



**İSKELE OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA**

**Engin BAŞBÜYÜK**

**Danışman: Prof. Dr. Cafer ÇELİK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**2021**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**İSKELE OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA**  
(Jetty Optimization and An Application)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Engin BAŞBÜYÜK

Danışman: Prof. Dr. Cafer ÇELİK

Erzurum  
Kasım, 2021

**T.C.**  
**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü**

**TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI**

---

**İSKELE OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA**

Prof. Dr. Cafer ÇELİK danışmanlığında, Engin BAŞBÜYÜK tarafından hazırlanan bu çalışma, 04/11/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yöneylem Araştırması Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Mustafa YILMAZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Cafer ÇELİK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Merve Kayacı ÇODUR <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim  
Kurulunun .../.../.... tarih  
ve ..... sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN**

Aslı ıslak imzalıdır

**Enstitü Müdürü**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Graduate School of Natural and  
Applied Sciences

**T.C.**  
**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU**

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Cafer ÇELİK danışmanlığında sunulan “İskele Optimizasyonu ve Bir Uygulama” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	11	30
Kuramsal Temeller	13	30
Materyal ve Yöntem	20	35
Bulgular	2	20
Sonuç ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	12	25

**Not:** Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Engin BAŞBÜYÜK	Prof. Dr. Cafer ÇELİK
4.11.2021	4.11.2021
İmza: ASLI ISLAK İMZALIDIR	İmza: ASLI ISLAK İMZALIDIR

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda katkılarından dolayı tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Cafer ÇELİK'e teőekkürlerimi sunuyorum.

Engin BAŞBÜYÜK



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ İSKELE OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA

Engin BAŞBÜYÜK

Danışman: Prof. Dr. Cafer ÇELİK

**Amaç:** Bu çalışma, bir limana gelen petrol tankerlerinin gemi-iskele programını Yöneylem Araştırması tekniklerini kullanarak optimize etmeyi amaçlamaktadır.

**Yöntem:** Problemin çözümü için limana yanaşan üç yüz adet geminin verisi toplanmıştır. İncelenen problem literatürde dinamik ve ayrık rıhtım tahsis problemi olarak geçmektedir. Rıhtım tahsis probleminin temel amaçlarından biri de gemilerin limanda bekleme süresini en küçükleyecek şekilde gemilerin rıhtıma yanaşma sırasını belirlemektir. Bunun için tam sayılı doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Modelde, rıhtıma yanaştırılacak gemilerin tonaj ve draft kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur. Ek olarak, büyük boyutlu problemlerde en iyi çözüme makul bir sürede yakınsayan bir metasezgisel algoritma geliştirilmiştir.

**Bulgular:** Tam sayılı programlama modeli küçük boyutlu örnek grubunu sorunsuzca çözmüştür. Büyük boyutlu örnek setleri için geliştirilen tavlama benzetimi algoritması, tam sayılı modelin çözümü ile karşılaştırıldığında, algoritmanın aynı sonuçları daha kısa sürede çözdüğü görülmüştür.

**Sonuç:** Küçük boyutlu problemlerde her iki yöntemin de, güçlü ve planlama ufkuna bağlı olarak uygulanabilir olduğu görülmüştür. Büyük boyutlu problemlerde ise tavlama benzetimi algoritmasının uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rıhtım Tahsis Problemi, Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Tavlama Benzetimi Algoritması

**Kasım 2021, 66 sayfa**

## ABSTRACT

### MASTER THESIS

### JETTY OPTIMIZATION AND AN APPLICATION

Engin BAŞBÜYÜK

Supervisor: Prof. Dr. Cafer ÇELİK

**Purpose:** This study aims to optimize the docking program of oil tankers by using operations research methods.

**Method:** Data set is collected from three hundred docking ships in order to solve the problem. Evaluated problem is known in the literature as the dynamic and discrete berth allocation problem. One of the main purposes of berth allocation problem is to determine the docking sequence of ships by minimizing the waiting time of each ship in the dock. In this model, we used integer linear programming. Tonnage and draft constraints of the docking ships were also taken into consideration in the model. In addition, a metaheuristic algorithm, which converges the result to the most plausible solution especially in large scale problems, was developed.

**Findings:** Integer linear programming successfully solved the problem of the small sample group. In addition, simulated annealing algorithm which is developed for larger sample groups provided the same results, however in a shorter timeframe when compared to the integer model.

**Result:** In conclusion, in small-size problems, it has been understood that both methods were strong and applicable depending on the planning horizon. In big-size problems, it has been detected that simulated annealing algorithms were applicable.

**Keywords:** Berth Allocation Problem, Integer Linear Programming, Simulated Annealing Algorithm

November 2021, 66 pages

## İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI .....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ .....	x
GİRİŞ.....	1
Araştırmanın Amacı .....	3
KURAMSAL TEMELLER.....	4
MATERYAL ve METOT .....	13
Rıhtım Tahsis Problemi .....	13
Rıhtım Tahsis Problemi Matematiksel Modeli .....	13
1. Model .....	14
Statik Rıhtım Tahsis Problemi Formülasyonu .....	14
Dinamik Rıhtım Tahsis Problemi Formülasyonu .....	15
2. Model .....	16
Tavlama Benzetimi Algoritması .....	18
Tavlama Benzetimi Algoritmasının Temel Adımları .....	22
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	32
Veriler .....	32
Dinamik ve Ayrık Rıhtım Tahsis Problemi için Geliştirilen Matematiksel Model .....	34
Modelin GAMS Programı İle Çözümü .....	37
Tavlama Benzetimi Algoritması İle Çözüm .....	39
SONUÇ ve ÖNERİLER .....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	54

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Rıhtım Tahsis Problemi İçin Yapılan Metasezgisel alışmalar.....	10
<b>Tablo 2.</b> İzmit Rafinerisi İskele Alanlarının zellikleri .....	27
<b>Tablo 3.</b> Kullanılan Veriler .....	37
<b>Tablo 4.</b> Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi Algoritmasının Karşılaştırılması .....	47



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Eklemlı kollu boşaltım sistemi ile petrolün pompalanması. ....	2
Şekil 2. Literatürdeki İskele Tahsis Problemi çeşitleri.....	4
Şekil 3. TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi liman kısmı .....	13
Şekil 4. Tavlama işlemi .....	19
Şekil 5. Isıl işlem kademeleri .....	20
Şekil 6. Yer değiştirme (swap) metodu .....	24
Şekil 7. Ters çevirme (inversion) metodu .....	24
Şekil 8. Araya ekleme (insertion) metodu.....	24
Şekil 9. Yerleştirme (insert) metodu .....	25
Şekil 10. Gemilerin draft kısımları.....	26
Şekil 11. TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi iskele bilgileri. ....	28
Şekil 12. Marine Traffic ile gemi takibi. ....	29
Şekil 13. Tankerin izlediği rota bilgileri. ....	29
Şekil 14. Geminin son yanaştığı limana ait zaman bilgileri (varış/kalkış).....	30
Şekil 15. Gemiye ait teknik bilgiler. ....	30
Şekil 16. Geminin hız ve draft bilgileri.....	31
Şekil 17. Gelişler arası süreler e ait histogram ve bilgiler.....	32
Şekil 18. İşlem sürelerine ait histogram ve bilgiler.....	33
Şekil 19. Temel parametreleri gösteren iki boyutlu iskele (rıhtım) - zaman grafiği. ....	34
Şekil 20. Dinamik gelişlerle ayrıık RTP’de her bir iskele için gemi sırası. ....	35
Şekil 21. GAMS’de X karar değişkenine ait sonuç ekranı. ....	37
Şekil 22. Amaç fonksiyonu değeri ve çözüme ait istatistikler. ....	38
Şekil 23. GAMS programından alınan sonuçların Excel yardımı ile çizelge gösterimi. ....	39
Şekil 24. Oluşturulan başlangıç çözüümü. ....	40
Şekil 25. Sıfırlar ile ayırma metodu. ....	40
Şekil 26. Başlangıç çözüüm. ....	41
Şekil 27. Oluşturulan komşu çözüüm.....	41
Şekil 28. Başlangıç çözüüm. ....	41
Şekil 29. Oluşturulan yeni komşu çözüüm.....	41
Şekil 30. Tavlama benzetimi algoritmasının akış şeması.....	43
Şekil 31. 100 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi .....	44
Şekil 32. 100 gemi için amaç fonksiyonunun monoton azalan grafiği .....	44
Şekil 33. 200 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi .....	45
Şekil 34. 200 gemi için amaç fonksiyonunun monoton azalan grafiği .....	45

<b>Şekil 35.</b> 300 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi .....	46
<b>Şekil 36.</b> 300 gemi için amaç fonksiyonunun monoton azalan grafiği .....	46



## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

<b>BAP</b>	: Berth Allocation Problem (Rıhtım Tahsis Problemi)
<b>ÇDZPARP</b>	: Çok Depolu Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
<b>DARTP</b>	: Dinamik ve Ayrık Rıhtım Tahsis Problemi
<b>DRTP</b>	: Dinamik Rıhtım Tahsis Problemi
<b>DWT</b>	: Deadweight Tonnage (Ölü Ağırlık Tonajı)
<b>NP</b>	: Non-Deterministic-Polynomial Time (Polinom Zamanda Çözilemeyen)
<b>NP-Zor</b>	: En İyi Çözüm Uygun Zamanlarda Elde Edilemez
<b>RTP</b>	: Rıhtım Tahsis Problemi
<b>SRTP</b>	: Statik Rıhtım Tahsis Problemi
<b>TB</b>	: Tavlama Benzetimi
<b>TSDP</b>	: Tam Sayılı Doğrusal Programlama
<b>TÜPRAŞ</b>	: Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.

## GİRİŞ

Liman; dalgalardan, rüzgârlardan ve gelgitlerden korunan, bir gemiyi güvenli bir şekilde yanaştırabilmek için belirli boyutları sağlayan bir yer olarak tanımlanabilir. Bir limanda, gemilerin yükleme ve boşaltma işlemi için demirlediği rıhtımlar da olmalıdır. Limanlar, kara ve deniz bağlantılarını birleştirdiği için ülkelerin stratejik lojistik tesisleridir. Limanların önemi nedeniyle liman verimliliği de çok önemlidir. Bununla birlikte, liman özellikleri (en-boy, draft ve DWT tonaj sınırı) ve toplanan gemilerin verileri (varış zamanları, işlem süreleri, kargo miktarları, draftları) birkaç faktöre bağlıdır. Bu nedenle demir atacak bir gemi seti verildiğinde, liman işletmecisinin güvenli ve uygun maliyetli bir liman planlaması yapması için mevcut kısıtlara uyarak, gemilerin optimum hizmet sırasını tanımlaması gerekir. Bu problem literatürde Rıhtım Tahsis Problemi (RTP) olarak bilinmektedir.

Günümüzde dünya ticaretinin yaklaşık yüzde 80'i deniz yolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. Deniz yolu taşımacılığının diğer taşıma türlerine göre avantajları daha fazladır. Demiryolu taşımacılığına oranla 3,5 kat, karayolu taşımacılığına oranla 7 kat daha ucuzdur. Diğer bir avantajı ise özellikle sanayi hammaddesini oluşturan büyük miktarlardaki yüklerin tek seferde bir noktadan diğer bir noktaya taşınması imkânını sağlaması olarak belirtilebilir (TÜBİTAK, 2023).

Bu kapsamda, çalışma için Kocaeli ilinin İzmit ilçesinde bulunan Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi'nin (TÜPRAŞ) İzmit Rafinerisindeki liman kısmı incelenecektir.

