sayısı.

Saha	Adet
C1	1.146
C2	712
C3	652
VIP	220
RA2	384
B4	730
B3	200
B2	100
B1	232
A3	816
A2	1.218
A1	361
R8	132
R7	10
R6	4
R5	15
VGA	200
D3A	688

Araçlar sahaya istiflendikten sonra sahada belli bir alan kaplar. Ro-Ro gemilerinde çoğunlukla otomobil grubu elleçlenmektedir ve saha çizimleri ve planlamaları otomobile göre yapılmaktadır. Otomobil ve otomobil harici yüklerin boyutlarına göre sahada kapladığı alan Çizelge 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 : Yük tiplerinin sahada kapladığı alan

Yük Tipi	İstif Sayısı
Otomobil	1
Minibüs-Otobüs-Kamyonet	2
Kamyon-Treyler	4
İş Makinesi	4
Aksam	1

Çalışmanın yapıldığı liman işletmesinde, müşteri taleplerine göre araçlara liman sahasında yıkama hizmeti verilmektedir. Bu hizmet araçların gemiye yüklenirken, gemiden tahliye olurken, kapı giriş ya da çıkışları sırasında talep edilebilir. Yıkama operasyonu gemi operasyon süresini arttırmaktadır. Her bir otomobil için ortalama

yirmi saniyelik bir yıkama prosedürü uygulanmaktadır. Modeli çalıştırmak için kullanılacak örnek gemi verisinde beş yüz adet yıkama talebi bulunmaktadır.

4.2 Modelleme

Ulaştırma problemlerinde genellikle doğrusal programlama modelleri tercih edilmektedir. Ro-Ro operasyonunu bir taşıma problemi olarak ele alındığında kurulacak modelde gidilen yol ve harcanan süre minimize edilmek istenmektedir. Her bir geminin tek bir rıhtıma ya da rıhtım uzunluğu fazla ise rıhtımın bölünmüş bir parçasına yanaştırılması gerekmektedir. Geminin yanaşacağı rıhtım gemi pilot bölgesine gelmeden belirlenmelidir. Gemi birden fazla rıhtıma yanaşamayacağı için tek bir rıhtım bölgesi seçilmelidir. Bu kısıt modelin tam sayılı modelleme kullanılarak kurulması gerektiğini göstermektedir.

Geminin yedi adet rıhtımdan hangi rıhtıma yanaştırılacağı, operasyon süresini minimize edecek şekilde örnek gemiden alınan tahliye-yüklemedeki yük gruplarının ve adetlerinin hangi sahalarla kaç adet istifleneceği soruları problemin tanımını oluşturmaktadır.

4.2.1 İndisler

Ro-Ro yük grup, saha ve rıhtımların belirtildiği indisler aşağıda belirtilmiştir;

- i : saha sayısı $i = 1, 2, \dots, 18$
- j : rıhtım sayısı $j = 1, 2, \dots, 7$
- k : grup sayısı $k = 1, 2, \dots, 17$

4.2.2 Parametreler

- $X(i)$: saha kapasiteleri
- $grp(k)$: Gemiye yüklenecek ya da tahliye olacak grupların adetleri
- ykm : yıkama olacak otomobil adedi
- $to(i, j)$: otomobillerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
- $tm(i, j)$: minibüs, otobüs, kamyonetlerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
- $tk(i, j)$: kamyon ve treylerlerin rıhtım ve sahalar arası süre matrisi

- $ti(i, j)$: iş makinesi ve aksamlarının rıhtım ve sahalar arası süre matrisi
- $c_{(k)}$: yük gruplarının sahada kapladığı istif sayısı

4.2.3 Karar değişkenleri

- $a_k(i, j)$: j rıhtımından, i sahasına alınacak, k grubu araç sayısı
- $Y(j)$: geminin j rıhtımına yanaştırılması

Karar değişkenlerinin tanımlanmasıyla beraber toplam 2149 adet karar değişkeni bulunmaktadır.