Deniz yolu taşımacılığı, düşük maliyetli ve güvenli olması nedeniyle uluslararası ham petrol taşımacılığının en yaygın kullanılan yolu olmuştur. Ham petrol, rafineri şirketlerinin işleyişi için gerekli olan ham maddedir. Ham petrolün, tankerden rafinerideki depolama tanklarına aktarımını limanda bulunan rıhtım (iskele) kısmı sağlar. Liman verimliliği, işletme maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir etmendir.

Petrol ve petrol ürünleri dünya ekonomisinde enerji ve güç kaynağı olarak çok önemli bir yer tutmaktadır. Şimdiye kadar petrolün ikame gücüne tam olarak sahip olan başka bir madde bulunamamıştır. Petrolü değişmez bir enerji kaynağı kılan etkenler; kolay taşınabilmesi, hacim oranına göre çok fazla enerji üretmesi ve diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında daha az kirlilik oluşturmasıdır (Hokmabadi *et al.* 2018).

Mineral yağ ve doğal gaz, birlikte petrolü oluştururlar. Petrol sözcüğü, Latince kayaç anlamındaki “petra” ile yağ anlamındaki “oleum” sözcüklerinden oluşur. Petrol genellikle sıvı olan, ancak katı ya da gaz halde de bulunabilen, koyu renkli ve yağsı bir maddedir. Yer altından

doğrudan sıvı halde çıktığında berrak ve uçucu (kolay buharlaşır) özellikteyse bu haline ham petrol denir. Petrol tamamen doğal yollarla, büyük oranda da canlıların ayrılmış kalıntılarında oluşur. Basit ve yapışkan bir kütle gibi görünse de aslında karmaşık bir kimyasallar bileşimidir. Farklı kimyasal grupları rafinerilerde ve petrokimya tesislerinde birbirlerinden ayrılarak çok çeşitli ve farklı maddelerin yapımında kullanılabilir (Farndon, 2015).

Yaklaşık 3500 petrol tankeri dünyanın okyanuslarında gece gündüz seyrederek istenilen yere petrol taşır. Çoğunlukla ham petrol, ancak bazen de rafine edilmiş ürünler taşınır ve bu ürünler özel muamele gerektirir. Örneğin bitümün (asfalt karışımının içindeki sıvı) tankerlere yüklenmesi için 120 °C'nin üzerine ısıtılması gerekir. Tankerlerin taşıdığı petrol miktarı çok yüksektir. Her gün, yaklaşık 30 milyon varil taşınır (bir varil 159 litre alır) bu bütün Amerika Birleşik Devletleri'ndeki günlük petrol tüketiminin 1,5 katı ve Birleşik Krallık'taki günlük petrol tüketiminin 15 katıdır (Farndon, 2015).

Bir tanker, denizlerdeki uzun yolculuğunun ardından bir petrol terminaline varır. Süper tankerler en az 20 m derinliğinde suya gereksinim duyarlar, bu nedenle petrol terminalleri için uygun alanlar sınırlı sayıdadır. Tankerlerin demir attığı iskeleler bazen kıyıdan o kadar uzağa inşa edilir ki liman işçileri ve mürettebat gemiyle kıyı arasında araçla ulaşım sağlarlar. Tankerden petrolün alınması için Şekil 1'de gösterildiği gibi uzun, birleştirilmiş kollar kullanılır. Kolların bilgisayar kontrollü olması, tankerin güvertesinde bulunan ve manifold (dağıtıcı) denen petrol çıkış yerine tam olarak oturmasını sağlar. Geminin bütün petrol tankları, vanalar ve borularla manifolda bağlıdır. Kollar manifolda güvenli bir şekilde bağlandığında, derin kuyu pompası denen bir pompa, petrolü tanklardan dışarı pompalamaya başlar (Farndon, 2015).



**Şekil 1.** Eklemlili kollu boşaltım sistemi ile petrolün pompalanması (Bozkurt, 2021).

## Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, bir petrol şirketinin liman kısmında bulunan sınırlı sayıda iskele alanını, gelen tanker gemilerine tahsis etmek ve iskele kullanımını optimize etmek amaçlanmaktadır.

Bir tankerin, limanda bekleme süresinin en aza indirilmesi liman verimliliğinde çok önemli iyileşmeler sağlayabilir.

TÜPRAŞ, ham petrolün işlenmesinde faaliyet gösteren bir şirkettir. Şirketin İzmit Rafinerisinde, dört adet iskelesi bulunmaktadır. İskelelere farklı büyüklükte beş çeşit ürün taşıyan tanker yanaşabilmektedir. Her tanker kendi tonajına ve draftına uygun olan iskeleyi kullanabilmektedir. Tankerlerin iskele işgal süreleri dikkate alınarak, Gemi-İskele Programı'nın aylık olarak Tam Sayılı Doğrusal Programlama (TSDP) yardımıyla oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada Dinamik ve Ayrık Rıhtım Tahsis Problemi (DARTP) ele alınmaktadır. DARTP, belli bir planlama ufku içinde, iskele ve gemi kısıtlarının göz önüne alınarak gemi sırasının planlanması problemidir. Limanda bekleme süresinin en aza indirilmesi ve limanda faaliyet gösteren gemi sayısının en üst düzeye çıkarılması gibi çeşitli amaçları vardır. Her iskeleye sadece bir adet gemi yanaşabilmektedir (ayrık model) ve gemiler limana en erken ve en geç geliş süresi ile dinamik olarak varmaktadır (dinamik model). Ayrıca iskelelere yanaşan gemilerin draft ve DWT tonaj kısıtları, yanaştırılacak iskelenin DWT ve draft sınırından küçük eşit olmalıdır. Dinamik ve Ayrık İskele Tahsis Problemi literatürde NP-Zor problem türü olarak geçmektedir. Dolayısı ile büyük boyutlu gemi sayısı için optimum çözüm bulmak oldukça zordur. Bu yüzden optimuma yakın çözüm bulabilmek için sezgisel ya da metasezgisel yöntemler geliştirmek gerekir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde TSDP ve metasezgisel yöntemler kullanılarak RTP'ye ait çalışmaların özetleri sunulmaktadır. Ayrıca RTP ve kullanılan çözüm yöntemleri ile ilgili literatür özetleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde, literatürde sıkça kullanılan iki adet matematiksel modele, çözümü hesaplayan metasezgisel yöntemin tanıtımına, incelenen limana ait bilgilere ve verilerin toplandığı web sitesinin incelemesine yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, toplanan verilere ait istatistiksel bilgiler, geliştirilen TSDP modeli ile bu modelin optimum çözümü, problemin metasezgisel bir yöntemle çözümü ve her iki yöntemin karşılaştırmalı sonuçları incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş ve sonraki araştırmalar için önerilere yer verilmiştir.

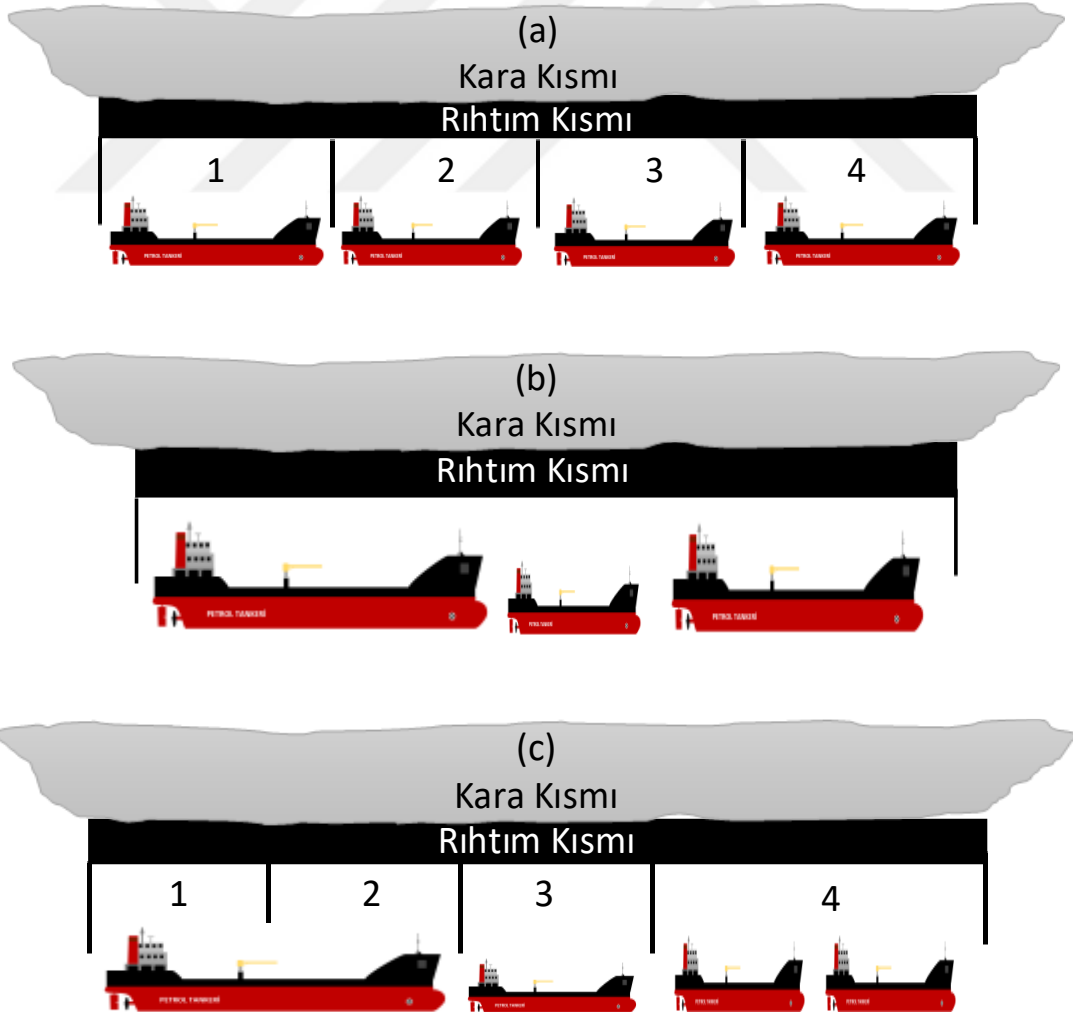
## KURAMSAL TEMELLER

RTP ile ilgili çalışmalar 1990'ların ortalarından beri literatürde yer almaktadır. Aşağıda RTP ile ilgili çalışmalar ve çözüm yöntemleri gösterilmiştir.

RTP mekânsal ve zamansal değişikliklere göre sınıflandırmıştır:

- 1) Ayrık, sürekli ve karma yanaşma alanı,
- 2) Statik ve dinamik gemi varışları,
- 3) Deterministik ve stokastik gemi elleçleme süresi (işlem süresi).

Ayrık modelde rıhtım birkaç bölüme ayrılmıştır. Her bir rıhtımda aynı anda sadece bir gemiye hizmet verilmektedir (Şekil 2a). Sürekli modelde rıhtım bölümlendirilmesi yoktur, yani gemiler istediği yere yanaşabilmektedir (Şekil 2b). Karma modelde ise ayrık modelde olduğu gibi, rıhtım bölümlere ayrılmıştır, ancak büyük gemiler birden fazla rıhtımı işgal edebilir veya küçük gemiler bir rıhtımı paylaşabilir (Şekil 2c).



Şekil 2. Literatürdeki Rıhtım Tahsis Problemi çeşitleri.

Statik varışlarda, tüm gemilerin hizmet almak için zaten limanda hazır olduğu varsayılır. Dinamik gemi varışlarında ise, gemilerin gelecekteki bilinen varış bilgileriyle planlama ufku sırasında herhangi bir zamanda varabildikleri durum incelenir (erken varış – geç varış).