4.2.4 Kısıtlar

Denklem 4.1’de gemilerin yanaşacağı her bir rıhtım ihtimaline karşılık; belirlenen tek bir rıhtımdan sahalar ya da sahalardan belirlenen rıhtıma atama yapma kısıtı gösterilmiştir.

$$\sum_{k=1}^{17} k \sum_{i=1}^{18} a_k(i, j) = \left(\sum_{k=1}^{17} grp_{(k)} \right) \cdot Y(j) \quad \forall j \quad (4.1)$$

Araçların sahalar kapasitelerinden fazla istitflenmemesi için denklem 4.2’de kapasite kısıtı bulunmaktadır.

$$c_{(k)} * \sum_k k \sum_j a_k(i, j) \leq X(i) \quad \forall i \quad (4.2)$$

Denklem 4.3’te yük gruplarının sahalar eksiksiz olarak atanması için kısıt belirtilmiştir.

$$\sum_i i \sum_j a_k(i, j) = grp_{(k)} \quad \forall k \quad (4.3)$$

Gemilerin rıhtıma yanaşmasında yanaşma ya da yanaşmama tam sayılı programlama kısıtı denklem 4.4’te ve yedi adet rıhtımdan sadece bir tanesi seçileceğinden bu kısıt denklem 4.5’ te belirtilmiştir.

$$Y(j) \in \{0, 1\}, \quad \forall j \quad (4.4)$$

$$\sum_j^7 Y(j) = 1 \quad (4.5)$$

Atanacak araçların pozitif veya sıfır olma koşulunu gösteren kısıt denklem 4.6'da belirtilmiştir.

$$a_k(i, j) \geq 0 \quad (4.6)$$

4.2.5 Amaç fonksiyonu

Araçların gemiden sahaya ya da sahadan gemiye en kısa sürede, en az yolu kat ederek istiflenmesi ve gemi operasyon süresinin minimize edilmesinin amaçlandığı fonksiyon denklem 4.7'de belirtilmiştir. Gemi operasyonlarında sürenin artmasına sebep olan yıkama adedi amaç fonksiyonuna eklenmiştir.

$$\begin{aligned} \text{minimize } f & ((\sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * a_1(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * \\ & a_2(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * a_3(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * \\ & a_3(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * a_4(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tm(i, j) * \\ & a_5(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tm(i, j) * a_6(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tm(i, j) * \\ & a_7(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tk(i, j) * a_8(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tk(i, j) * \\ & a_9(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (ti(i, j) * a_{10}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (ti(i, j) * \\ & a_{11}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * a_{12}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (to(i, j) * \\ & a_{13}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tm(i, j) * a_{14}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (tk(i, j) * \\ & a_{15}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (ti(i, j) * a_{16}(i, j)) + \sum_{i=1}^{18} i \sum_{j=1}^7 (ti(i, j) * \\ & a_{17}(i, j))) / 3600 + (\text{ykm} * 30) / 3600 \end{aligned} \quad (4.7)$$



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kurulan tam sayılı programlama modeli Gams programının “MIP” çözücüsü ile çözülmüştür. Modelde R6 rıhtımına “1” değeri atanmış olup geminin R6 rıhtımına yanaşmasına karar verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Otomobil gruplarının dağılımı.

Grup/Saha	C3	B4	B3	B2	B1	A2	A1	R8	R7	R5
Grup 1	46				232	80		132	10	
Grup 2	19									
Grup 3						1138				
Grup 4	176	13								
Grup 12		717	127	100			256			
Grup 13							105			15

Gams programı ile çözülen model sonucunda otomobil grubu araçların saha dağılımı Çizelge 5.1’de belirtilmiştir. Otomobil araçları gemideki yük oranın büyük bir yüzdesini oluşturduğundan doğru atama yapılması önem arz etmektedir. Araç grupları aynı müşterinin yükü olduğundan bir bütün olarak istiflenmesi gerekmektedir. Atamalara bakıldığında en fazla dört veya beş sahaya dağıldığı görülmektedir. Bu sonuç hem kapı çıkışlarda tek bir sahanın yoğunlaşmasını önlemiş hem de araçların fazla dağılmamasını sağlamıştır.

Çizelge 5.2 : Minibüs vb. grupların dağılımı.

Grup/Saha	C3	D3A
Grup 5		68
Grup 6	128	14
Grup 7	5	
Grup 14	20	2

Minibüs, otobüs ve kamyonet tipi yük gruplarının model sonucunda atandığı saha dağılımı Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 : Kamyon vb. grupların dağılımı.

Grup/Saha	C3
Grup 8	2
Grup 9	15
Grup 15	9

Kamyon ve treyler tipi yük gruplarının model sonucunda atandığı saha dağılımı Çizelge 5.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.4 : İş makinesi gruplarının dağılımı

Grup/Saha	B3
Grup 10	10
Grup 16	5

İş makinesi tipi yük gruplarının model sonucunda atandığı saha dağılımı Çizelge 5.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.5 : Aksam gruplarının dağılımı