Dinamik Rıhtım Tahsis Problemi (DRTP), Statik Rıhtım Tahsis Problemi (SRTP)'nin aksine rıhtımdaki noktalar gemilere servis vermek için hazır olmadan önce gelebilecek gemileri de içermektedir. Bu, gerçek hayatta olduğu gibi, gemilerin planlama ufku süresince rıhtıma yanaşabilmelerine olanak sağlamaktadır. Bu esneklik probleme dinamiklik katarken, problemi daha da zorlaştıran gereksinimlere yol açmaktadır. Dolayısıyla, problem örnekleri büyüdükçe DRTP'nin çözülmesi de daha zor hale gelmektedir (Narin, 2009).

Mekânsal kısıtlamalar, genellikle gemilerin draft, uzunluk ve genişlik kısıtlamalarını benimseyen iskelenin düzenini içerir.

Imai *et al.* (2001) DRTP konusunu ilk önerenlerdendir. Gemi elleçleme süresinin tayin edilen iskeleye bağı olduğu varsayılmaktadır. Bu model, Imai *et al.* (1997)'deki SRTP için geliştirilen modelin bir uzantısıdır. Bu çalışmada, DRTP'nin karma bir tam sayı programlama formülasyonu ve bu formülasyonun Lagrange gevşemesi sunulmaktadır. İlk olarak, iskele tahsisinin basit versiyonu olan SRTP için formülasyon tartışılmış ve daha sonra DRTP'ye genişletilmiştir. Ek olarak, uygulanabilir bir çözüm üretmek için üç basit prosedür kullanılmıştır. Daha büyük boyutlu problemleri çalıştırmak için çalışma süresi 1500 saniye ile sınırlı tutulmuştur. Örnek boyutları en fazla 50 gemi ve 10 rıhtım içermektedir.

Kim and Moon (2003) ise, RTP için tam sayılı doğrusal programlama modeli üretmişlerdir. Model Lindo paket programı ile optimum olarak çözülmüştür. Fakat Lindo programının, 7 gemi ve 72 saatlik bir planlama ufkundan sonra hesaplama süresi artmaya başlamıştır. Böylece çözüm için, probleme uygun olan Tavlama Benzetimi Algoritması önerilmiştir.

Cordeau *et al.* (2005) çalışmalarında RTP'yi bir Çok Depolu Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ÇDZPARP) olarak modellemektedir. Amaç, toplam gemi hizmet süresini en aza indirmektir. ÇDZPARP yaklaşımı ile gemiler müşteri olarak temsil edilirken, rıhtımlar depo olarak kabul edilmiştir. Daha sonra problem için bir tabu arama meta sezgiseli geliştirilmiş ve gerçek hayattan alınan örnekler üzerinde test edilmiştir.

Monaco and Sammarra (2007) ise Imai *et al.* (2001) ile benzer bir yaklaşım benimsemiştir. Bununla birlikte, problemin yeniden formüle edilmesi nedeniyle daha güçlü bir Lagrange gevşemesi verilmiştir.

Bierwirth and Meisel (2010), RTP'nin modellenmesine destek sağlamak ve uygulanabilir metasezgisel algoritmalar önermek için konu ile ilgili literatürü gözden geçirmişlerdir. Bu amaçla, RTP ve Rıhtım Vinci Çizelgeleme problemleri için yeni bir sınıflandırma şeması geliştirmişlerdir. Geliştirilen sınıflandırmanın, belirli bir problemle karşılaşan araştırmacıların uygun modelleme tekniklerini ve verimli optimizasyon yöntemlerini belirlemelerine yardımcı olması beklenmektedir.

Ganji *et al.* (2010), konteyner limanları için sürekli RTP'ni doğrudan çözmek için kullanılabilir genetik algoritmaya dayalı bir yöntemi açıklamışlardır. Yöntem başlangıçta küçük bir örnek seti (günde en fazla beş gemi için) için LINGO yazılımında dal-sınır yöntemi ile çözülmüştür. Büyük boyutlu örnek seti için (günlük 30 gemi için) ise genetik algoritma kullanılarak optimum çözüme göre % 0,5'ten daha az bir farklılık ile çözülmüştür. Algoritma, MATLAB 2004 programı ile kodlanmıştır. Son olarak amaç fonksiyon değerinin (gemilerin toplam işlem süresinin saat cinsinden değeri) rıhtım uzunluğu ve en iyi yanaşma konumuna olan duyarlılık analizi incelenmiştir.

Golias *et al.* (2010), ayrıklı rıhtım tahsis problemini incelemişlerdir. İskelelere gelen gemileri atamak için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve CPLEX çözücüsü ile optimum sonuca ulaşmıştır.

Oliveira *et al.* (2012) İtalya'nın Gioia Tauro kentinde bulunan bir konteyner terminalinin verilerini kullanarak Dinamik ve Ayrıklı RTP incelemişlerdir. Her birinde 60 gemi ve 13 rıhtım bulunan toplam 30 örnek seti kullanılmıştır. Problemin çözümünde Kümeleme Algoritması ve Tavlama Benzetimi Algoritması metotları bir arada kullanılmıştır. Uygulama C++ programlama dilinde geliştirilmiştir. Her bir test örneği ortalama 12,79 saniyelik bir sürede çözülmüştür. Son olarak, bu metot literatürdeki yeni bulunan yaklaşımlar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu kapsamda gemilerin toplam servis sürelerini en aza indirerek ve rıhtım alanı dağıtımında lojistiğin gelişmesine katkıda bulunarak, gemilerin reddedilmesi nedeni ile limanın zarar görmesi engellenmiştir.

Lin *et al.* (2013) DRTP'nin iki versiyonunu incelemişlerdir, ayrıklı ve sürekli RTP. DRTP'yi çözmek için Tavlama Benzetimi Algoritması kullanılmıştır. Algoritma C dili ile kodlanmıştır. Kullanılan algoritma, Memetik Algoritma ve Kümeleme Algoritması ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç vermiştir (amaç fonksiyon değeri, diğer algoritmalara göre daha düşüktür).

Umang *et al.* (2013) çalışmalarında gemilerin toplam hizmet sürelerini en aza indirmek amacıyla dökme limanlarda (paketlenemeyen ürünlerin gemiler tarafından dökülerek bırakıldığı limanlar) dinamik karma rıhtım tahsisi problemini incelemişlerdir. Karma tam sayı

programlamaya ve geliştirilmiş küme bölümlenmeye dayalı iki kesin yöntem ve gemideki kargo türünü dikkate alan gıcırtilı tekerlek optimizasyonuna dayalı bir sezgisel yöntem önermişlerdir (bu çalışmanın konusu diğer RTP türlerinden daha zordur çünkü karma model durumu incelenmiştir). Tam sayılı model, çözüm süresi 7200 saniye ile sınırlı tutularak CPLEX 12.2 ile çözülmüştür. Kullanılan sezgisel algoritma ise JAVA programlama dilinde kodlanmıştır. Örnekler, Birleşik Arap Emirlikleri'nin Ras Al Khaimah (RAK) kentindeki SAQR limanından alınan küçük bir veri örneğine dayanılarak oluşturulmuştur. SAQR limanı, yılda yaklaşık 30 milyon ton kargo elleçleyen tüm Orta Doğu'daki en büyük dökme emtia limanıdır. Liman, 2002'de 6,6 milyar AED'den (Birleşik Arap Emirlikleri Dirhemi) 2008'de 13,6 milyar AED'ye önemli bir GSYİH (gayri safi yurt içi hasıla) artışı kaydeden RAK emirliğinin ekonomik büyümesinde kilit bir rol oynamaktadır. Limandan alınan veri örneği; gemi uzunlukları, gemilerin bekleme ve fiili varış, yanaşma, işleme ve ayrılış saatleri, beklenen ve fiili yanaşma pozisyonları ve gemilerin kargo tonajı hakkında bilgi verir. Veriler, 28 Mart'tan 6 Nisan 2011'e kadar yaklaşık 10 günlük bir zaman ufkunda 20'den fazla gemi için toplanmıştır. Sonuç olarak, yaşanan tüm gemilerin toplam hizmet maliyetini en aza indirmenin yanı sıra, gerçek toplu liman verilerinden esinlenen sonuçlara göre, önerilen algoritmaların 40 adede kadar gemi içeren problem boyutunu çözmek için başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Adrian and Simatupang (2014), bir petrol şirketinde tankerlerin limana yanaşma ve boşaltma işlemi için uygun olan iskeleye atama modeli önermişlerdir. Model için 8 uygun senaryo Monte Carlo metodu kullanılarak simüle edilmiştir.

Lin *et al.* (2014) toplam hizmet süresini en aza indirmeyi amaçlayan ve bunu çözmek için yinelenen ağgözlü bir algoritma öneren, ayrık ve dinamik rıhtım tahsis problemine odaklanmışlardır. Önerilen algoritma, Windows XP işletim sisteminde C dili kullanılarak geliştirilmiştir. Örnek setleri önce CPLEX ile optimum olarak çözülmüştür. Daha sonra orta ve büyük boyutlu örnek setleri kullanıldığında bellek tükenmesi nedeni ile CPLEX ile bir sonuç bulunamamıştır. Bu örnek setleri ise önerilen algoritma ile çözülmüştür.

Ting *et al.* (2014), gemileri ayrık olarak rıhtım konumlarına atayan ve tüm gemiler için toplam bekleme sürelerini ve elleçleme sürelerini en aza indiren Dinamik ve Ayrık Rıhtım Tahsis Problemini (DARTP) incelemişlerdir. RTP için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuşlardır. RTP, NP-Zor bir problem türü olduğu için, gerçek büyüklükteki örnekleri makul bir süre içinde en iyi şekilde çözemez. Bu nedenle RTP'yi çözmek için bir parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yaklaşımı önerilmiştir. PSO, kuş

sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenen popülasyon tabanlı rastgele bir arama algoritmasıdır.

Kordic *et al.* (2016) Ayrık ve Karma Rıhtım Tahsis Problemini çözmek için kombinatoriyal problemlerin çözümünde kullanılan Sedimantasyon Algoritmasını tercih etmişlerdir. Modeli çözebilmek için, problem algoritmayı temsil edecek şekilde düzenlenmiştir, kodlamada ise C programlama dili kullanılmıştır. Daha sonra 3 tip örnek setini kullanarak çözüme ulaşmışlardır (Gemi sayısı 5 ile 65 arasındadır). Ayrıca modele, geciken her gemi için 1000 \$ ceza parametresi de eklenmiştir. Sonuç olarak, 65 gemi için yarım saat süre sınırı kullanılarak en uygun çözüme sadece 6,65 saniyede ulaşılmıştır.

Rodrigues *et al.* (2016) bir petrol şirketine ait kargo limanında, bir iskelenin belirli yanaştırma kısıtlarını göz önüne alarak SRTP için matematiksel bir model önermişlerdir. Modelin 440 metre iskele uzunluğu ve 147 adet gemi için (24 günlük planlama ufku) CPLEX 12.6 programında optimum çözümleri yapılmıştır. Daha sonra sonuçlar MATLAB programında işlenerek, çizelge görsel hale getirilmiştir.

Kovac (2017) RTP için yapılan metasezgisel çalışmaları problem türü ve çözüm yöntemine göre gruplandırarak bir tablo halinde düzenlenmiştir (Tablo 1). Çalışmasında ayrıca gemi sayısı, rıhtım sayısı ve planlama ufku bilgilerine de yer vermiştir.

Rosa *et al.* (2017), iskelelerin zaman ve yer kısıtları altında RTP'yi incelemişlerdir. Çözüm için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model önce iskele sayısı 4-15 adet ve gemi sayısı 10 iken CPLEX programı ile en uygun şekilde çözülebilmektedir. Daha sonra iskele sayısı 4-7 adet ve gemi sayısı 50-250 arasında iken Kümeleme Algoritması ile çözülmüştür.

Mohammadi and Forghani (2018) çalışmalarında stokastik gemi varışı ve elleçleme süreleri ile sürekli rıhtım tahsis problemini incelemişlerdir. Amaç, bekleme maliyetlerinin, yanaşma maliyetlerinin ve beklenen fazla mesai maliyetlerinin ağırlıklı toplamını en aza indirmektir. Problemi, sekans çifti çözüm uzayında etkili bir şekilde çözmek için, tavlama benzetimi algoritması, iki algoritma ile birleştirilmiştir. Algoritmalarından biri yanaşma konumlarını belirlemek için kullanılırken, diğeri yanaşma zamanlarını belirlemek için kullanılır. Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasının CPLEX çözücüsüne (sürüm 12.7.1) ve genetik algoritmanın (GA) standart bir versiyonuna karşı performansını incelemek için Meisel and Bierwirth (2009) tarafından geliştirilen örnek seti kullanılarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlara göre, CPLEX tarafından en iyi şekilde çözümlenen tüm durumlarda, TB algoritması da optimum çözüme ulaşabilmektedir. Diğere durumlarda, TB'nin çözümü CPLEX çözümünden ya daha iyidir ya da aynıdır. TB ve GA arasındaki karşılaştırma, tüm örnekler için TB'nin GA'dan daha iyi çözümler verdiğini göstermektedir. GA'nın aksine, TB optimalliğe yakınsamak için

daha fazla zaman harcar. Duyarlılık analizi yoluyla incelenen sonuçlar, önerilen stokastik yaklaşımı uygulamanın sistem maliyetlerinde % 21'e varan oranda tasarruf sağlayabileceğini göstermiştir.

Xu *et al.* (2018) limanların seyrüsefer kanallarındaki trafik sınırlamalarını dikkate alan yeni bir rıhtım planlama problemi önermişlerdir. Rıhtımı en iyi şekilde kullanmak ve müşteriler için hizmet kalitesini iyileştirmek amacıyla, seyir kanalındaki tek yönlü gemi trafik kuralları altında RTP'yi formüle etmek için karma tam sayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. İskeledeki iş yükü ağırlaştığında bu modeli çözmek zaman almaktadır. Bundan dolayı problemin çözümü için karma tavlama benzetimi algoritması önerilmiştir. Tam sayılı model, MATLAB ortamında YALMIP kütüphanesi tarafından CPLEX 12.6 ile çözülmüştür. Karma tavlama benzetimi algoritması ise C++ dilinde kodlanmıştır. Deneyler, Çin'in Tianjin şehrindeki en büyük konteyner terminallerinden ikisi olan FICT (Five Continents International Container Terminal) ve TPCT'den (Tianjin Port Pacific International Container Terminal) toplanan gerçek verilerle oluşturulmuştur. FICT'in gerçek durumuna uygun olarak iskelenin uzunluğu 1200 metre olarak belirlenmiştir. Problem boyutunu gerçekçi tutmak ve deneysel sonuçların geçerliliğini korumak için, 18 Ocak ve 17 Şubat 2015 tarihlerinde TPCT ve FICT'i kullanan 178 geminin verileri toplanmıştır. Planlama ufku ise 3 gün olarak belirlenmiştir.

Kavoosi *et al.* (2019), kısıtlarla birlikte RTP'yi çözmeyi amaçlayan evrensel bir ada tabanlı metasezgisel algoritma önermişlerdir. Geliştirilen algoritma küçük boyutlu problemleri neredeyse optimum şekilde çözebilmektedir.

Sheikholeslami *et al.* (2019) İran'ın Shahid Rajaei (SHRA) sığ limanında (derinliği az olan liman) gemilerin kalkışındaki gecikme süresini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. SHRA limanındaki problem; düşük derinlikli kanalda gelgitler meydana geldiğinde, yüksek draftlı gemiler kanaldan geçememekte ve bu nedenle gelgit akışını beklemek zorunda kalmaktadırlar. Çalışmanın amacı, rıhtım tahsisi probleminde gelgit etkilerini dikkate alabilen karma tam sayılı doğrusal programlama modelini limana uygulamaktır. SHRA limanının mevcut durumuna ilişkin yükleme ve boşaltma verileri, karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak önerilen modelin, gemilerin gecikme süresini önemli ölçüde azaltabileceği gösterilmiştir.

Feng *et al.* (2020) Çin'deki Rizhao Shihua Petrol Şirketi'nin deniz kenarı altyapı iyileştirme önlemlerinin, petrol üretimini nasıl artırabileceğini, tanker gecikmelerini nasıl azaltabileceğini ve planlama faaliyetlerinin sistem maliyetini nasıl en aza indirebileceğini incelemek için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir.

**Tablo 1.** Rıhtım Tahsis Problemi İçin Yapılan Metasezgisel Çalışmalar (Kovac, 2017)

Problem Türü	Makale	Çözüm Yöntemi	# Gemiler	#Rıhtımlar	Planlama Ufku
Ayrık   Statik	Arango <i>et al.</i> (2011)	GA	52	2	1 ay
	Song <i>et al.</i> (2012)	GA	6	3	*
Ayrık   Dinamik	Liang <i>et al.</i> (2011)	GA	11	4	24 saat
	Liang <i>et al.</i> (2012)	GA	11	4	*
	Lalla-Ruiz <i>et al.</i> (2014)	GA	10-50	3-8	56-108 saat
	Giallombardo <i>et al.</i> (2010)	TA	10-60	3-13	1-2 hafta
	Golias <i>et al.</i> (2009)	GA	40-80	5-10	1-2 hafta
	Golias and Haralambides (2011)	GA	VAZ	5	1 hafta
	Saharidis <i>et al.</i> (2010)	GA	50	5-10	1-2 hafta
	Golias <i>et al.</i> (2014)	GA	VAZ	4-5	1 hafta
	Ting <i>et al.</i> (2014)	PSO	25-60	5-13	*
	Ruiz <i>et al.</i> (2012)	TA	25-60	5-13	600 br z.
	Golias <i>et al.</i> (2010)	GA	40-80	5	1-2 hafta
	Golias <i>et al.</i> (2009)	GA	VAZ	5	*
	Hansen <i>et al.</i> (2008)	DMA	10-200	10-20	*
	Theofanis <i>et al.</i> (2007)	GA	20-25	5	1-2 hafta
	Golias <i>et al.</i> (2006)	GA	9	2	*
	Imai <i>et al.</i> (2007)	GA	24	4	1 hafta
	Karafa <i>et al.</i> (2013)	EA	VAZ	5	1 hafta
	Lalla-Ruiz and Voß (2014)	PM	40-55	5-7	600 br z.
	Cordeau <i>et al.</i> (2005)	TA	25-35	5-10	*
	de Oliveira <i>et al.</i> (2012)	TB	60	13	*
Lee and Jin (2013)	MA	15-40	3-8	*	
Ayrık, Draft   Dinamik	Han <i>et al.</i> (2010)	GA	34-88	4-5	*
	Zhou and Kang (2008)	GA	25-100	4	*
	Han <i>et al.</i> (2006)	GA	7	2	*
Sürekli   Dinamik	Zhou <i>et al.</i> (2006)	GA	25,50,75,100	5-8	*
	Chang <i>et al.</i> (2010)	GA	40	4	*
	Yang <i>et al.</i> (2012)	GA	VAZ	800-1600m	1 hafta
	Rodriguez-Molins <i>et al.</i> (2014)	GA	5-20	700m	*
	Salido <i>et al.</i> (2011)	ARUAP	20	*	*
	Salido <i>et al.</i> (2012)	ARUAP	5-20	*	*
Zeng <i>et al.</i> (2011)	TA	26	1202m	7 gün	

**Tablo 1. (devamı)**

	Ganji <i>et al.</i> (2010)	GA	3-30	250-3500m	*
	Meisel and Bierwirth (2009)	GTA	20-40	1000m	1 hafta
	Meisel and Bierwirth (2013)	GTA	40	1000m	168 saat
Sürekli   Dinamik	Rodriguez-Molins <i>et al.</i> (2014)	ARUAP	5-20	700m	*
	Kim and Moon (2003)	TB	7-40	1200m	72 saat
	Xu <i>et al.</i> (2012)	TB	16-30	1200m	2016 br z.
	Lee <i>et al.</i> (2010)	ARUAP	5-200	80-100m	*
Sürekli   Stokastik	Zhen <i>et al.</i> (2011)	TB	8-40	*	*
Sürekli, Draft   Dinamik	Elwany <i>et al.</i> (2013)	TB	20-40	1000m	168 saat
Sürekli   Periyodik	Zhen <i>et al.</i> (2011)	GTA	15-60	500-2000m	1 hafta
	Kovaç <i>et al.</i> (2015)	EA	21-35	8	112 saat
Karma   Statik	Kovaç(2013)	AKA	21-35	8	112 saat
	Davidovi'c <i>et al.</i> (2015)	DMA	21-35	8	112 saat
	Mauri <i>et al.</i> (2011)	MA	60	13	*
Karma   Dinamik	Lee <i>et al.</i> (2012)	TA	15-40	3-4	6-21 br z.
	Imai <i>et al.</i> (2007)	GA	*	2	*
	Cheong <i>et al.</i> (2010)	EA	100-200	5-10	*
Karma, Draft   Dinamik	Cheong and Tan (2008)	KKA	100	5	*
	Umang <i>et al.</i> (2013)	GTA	10-40	10-30	150 saat
	Cheong <i>et al.</i> (2007)	EA	100	5	*
*İlgili parametre, makalede açıkça belirtilmemiştir.					
AKA: Arı Kolonisi Algoritması		MA: Memetik Algoritma			
ARUAP: Açgözlü Rastgele Uyarlamalı Arama Prosedürü		PM: Özel Yoğunlaştırma Koşulları Altında Kısmi Optimizasyon Metasezgiseli			
DMA: Değişken Mahalle Arama		PSO: Parçacık Sürüsü Algoritması			
EA: Evrimsel Algoritma		TA: Tabu Arama			
GA: Genetik Algoritma		TB: Tavlama Benzetimi			
GTA: Gıcirtılı Tekerlek Algoritması		VAZ: Varışlar Arası Zaman (ilgili makalede, limana varan gemi sayısı yerine, gemilerin varışlar arası süresi belirtilmiştir)			
KKA: Karınca Kolonisi Algoritması					

RTP'ye yönelik yukarıda verilen literatür özetleri değerlendirildiğinde matematiksel modelleme yaklaşımı ile metasezgisel algoritma yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Matematiksel model yaklaşımı genel olarak küçük boyutlu problemlerde optimum çözümü verirken, büyük boyutlu problemlerde ise metasezgisel yaklaşımların optimuma yakın bir çözümü kabul edilebilir sürede verdiği görülmektedir.

Bu çalışmada, TÜPRAŞ İzmit Rafinerisinde rıhtım tahsis probleminin çözümü için TSDP ile TB algoritması yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Literatürden farklı olarak bu çalışmada petrol tankerlerinin yanaşacağı limanlarda gerçek veriler kullanılarak, DARTP'nin draft ve dwt (kargo kapasitesi) kısıtları ile birlikte kullanımını incelenmiştir.



## MATERYAL ve METOT

### Rıhtım Tahsis Problemi

Limanlar genellikle üç kısımdan oluşur (Şekil 3): Rıhtım (gemilerin yanaştığı yer), istifleme alanı (gemilerden alınan kargoların geçici olarak depolandığı yer) ve kara kısmı (kamyonların, trenlerin, boru hatlarının vs. hizmet verdiği yer). Orta büyüklükteki terminallerin karmaşıklığı bile, manuel olarak planlamayı imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle Yöneylem Araştırması, liman süreçlerinin çoğunda planlamaya katkıda bulunmuştur.