Grup/Saha	B3	R6
Grup 11	7	
Grup 17	6	4

Aksam tipi yük gruplarının model sonucunda atandığı saha dağılımı Çizelge 5.5’te belirtilmiştir. İş makineleri ve aksamların operasyon süresi diğer araç gruplarına göre daha fazla olduğundan model sonucuna göre gemiye en yakın sahaların atandığı

görülmektedir. Model sonucunda operasyon süresi 54 saat olarak hesaplanmıştır. Geminin yanaşacağı rıhtıma yakın sahalarda kapasitelerin boş olması durumunda operasyon süresinin daha da azalacağı görülmektedir. Aynı veriler ile liman planlamacısının yaptığı saha planına ve geminin RA2 rıhtımına yanaşmasına karar verilmesinin ardından sahalara alınan yükler Çizelge 5.6'da belirtilmiştir. Manuel yapılan saha planlamasında operasyon süresi 62 saat olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda örnek vaka için GAMS ile yapılan çözüm manuel planlamaya göre 13% daha başarılı sonuç vermiştir.

Çizelge 5.6 : Manuel planlama verileri

Grup/Saha	C1	C2	C3	VIP	RA2	B3	B2	B1	A1	R8	R7
Grup 1		500									
Grup 2		19									
Grup 3	1138										
Grup 4		189									
Grup 5				68							
Grup 6						92	50				
Grup 7				5							
Grup 8											2
Grup 9					15						
Grup 10					10						
Grup 11					7						
Grup 12			652					232	184	132	
Grup 13					120						
Grup 14					22						
Grup 15					9						
Grup 16					5						
Grup 17					10						

Karar verme sürecinde liman yetkililerinin kullanabileceği bu çalışma operasyon süresinin en aza indirgenmesine ve karar verme aşamalarının kolaylaştırılmasında yarar sağlamaktadır. Limanların kullandığı TOS ile entegre edildiği takdirde saha kapasiteleri, her geminin tahliye ve yükleme yapacağı adetler, rıhtım doluluk durumları güncel olarak takip edilebilir ve sistem üzerinden model sonuçlarına göre

değerlendirmeler yapılabilir. Çalışmada kullanılan model, liman operasyonlarında kullanılan terminal işletim sistemi ile entegre edilebilecek ve kullanıcılara operasyonları tek bir sistem üzerinden yönetme imkanı sunulabilecektir. Bu değerlendirmeler ile personel planlaması da yapılabilir. Model daha da geliştirildiği takdirde kapı giriş ve çıkış süreçleri, saha içi aktarımlar, yan hizmetler vb. süreçler de modele dahil edilebilir. Gün geçtikçe artan ve dünyadaki her ülkenin bu yarışa girdiği otomobil üretiminde Ro-Ro taşımacılığı gittikçe önem kazanmaktadır ve bu çalışma Ro-Ro limanı olarak değerlendirilen limanlarda uygulanabilir ve geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Alvarez, J. F., Longva, T., Engebretsen, E. S.** (2010). A methodology to assess vessel berthing and speed optimization policies. *Maritime Economics & Logistics*, 12, 327-346.
- Bradley, S. P., Hax, A. C., Magnanti, T. L.** (1977). Applied mathematical programming. Retrieved from <https://web.mit.edu/15.053/www/AMP.htm> (Original work published 1977).
- Brahimi, N., Cheaitou, A., Cariou, P., Feillet, D.** (2021). An exact algorithm for the single liner service design problem with speed optimisation. *International Journal of Production Research*, 59(22), 6809-6832.
- Chen, X., Li, F., Jia, B., Wu, J., Gao, Z., Liu, R.** (2021). Optimizing storage location assignment in an automotive ro-ro terminal. *Transportation Research Part B: Methodological*, 143, 249-281.
- Dantzig, G. B.** (2002). Linear programming. *Operations research*, 50(1), 42-47. doi:10.1287/opre.50.1.42.17798.
- Dragović, B., Kofjač, D., Nikitakos, N., Meštrović, R., Škurić, M., Škraba, A.** (2015). Scenario-based traffic modeling of ro-ro automobile terminal in the port of bar. *Proceedings of 2nd European Conference on Shipping Intermodalism*.
- Fanti, M. P., Iacobellis, G., Ukovich, W., Boschian, V., Georgoulas, G., Stylios, C.** (2015). A Simulation-based Decision Support System for Logistics Management. *Journal of Computational Science*, 10, 86-96.
- Golias, M. M., Saharidis, G. K., Boile, M., Theofanis, S., Ierapetritou, M. G.** (2009). The berth allocation problem: optimizing vessel arrival time. *Maritime Economics & Logistics*, 11, 358-377.
- Jia, B.** (2021). *Sustainable short sea roll-on roll-off shipping through optimization of cargo stowage and operations* (Doctoral dissertation). Retrieved from <https://vbn.aau.dk/da/publications/>
- Jia, B., Tierney, K., Reinhardt, L. B., Pahl, J.** (2022). Optimal dual cycling operations in roll-on roll-off terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 159, 102646.
- Jones, D.F., Tamiz, M.** (2003). Goal Programming in the Period 1990–2000. In: Ehrgott, M., Gandibleux, X. (eds) *Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys. International Series in Operations Research & Management Science* (Vol. 52, pp.129-170). Boston, MA: Springer.

- Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı.** (2016). *Yöneylem Araştırması* [PowerPoint slaytları]. Erişim adresi https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_4ef1e.pdf
- Ku, D. S.** (2009). *CPM approach for the analysis of loading plan in roro terminal* (Doctoral dissertation). Retrieved from <https://www.pknu.ac.kr/eng/47>
- Lee, S. M., Olson, D. L.** (1999). Goal programming. In *Multicriteria Decision Making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory, and Applications* (pp. 203-235). Boston, MA: Springer US.
- Main, A. R., Rodrigues, F., Pacino, D.** (2023). The dynamic Ro-Ro stowage planning problem. *International Conference on Computational Logistics*. Switzerland, Springer Nature Switzerland.
- Morales-Fusco, P., Saurí, S., Spuch, B.** (2010). Quality indicators and capacity calculation for roro terminals. *Transportation Planning and Technology*, 33(8), 695-717.
- Muravev, D., Aksoy, S., Rakhmangulov, A., Aydogdu, Y. V.** (2016). Comparing model development in discrete event simulation on ro-ro terminal example. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 24(3), 283-297.
- On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.** (2019). *Dinamik Programlama* [PowerPoint slaytları] Erişim adresi https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/birol.elevli/133463/YONII_Ders3_DinamikP.pdf
- Øvstebø, B. O., Hvattum, L. M., Fagerholt, K.** (2011). Optimization of stowage plans for roro ships. *Computers & Operations Research*, 38(10), 1425-1434.
- Øvstebø, B. O., Hvattum, L. M., Fagerholt, K.** (2011). Routing and scheduling of roro ships with stowage constraints. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1225-1242.
- Park, S., Hwang, J., Yang, H., Kim, S.** (2021). Simulation modelling for automated guided vehicle introduction to the loading process of ro-ro ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 441.
- Patır, S.** (2010). Tam sayılı programlama ve Malatya Maksan Transformatör işletmesine bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 193-206.
- Taha, H. A.** (2014). Integer programming: theory, applications, and computations. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9780126821505/integer-programming> (Original work published 1975)
- Tang, G. L., Guo, Z. J., Yu, X. H., Song, X. Q., Wang, W. Y., & Zhang, Y. H.** (2015). Simulation and modelling of roll-on/roll-off terminal operation. In *2015 International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering* (pp. 742-745). Atlantis Press.
- Yan-ning, J., Qi, X., Yan-yan, J., & Zhi-hong, J.** (2014). Optimization of ro-ro ship loading for multiple ports based on realistic constraints. *Journal of*

Transportation Systems Engineering and Information Technology, 14(1), 117.

Yıldırım, M. S., Aydın, M. M., & Gökkuş, Ü. (2020). Simulation optimization of the berth allocation in a container terminal with flexible vessel priority management. *Maritime Policy & Management*, 47(6), 833-848.

Zhang, D., Chen, F., Mei, Z. (2023). Optimization on joint scheduling of yard allocation and transfer manpower assignment for automobile ro-ro terminal. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 177, 103256.

Url-1 - <<https://www.mathworks.com/discovery/integer-programming.html>>, erişim tarihi 24.04.2024.



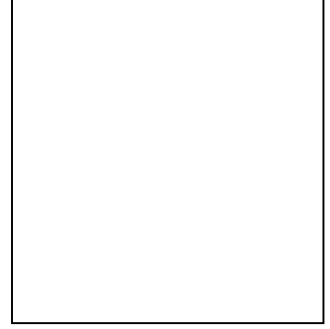


ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berk Mercan

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Temmuz 2018 - Şubat 2022 arası Liman Planlama Uzmanı olarak çalıştı.
- Şubat 2022 – Temmuz 2022 arası Liman Planlama Sorumlusu olarak çalıştı.
- Temmuz 2022 itibari ile Liman Planlama Şefi olarak çalışmaktadır.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Mercan B., Gonidis Çelebi D., Tavacıoğlu L., Kızılsaç B. B.** 2024. Optimization Model in Ro-Ro Vessel Operations. *Global Maritime Congress*, May 20-21, 2024 İstanbul, Türkiye.