Şekil 3. TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi liman kısmı (Aslanhan, 2018).

Bu çalışmada, limanların rıhtım bölümü ele alınacaktır. Rıhtım tahsis problemi, limana gelen gemilerin uygun bir yanaşma alanına atanması ile ilgilidir. Bir gemi demirlediğinde, gerekli yükleme/boşaltma işlemleri tamamlanana kadar rıhtımda kalmaktadır. Çoğu limanda rıhtım alanı çok sınırlı olduğundan ve her gün binlerce ton kargo taşınması gerektiğinden, verimli liman yönetimi için etkili bir rıhtım tahsisi yapmak kritik önem taşır.

### Rıhtım Tahsis Problemi Matematiksel Modeli

Bu kısımda, iki farklı tam sayılı matematiksel model tanıtılacaktır. Bunlardan ilki, Imai ve arkadaşları tarafından 2001 yılında ele alınan matematiksel modeldir. Bu çalışmada, DRTP ile ilgili en temel matematiksel model oluşturulmuştur. Bu çalışmaya çok fazla sayıda atıfta

bulunulmuştur. Diğer makale ise Ting ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yayınlanmıştır. Bu makalede ise DRTP, zaman pencereli araç rotalama problemine benzetilerek çözülmüştür.

### 1. Model (Imai *et al.* 2001)

DRTP ile ilgili matematiksel modeli oluşturan ilk ve en önemli çalışma Imai *et al.* (2001) tarafından yapılmıştır. Statik rıhtım tahsisi probleminde (SRTP) bir gemi seti verildiğinde, limanda bekleme süresinin ve kargoyu elleçleme süresinin toplamını en aza indirmek için bir çözüm tekniği zaten Imai *et al.* (1997) tarafından önerilmiştir. Burada, problemin dinamik versiyonu ele alınmaktadır. DRTP, genel olarak SRTP'ye benzemektedir. Ancak, statik versiyonda yükleme/boşaltma işlemi başlamadan önce gemiler limanda hazır bulunurken, dinamik versiyonda ise işlem devam ederken gemilerin limana gelmesi (varışı) halen devam etmektedir. Bu tarz bir esneklik ise büyük boyutlu problemlerin çözümünde bazı zorluklar çıkarmaktadır.

Çalışmada ilk olarak, rıhtım tahsisinin basit versiyonu olan SRTP için formülasyon gözden geçirilir ve daha sonra DRTP'ye genişletilir.

#### Statik Rıhtım Tahsis Problemi Formülasyonu

SRTP'de rıhtımlara yanaşma planı belirlendiğinde tüm gemiler yanaştırılmak için zaten limanda hazır bulunmaktadır. Her rıhtımın bir seferde bir gemiye hizmet verebileceği ve gemi draftı ile su derinliği arasındaki ilişki gibi fiziksel veya teknik kısıtlamaların olmadığı varsayılmıştır. Ayrıca, rıhtım tahsisini genelleştirmek için, gemi elleçleme süresinin, tayin edildiği rıhtıma bağlı olduğu varsayılmıştır.

Amaç, her bir gemiye tahsis edilen rıhtımın bekleme süresinin toplamını ve ayrıca rıhtımda geçirdiği elleçleme süresini en aza indirmektir. SRTP bir tam sayılı model olup, aşağıda üç boyutlu bir atama problemi olarak formüle edilmiştir:

$$\text{Min } Z \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T - k + 1)C_{ij} + S_i - A_j\} X_{ijk} \quad (3.1)$$

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in O \quad (3.3)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (3.4)$$

Burada;

$i=\{1, \dots, I\} \in B$  rıhtım seti

$j=\{1, \dots, T\} \in V$  gemi seti

$k=\{1, \dots, T\} \in O$  hizmet siparişleri seti

$S_i$  rıhtım tahsis planlaması için  $i$  rıhtımının boşta kaldığı zaman

$A_j$   $j$  gemisinin varış saati

$C_{ij}$   $j$  gemisi tarafından  $i$  rıhtımında harcanan işlem süresi

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ gemisi } i \text{ rıhtımında } k \text{ siparişi ile hizmet alırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

İndisleri belirten kümeleri incelediğimiz zaman, gemi seti ( $j$  kümesi) ve hizmet siparişleri seti ( $k$  kümesi) aynı sayıda ( $T$  adet) elemana sahiptir, çünkü uygulanabilir bir çözüm, tüm gemilerin limanda hizmet almasını sağlamalıdır.

Amaç fonksiyonu (3.1), her gemi için bekleme ve elleçleme sürelerinin toplamını en aza indirir. Problemin tanımı gereği tüm  $i, j$  için  $S_i \geq A_j$  olduğuna (gemilerin rıhtım müsait hale gelmeden önce limana gelmesi gerektiğine) dikkat edilmelidir. Kısıt (3.2), her gemiye herhangi bir rıhtımda hizmet verilmesini sağlar. Kısıt (3.3), her rıhtımın herhangi bir zamanda bir gemiye kadar hizmet vermesini zorunlu kılar. Kısıt (3.4), karar değişkeninin  $\{0-1\}$  tam sayılı değişken olması gerektiğini belirtir. Bu bir statik problem olduğu için,  $S_i \geq A_j$  varsayılmıştır. Ayrıca, SRTP deterministiktir (işlem süreleri önceden bellidir) ve yükleme veya boşaltma işlemleri sırasında bir geminin yanaştığı rıhtımı değiştirmek yasaktır.

Amaç fonksiyonunda, işlem süresi  $C_{ij}$  ( $T - k + 1$ ) ile ağırlıklandırılmıştır. Bir geminin bekleme süresi, kendinden önceki gemilerin kümülatif işlem süreleri ile ifade edilir (statik problemde tüm gemiler limanda hazır bulunduğu için, atanacak olan gemilerin bekleme süreleri, rıhtımlara atanan gemilerin işlem sürelerinin toplamı ile ifade edilir).

### **Dinamik Rıhtım Tahsis Problemi Formülasyonu**

Bazı gemiler, planlama ufku sırasında limana varabileceğinden SRTP'nin kullanımı çok kısıtlayıcı kalmaktadır. Bu nedenle DRTP ele alınmıştır.

DRTP'de tüm gemilerin varış zamanları önceden bilindiği ve belirlenen rıhtımın  $S_i$ 'sinden önce limana varılmadığı varsayılmıştır. Bunun dışında SRTP için tüm varsayımlar geçerlidir. DRTP aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\text{Min } Z \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T - k + 1)C_{ij} + S_i - A_j\} X_{ijk} + \sum_{i \in B} \sum_{j \in W_i} \sum_{k \in O} (T - k + 1)y_{ijk} \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3.6)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in O \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{il}X_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i)X_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in W_i, k \in O \quad (3.8)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (3.9)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (3.10)$$

Burada;

$P_k$  ;  $O$ 'nun alt kümesi  $P_k = \{p < k \in O\}$

$W_i$  ;  $A_j \geq S_i$  şartını sağlayan gemilerin alt kümesidir

$y_{ijk}$ ;  $j$ . gemiye  $k$ . gemi olarak hizmet verildiğinde,  $k$  gemisinin varışı ile  $(k-1)$ . geminin kalkışı arasında  $i$  rıhtımının boşa kalma zamanı (kısaca, bir geminin hizmete girmesinden önce rıhtımın boşa kalma süresi)

Amaç fonksiyonu (3.5), her gemi için toplam bekleme ve elleçleme sürelerini en aza indirir. Aynı zamanda rıhtımın da boşa kalma süresini en aza indirir. Kısıt (3.8), gemilere varışlarından sonra hizmet verilmesini sağlar. Diğer kısıtlar STRP kısıtları ile aynı niteliktedir.

## 2. Model (Ting et al. 2014)

Bu kısımda, DARTP'nin karma tam sayılı programlama modeli açıklanmaktadır. Ting ve arkadaşları çalışmalarında DARTP'yi rıhtımların araçlara karşılık geldiği, gemilerin müşterilere karşılık geldiği ve belirli bir rıhtımdaki demirleme sırasının ise araç rotasına karşılık geldiği zaman pencereci araç rotalama problemi olarak ele almışlardır. Her araç, rotasını depoda başlayıp bitirmelidir. Depo ise iki kukla düğüme (o ve d) ayrılmıştır. Her düğüm ise, rıhtımın zaman pencerelerini (müsaitlik durumunu) temsil etmektedir.

Modelin varsayımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Her rıhtım tek seferde bir gemiye hizmet verebilir.
2. Bir gemi belirli bir işlem süresi ile herhangi bir rıhtımda elleçlenebilir.
3. Tüm gemiler limana varış saatlerinden önce veya sonra gelebilir.
4. Bir gemi rıhtıma demirledikten sonra gerekli tüm işlemler tamamlanana kadar yerinde kalacaktır.
5. Liman alanı ideal olarak kullanıma hazır ve temizdir.

Modelin notasyonları;

$a_i$  : i gemisinin varış zamanı

$b_i$  : i gemisinin zaman penceresinin bitiş zamanı

$o$  : herhangi bir rotanın başlangıcı

$d$  : herhangi bir rotanın hedefi

$s_k$  : k rıhtımının müsaitliğinin başlangıç zamanı

$e_k$  : k rıhtımının müsaitliğinin bitiş zamanı

$M$  : büyük bir sayı

$N$  : limana varacak gemi seti,  $N=\{1, 2, \dots, |N|\}$

$K$  : rıhtım kümesi,  $K=\{1, 2, \dots, |K|\}$

$p_i^k$  : i gemisinin k rıhtımındaki işlem süresi

Modelin Karar Değişkenleri;

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ gemisi } j \text{ gemisinden önce } k \text{ rıhtımını kullanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$t_i^k$  : i gemisinin k rıhtımında işleme başlama zamanı (sürekli değişken)

olmak üzere modelin formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} (t_i^k - a_i + p_i^k \sum_{j \in N \cup \{d\}} X_{ij}^k) \quad (3.11)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in N \cup \{0\}} X_{ih}^k = \sum_{i \in N \cup \{d\}} X_{hi}^k \quad \forall h \in N, k \in K \quad (3.12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup \{d\}} X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in N \cup \{d\}} X_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (3.14)$$

$$(t_i^k + p_i^k) \leq t_j^k + (1 - X_{ij}^k)M \quad \forall i, j \in N \cup \{0\} \cup \{d\}, k \in K \quad (3.15)$$

$$s_k \leq t_0^k \quad \forall k \in K \quad (3.16)$$

$$t_d^k \leq e_k \quad \forall k \in K \quad (3.17)$$

$$a_i \leq t_i^k \quad \forall i \in N, k \in K \quad (3.18)$$

$$t_i^k + p_i^k \sum_{j \in N \cup \{d\}} X_{ij}^k \leq b_i \quad \forall i \in N, k \in K \quad (3.19)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (3.20)$$

$$t_i^k \geq 0 \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (3.21)$$

Amaç fonksiyonu (3.11), tüm gemilerin bekleme süresi ve işlem süresini içeren toplam hizmet süresini en aza indirir. Kısıt (3.12), tüm gemiler için akışın korunmasını sağlar (iskeleye giren her gemi, mutlaka iskeleden çıkacaktır). Kısıt (3.13), her geminin bir k iskelesine atanması gerektiğini belirtir. Kısıt (3.14), rıhtım kullanılmadan bırakılabileceğinden, k rıhtımının en fazla bir kez başlayabileceğini belirtir. Kısıt (3.15), sonradan gelen geminin işleme başlama zamanı, kendinden önceki geminin bitişinden sonra olmalıdır. İskele müsaitlik süresi kısıt (3.16) ve (3.17) tarafından belirtilmektedir. Kısıt (3.18) ve (3.19), gemiye zaman penceresi içinde hizmet verilmesi gerektiğini belirtir. Son olarak kısıt (3.20) ve (3.21), karar değişkenlerinin ilgili alanlarını tanımlar.

### **Tavlama Benzetimi Algoritması**

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme aşamasını temsil etmektedir (Güden vd, 2005). Tavlama işleminde, atom yapısı düzensiz olan metaller önce yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp daha sonra yavaş bir şekilde soğutulmaktadırlar. Bu işlemler sırasında düzensiz yapıdaki atomlar gruplar halinde düzene girerek kristal yapıyı oluşturmaktadırlar. Bu işlemlerin sonunda metalin yapısı daha kararlı bir hal alarak sağlamlığı artmaktadır (Taş, 2007).

Tavlama benzetimi algoritmasının (simulated annealing algorithm) literatürde, yapay ısıtma işlem algoritması veya benzetilmiş tavlama algoritması gibi çevirileri de mevcuttur.

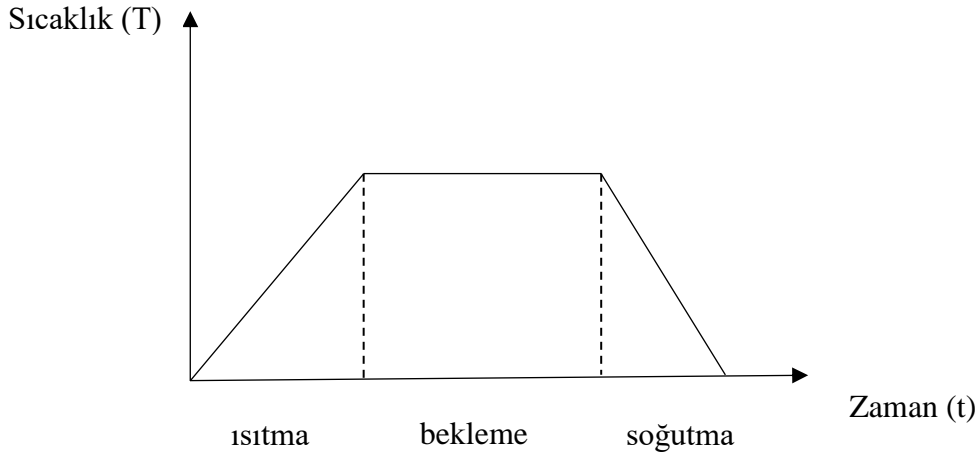
Tavlama benzetimi (TB) algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis *et al.* (1953) tarafından önerilmiştir. TB algoritması, malzemenin sıcak banyoda soğutulmasından (tavlama olarak bilinir) esinlenilerek hazırlanmıştır. Eğer, katı malzeme erime noktasına kadar ısıtılır (Şekil 4) ve katı hale gelinceye kadar tekrar soğutulursa, katı malzemenin soğutulmuş halinin yapısal özellikleri soğutma oranına bağlı olur. Örneğin, kristaller çok yavaş bir soğutma ile büyüebilirler, fakat hızlı bir soğutma işlemi, kristal yapısında kusurların oluşmasına neden olabilir. Tavlama sürecinin, malzemeyle ilgili bir partiküller sistemi olarak benzetimi yapılabilir. Temel olarak Metropolis algoritması, soğutma aşamasından geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki, enerjisindeki farklılıkların benzetimini yapar. 1983'te, Kirkpatrick vd., bu tür bir benzetimin, optimal sonuca yakınsama amacıyla, optimizasyon problemlerine uygulanabilir bir çözüm bulmada kullanılabileceğini söylemişlerdir (Gülsün vd, 2008).



**Şekil 4.** Tavlama işlemi (Kuhn, 2021)

### ***Temel prensipler***

Isıl işlem sayesinde, malzemenin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması (ısıtma), bu sıcaklıkta uygun bir süre kadar bekletilmesi (bekleme) ve belirli bir stratejiye göre sıcaklığın oda sıcaklığına kadar azaltılması (soğutma) sayesinde üç aşamada malzemede özellik değişimleri sağlanır. Bu tür soğutma içeren, her tür ısıtma işlemde uygulanan üç aşamadan ibaret olan işlem Şekil 5'te gösterilmektedir (Karaboğa, 2020).



**Şekil 5.** Isıl işlem kademeleri

Güvenilir bir sezgisel araştırma algoritması, başlangıç noktasına bağımlılığı az olan algoritmadır. Amaç en sonda bir global minimum bulunmasını sağlamaktır. Bu yüzden çözümde yukarı doğru olan hareketlerin kabul edilmesi belirli bir kontrol stratejisi ile yapılmalıdır. Tavlama benzetimi algoritmasında bu şekildeki hareketlerin kabul edilme sıklığı araştırma ilerledikçe değişen bir olasılık tabanlı fonksiyon ile kontrol edilir. Bu kontrol işlemini tanımlamada Kirkpatrick'e ilham kaynağı olan fikir, Metropolis ve arkadaşlarının istatistiksel termodinamikle ilgili yapmış olduğu bir çalışmadan çıkmıştır (Karaboğa, 2020).

Termodinamik kanunlarında, T sıcaklığındaki enerjide  $\delta E$  genlikli bir artışın olma olasılığı  $p(\delta E) = \exp(-\delta E/kT)$  denklemi ile ifade edilir. Burada k Boltzman sabiti olarak bilinen fiziksel bir sabittir (Boltzmann sabiti =  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K).

Tavlama benzetimi algoritmasının bir optimizasyon problemine uygulanması amacıyla tasarımında karar verilmesi gereken kavramları, iki gruba ayırmak mümkündür (Johnson *et al.* 1989).

- Probleme özel seçenekler
- Algoritmanın kendisine ait genel seçenekler

#### *Probleme özel seçenekler*

Çözüm esnasında alınacak kararların bir kısmı, optimizasyon probleminin kendisi ile ilgilidir. Bu kararların tanımları değiştirildiğinde, algoritmadan daha iyi bir performans elde edilebilir. Optimizasyon problemine özel seçenekler aşağıda belirtilmiştir:

- Problemin tüm muhtemel çözümlerini belirleyecek uygun bir temsil yöntemi seçilmelidir. Daha sonra, amaç fonksiyonu tanımlanmalı ve bir başlangıç çözüm üretilmelidir.

- Başlangıç çözüm belirlendikten sonra, komşu çözümlerin üretilmesini sağlayan komşuluk mekanizması temsil edilmelidir.
- Çözüm aşamasındaki değişiklikleri kolayca hesaplayabilmek için verimli bir metodun tasarlanması gerekir.

#### *Algoritmanın kendisine ait genel seçenekler*

Algoritmanın genel seçenekleri, soğutma tarifesindeki elemanları ifade eder. Soğutma tarifesindeki elemanlar aşağıda belirtilmiştir:

- Sıcaklık parametresi (T) için başlangıç sıcaklık değeri belirlenmelidir.
- Soğutma katsayısı ve güncelleme kuralı belirlenmelidir.
- Her sıcaklıkta tekrarlanacak iterasyon sayısı belirlenmelidir.
- Algoritmayı durdurma kriteri belirlenmelidir.

Tavlama Benzetimi algoritmasının performansı önemli ölçüde seçilen soğutma stratejisine bağlıdır. Uygun bir soğutma stratejisi ile çoğu optimizasyon problemi için optimale yakın çözümler elde edilebilir. Literatürde, araştırmacılar tarafından önerilmiş çok sayıda teorik ve pratik soğutma tarifeleri mevcuttur (Karaboğa, 2020).

Kirkpatrick *et al.* (1983) fiziksel tavlama ile olan benzerliğe dayanarak ileri sürdükleri soğutma planına göre, maddenin sıvı safhaya ulaştığında tüm parçacıkların rasgele düzenlenmesinin benzetimini yapmak için, T sıcaklık parametresinin başlangıç değerini, denenen tüm hareketler kabul edilecek kadar yüksek seçmişlerdir. Sıcaklık parametresinin değerini azaltmak için, en sık kullanılan azaltma kuralı ise şu şekilde verilir:  $T_{k+1} = \alpha * T_k$ , burada  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) soğutma katsayısını temsil eder.  $\alpha$  değeri çoğunlukla 0.5 ile 0.99 arasında seçilir.

Tavlama benzetimi, komşu arama metoduna dayalı algoritmalarından birisidir. Komşu aramanın basit bir şekli olan “İniş (descent) algoritması”, keyfi olarak seçilen bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Daha sonra belirlenen komşu üretme mekanizması ile bu çözümün bir komşusu üretilir ve amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer amaç fonksiyonunda bir iyileşme söz konusuysa, komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir, aksi halde mevcut çözüm değişmez. Bu süreç mevcut çözümün hiçbir komşusu amaç fonksiyonunda iyileşme sağlamayana kadar devam eder ve böylece iniş algoritması bir lokal minimumda durmuş olur (Çakır, 2006).

Tavlama benzetimi algoritması, amaç fonksiyonunda kötüleşmelere yol açan komşu hareketlerini de bazen kabul ederek, yerel optimum tuzaklardan kurtulmaya çalışır. Amaç

fonksiyonunda kötüleşmeye yol açan bir hareketin kabul edilip edilmemesi, kontrollü bir olasılığa göre rassal olarak belirlenmektedir (Çakır, 2006).

### **Tavlama Benzetimi Algoritmasının Temel Adımları**

Adım 1: Sezgisel olarak veya rasgele olarak bir başlangıç çözümü  $S$  üret. Sıcaklık  $T$  için bir başlangıç değeri  $T_0$  belirle ve durdurma kriteri gibi değer parametrelerini tayin et.

Adım 2: Komşu bir çözüm  $S^1 \in N(S)$  üret ve bu üretilen çözümle  $S$  çözümünün amaç değerleri ( $C(S)$  ve  $C(S^1)$ ) arasındaki farkı ( $\Delta = C(S^1) - C(S)$ ) hesapla.

Adım 3: Şayet;

- (i)  $S^1$ ,  $S$ 'den daha iyi (yani  $\Delta < 0$ ) ise veya
- (ii)  $S^1$ ,  $S$ 'den daha kötü ama mevcut sıcaklık  $T$ 'deki ( $e^{-\Delta/T}$ )  $> \theta$  ile tanımlı (burada  $\theta$ ,  $0 < \theta < 1$  olacak şekilde üretilmiş bir rassal sayıdır) rasgelelik işlemi,  $p(\delta E) = \exp(-\delta E/kT)$  denklemi ile kabul edilmiş ise o zaman  $S$  çözümünü  $S^1$  çözümü ile yer değiştir. Yoksa,  $S^1$ 'nü mevcut çözüm olarak muhafaza et.

Adım 4: Belirli bir kurallar setine göre  $T$  sıcaklığını değiştir. Bu,

- (i) Kullanılan soğutma tarifesine göre,
- (ii) Üçüncü adımda üretilen çözümlerde herhangi bir gelişme olup olmadığına göre,
- (iii)  $S$  çözümüne ait komşuluğun tamamen araştırılıp araştırılmadığına göre veya başka kriterlere göre belirlenmiş kurallar olabilir.

Adım 5: Durdurma kriteri sağlanıyor ise araştırmayı durdur, yoksa ikinci adıma geri dön (Karaboğa, 2020).

### ***Tavlama benzetimi algoritması kavramları***

Bir tavlama benzetimi algoritmasının oluşturulmasında aşağıdaki adımların yerine getirilmesi gerekir (Karaboğa, 2020):

- (i) Başlangıç çözümünün üretilmesi için bir metodun bulunması,
- (ii) Komşu üretme mekanizmasının belirlenmesi,
- (iii) Komşuluğun nasıl araştırılacağına bulunması,
- (iv) Soğutma tarifesinin tanımlanması.

Tavlama benzetimi algoritmasının performansı, önemli derecede seçilen soğutma tarifesine bağlıdır ve bunun gerçekleştirilmesi için aşağıdaki parametrelerin tanımlanması gerekir (Karaboğa, 2020):

- (i) Kontrol parametresi  $T$ 'nin başlangıç değeri olan  $T_0$  için bir değer atanması,
- (ii) Sıcaklığın azaltılmasını sağlayan fonksiyonun belirlenmesi,

- (iii) Her sıcaklık kademesinde icra edilecek olan iterasyon sayısının belirlenmesi,
- (iv) Araştırmanın sonlandırılması için bir kriterin tanımlanması.

#### *Başlangıç çözümü oluşturma*

Bir problemin, tavlama benzetimi algoritması ile çözülebilmesi için ilk olarak bir çözümün temsil edilmesi gerekmektedir. Çözümün temsil edilmesi, her problem türü için farklılık gösterebilir. Başlangıç çözümü, rasgele ya da bir sezgisel algoritma kullanılarak oluşturulabilir.

#### *Amaç fonksiyonu oluşturma*

Başlangıç çözüm oluşturulduktan sonra, başlangıç çözümün amaç fonksiyon değeri hesaplanmalıdır ve bunun kontrolünü (amaç fonksiyon değerinin iyileştiğini) sağlayacak sistemin oluşturulması gerekmektedir.

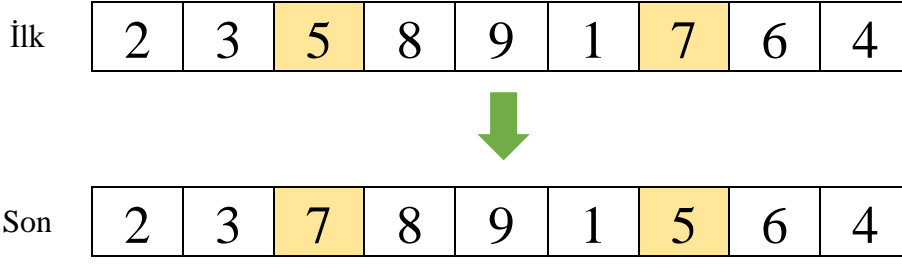
#### *Komşuluk mekanizması oluşturma*

Başlangıç çözümü ve onun amaç fonksiyon değeri bulunduktan sonra, bir komşu çözüme geçilmelidir. Komşu çözümün bulunması için literatürde sıkça kullanılan yöntemler şunlardır:

- Yer değiştirme metodu
- Ters çevirme metodu
- Araya ekleme metodu
- Yerleştirme metodu

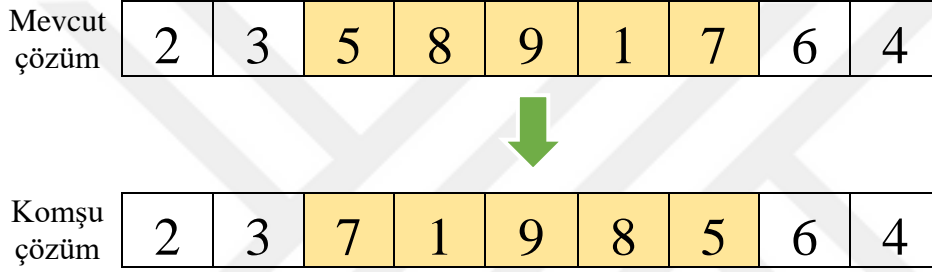
Aşağıda bu yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

Yer değiştirme (swap) metodu: Bir çözümden, rasgele seçilen iki elemanın yerlerinin değiştirilmesi ile elde edilen yeni çözümdür. Örneğin araç rotalama problemini ele alırsak, bu problemin çözümü, araçların müşterilere veya şehirlere gidecekleri rotalar olur. Şekil 6'da ilk satırdaki değerler, herhangi bir çözümden elde edilen bir aracın izleyeceği rota olsun. Yer değiştirme metodu ile yeni bir komşu çözüm üretebilmek için, rasgele seçilen 5. ve 7. müşterilerin yerlerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Böylece son satırdaki gibi yeni bir komşu çözüm üretilmiş olur.



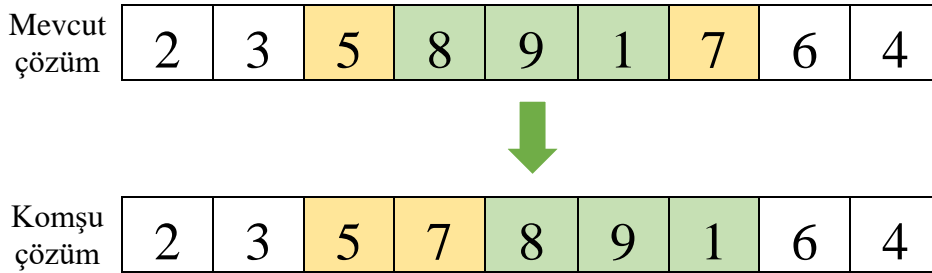
**Şekil 6.** Yer değiştirme (swap) metodu

Ters çevirme (inversion) metodu: Ters çevirme metodu ile yeni bir komşu çözüm üretebilmek için, mevcut çözümden, rasgele seçilen iki eleman ve arasındaki tüm elemanların ters çevrilmesi gerekmektedir. Mekanizmanın çalışmasına ilişkin bir örnek Şekil 7’de gösterilmiştir. Rassal olarak seçilen 3. ve 7. pozisyonundaki elemanlar ile aradaki elemanların ters çevrilmesi ile oluşan yeni çözüm, komşu çözümü oluşturmaktadır.



**Şekil 7.** Ters çevirme (inversion) metodu

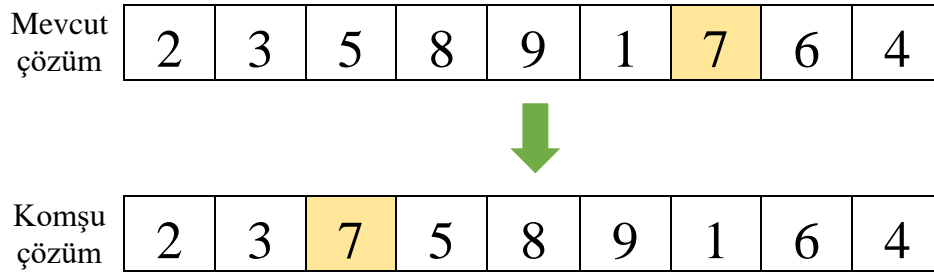
Araya ekleme (insertion) metodu: Araya ekleme metodu ile yeni bir komşu çözüm üretebilmek için, mevcut çözümden rasgele iki eleman seçilir, seçilen elemanlardan birincisi sabit kalır, ikinci eleman birinci elemanın sağına eklenir ve arada kalan diğer elemanlar ise sıraları değiştirilmeden yeni eklenen ikinci elemanın sağına eklenmelidir. Mekanizmanın çalışmasına ilişkin bir örnek Şekil 8’de gösterilmiştir. Rassal olarak 3. ve 7. pozisyonundaki elemanlardan 3. eleman sabit tutulup, sağına ise 7. eleman eklenir. Son olarak 4. pozisyonun hemen sağına arada kalan diğer elemanlar eklenir ve komşu çözüm oluşturulur.



**Şekil 8.** Araya ekleme (insertion) metodu

Yerleştirme (insert) metodu: Yerleştirme metodu ile yeni bir komşu çözüm üretebilmek için, mevcut çözümden, rasgele seçilen bir elemanın, rasgele seçilen bir pozisyona

yerleştirilmesi gerekir. Mekanizmanın çalışmasına ilişkin bir örnek Şekil 9’da gösterilmiştir. Rassal olarak seçilen 7. pozisyonundaki elemanın yine rassal olarak seçilen 3. pozisyona yerleştirilmesi ile komşu çözüm elde edilir.



**Şekil 9.** Yerleştirme (insert) metodu

### ***Başlangıç sıcaklığı***

Başlangıç sıcaklığı ve son sıcaklık da tavlama benzetimi algoritmasının performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Genel olarak, algoritmanın dengeli bir şekilde çalışabilmesi için başlangıç sıcaklığı büyük olmalıdır. Son sıcaklık ise, algoritmanın en uygun çözüme ulaşması ve uygun çözümü yeterli zamanda bulabilmesi için daha küçük seçilmelidir.

### ***Teorik soğutma tarifeleri***

Bu tip soğutma tarifeleri tavlama benzetimi algoritmasının, 1’e eşit olasılıkla yani kesin olarak global optimum çözüme yakınsamasını sağlar. Bu modellemede iki tip formülasyon ortaya çıkmıştır.

**Homojen Algoritma:** Bu algoritmada sıcaklık, sıfıra erişinceye kadar sonsuz kademeler dizisi şeklinde azaltılır. Sıcaklık süresi, verilen bir sıcaklık değerinde gerçekleştirilen iterasyon hareketlerinin sayısına eşittir.

**Homojen Olmayan Algoritma:** Bu algoritmada da yine sıcaklık T, sonsuz kademeler dizisi şeklinde sıfıra doğru azaltılır. Ayrıca her bir kademe sadece tek bir iterasyon hareketini temsil etmektedir (Karaboğa, 2020).

### ***Sıcaklık azaltma fonksiyonları***

Sıcaklık, bir önceki çözümden daha kötü olan bir çözümün, kabul edilme olasılığının hesaplanmasında kullanılır. Tavlama benzetiminde soğutma işlemi yavaş yavaş yapılmalıdır. Bunun için bir sıcaklık azaltma fonksiyonundan yararlanır. Literatürde önerilen farklı sıcaklık azaltma fonksiyonları vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Şahin, 2004):

- Aritmetik fonksiyon:  $T_k = T_{k-1} - C_{te}$
- Geometrik fonksiyon:  $T_k = T_{k-1} * \alpha$
- Ters fonksiyon:  $T_k = C_{te} / (1+k)$

- Logaritmik fonksiyon:  $T_k = C_{te} / (\text{Log}(1+k))$

Buradaki  $T_k$  ilgili iterasyonun son sıcaklığını ifade etmektedir.  $\alpha$  ise soğutma katsayısıdır, 1'den küçük, ancak 1'e çok yakın bir değerdir. Diğer fonksiyonlardaki  $C_{te}$  sembolü ise soğuma sabitidir,  $k$  ise iterasyon sayısını göstermektedir.

### ***Verilerin toplanması***

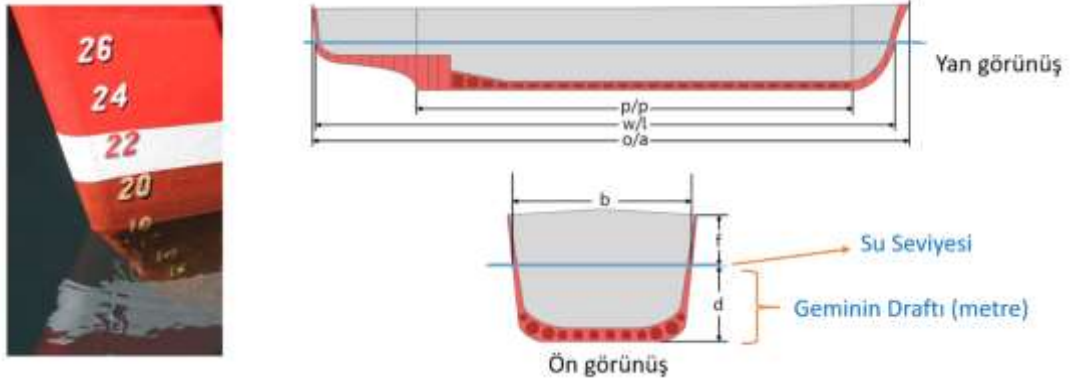
Bu çalışmada kullanılacak veriler internetten toplanmıştır. Marine Traffic web sitesi ile gemi hareketlerine ait veriler 7/12/2020 – 18/04/2021 tarihleri arasında körfez limanına yanaşan toplam 300 gemi için günlük olarak toplanıp, Arena-Input Analyzer programında istatistiksel analizleri yapılmıştır.

Tankerlerin limandaki anlık hareketleri ve teknik özellikleri aşağıdaki web adresinden alınmıştır: <https://www.marinetraffic.com/>

### ***İskelele yönlendirme kısıtları***

Draft Kısıtı:

Draft (Su Çekimi): Geminin tabanı ile su seviyesi arasında kalan mesafedir. Diğer bir tanımla geminin batma mesafesidir. Gemilerin draft kısımları Şekil 10'da gösterilmiştir. Gemilerin draftları **d** harfi ile gösterilmektedir (wikipedia.org, 2021).



**Şekil 10.** Gemilerin draft kısımları (“Su çekimi”, 2021)

DWT Kısıtı:

DWT (Deadweight tonnage): Detveyt Ton, ölü ağırlık anlamına gelen İngilizce kelimedenden gelir. Uluslararası deniz ticaretinde kullanılan bir ölçü birimidir.

Türk Uluslararası Gemi Sicili Kanununa göre DWT, bir geminin taşıyabileceği en çok ağırlık olup, ham yükün, yakıtın, suyun, kumanyanın, yolcu ve gemi adamlarının kendilerinin

ve eşyalarının ağırlıklarının toplamını ifade eder. Bir detveyt ton tam 1.016,0469088 kilogramdan oluşan ağırlıktır.

Bir adet açık deniz platform iskelesi ve üç adet faz iskeleden oluşan TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi iskele alanlarının özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** İzmit Rafinerisi İskele Alanlarının Özellikleri (TÜPRAŞ, 2015)

İskele No	Boy (metre)	En (metre)	Maksimum Su Derinliği (metre)	Minimum Su Derinliği (metre)	Yanaşacak En Büyük Gemi Tonajı (DWT)
<b>FAZ 1 İSKELESİ</b>					
1 nolu yanaşma yeri	105	27	14	13	80000
2 nolu yanaşma yeri	65	27	11	10	3000
5 nolu yanaşma yeri	20	4,3	6	5,5	1000
6 nolu yanaşma yeri	20	4,3	6	5,5	1000
7 nolu yanaşma yeri	20	35,5	7	6	2000
8 nolu yanaşma yeri	70	35,5	8,5	8	20000
<b>FAZ 2 İSKELESİ</b>					
3 nolu yanaşma yeri	66	43	13,5	13	40000
4 nolu yanaşma yeri	98	43	14,5	14	100000
<b>PLAFORM İSKELE</b>					
9 nolu yanaşma yeri	457	11	29	28	300000
<b>FAZ 3 İSKELESİ (RUP)</b>					
201 nolu yanaşma yeri	150	37,30	7	7	5000
202 nolu yanaşma yeri	150	37,30	7	7	5000
203 nolu yanaşma yeri	183	37,30	14	13,5	20000
204 nolu yanaşma yeri	200	37,30	12	11,5	30000
205 nolu yanaşma yeri	295	30	18	17,5	70000
206 nolu yanaşma yeri	327	30	18	17,5	100000
207 nolu yanaşma yeri	592	15	12	12	30000
<b>BORU HATTININ ADI</b>					
Deniz dibi ham petrol boru hattı	Sayısı (adet)		Uzunluğu (metre)		Çapı (inç)
	1		700		36

Şekil 11’de iskelelerin haritadaki konumları ve su derinlikleri gösterilmiştir. İskelelere yanaşabilecek en büyük gemilerin DWT sınırı da beyaz gemiler ile temsil edilmiştir.



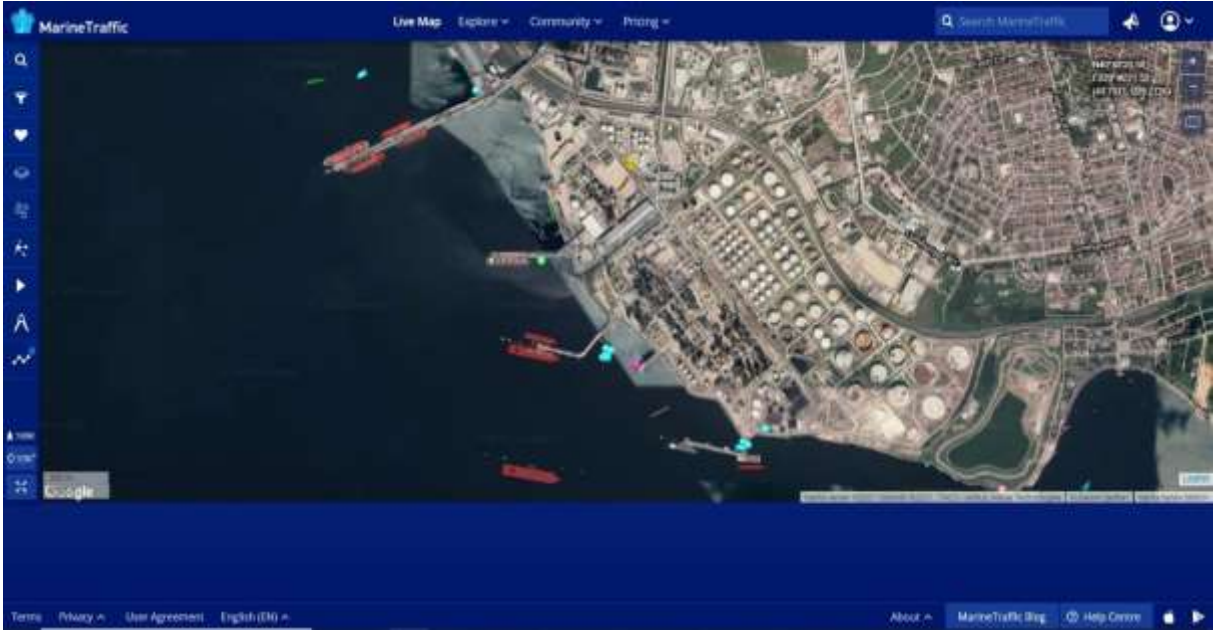
Şekil 11. TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi iskele bilgileri.

***Veri toplama: Deniz trafiğinin incelenmesi***

***Deniz radarı ile gemi takibi - Marine Traffic***

Körfez Limanındaki deniz trafiğine ait bilgiler Marine Traffic web sitesi üzerinden toplanmıştır. Şekil 12’de bu sitenin bir arayüzü verilmiştir. Şekil 12’deki kırmızı renkteki gemiler petrol tankerlerini göstermektedir. Yuvarlak ve mavi renkteki küçük şekiller ise tankerleri iskelelere yanaştırmakta kullanılan palamar botlarını (iş botlarını) göstermektedir.

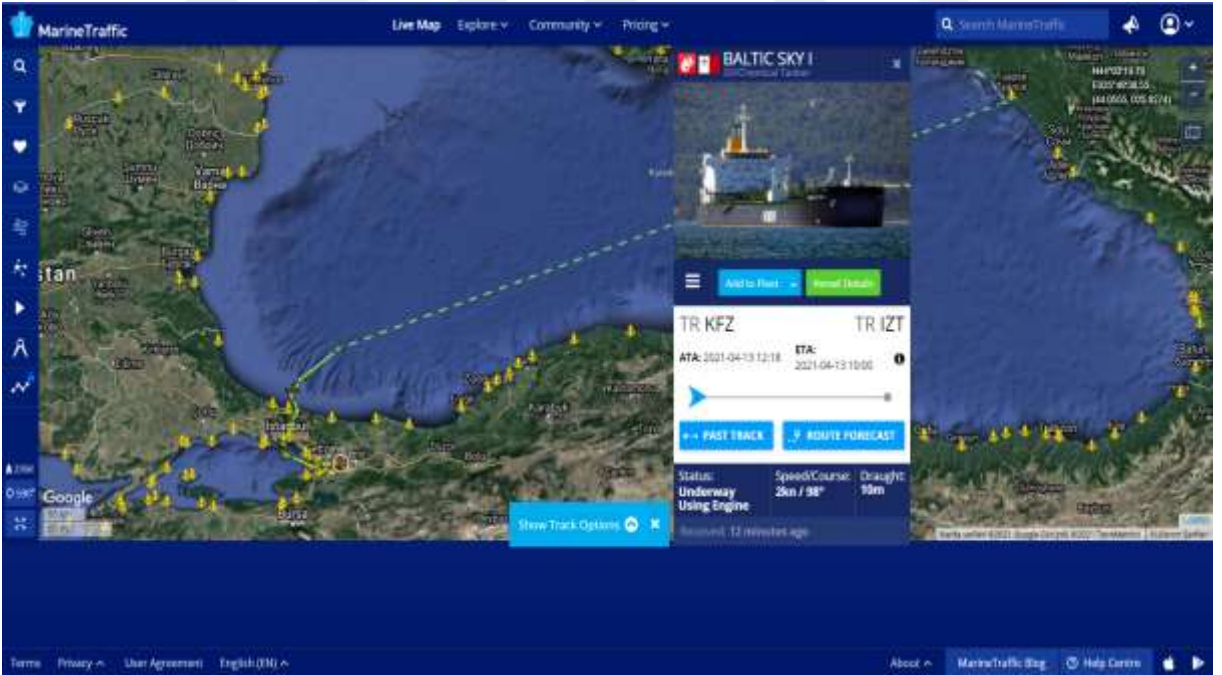
Petrol tankerleri büyük boyutlu olduklarından dolayı limanlarda dar manevraları yapmakta zorlanmaktadır. Bu yüzden onlara küçük boyutlu ve çekiş gücü yüksek olan palamar botları destek olmaktadır. Palamar botları limanda bir görev olmadığı zaman, iskelenin kıyıya yakın kısmında park halinde beklerler. Limana bir tanker gemisi geldiğinde ise birkaç palamar botu tankeri halatlarla hizmet alacağı iskeleye yanaştırır ve tankerin demirlenmesine yardım ederler.



Şekil 12. Marine Traffic ile gemi takibi.



***İskeleye gelen bir tankerin bilgileri:***

Limana gelen bir tankerin kalkış noktasından varış noktasına kadar izlediği rota bilgileri Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13. Tankerin izlediği rota bilgileri.

Tankerın limana varış ve kalkış bilgileri (liman çağruları) Şekil 14’te gösterilmiştir.

Port	Arrival	Departure
 KORFEZ (UTC +3)	2021-06-23 10:28 LT (UTC +3)	
 CANAKKALE (UTC +3)	2021-06-22 16:09 LT (UTC +3)	2021-06-22 19:40 LT (UTC +3)

[VIEW FULL LIST](#) Time Format

Şekil 14. Geminin son yanaştığı limana ait zaman bilgileri (varış/kalkış)

Limana yanaşan bir tankerın DWT’si, gemi türü, uzunluğu ve IMO numarası gibi bilgileri Şekil 15’te gösterilmiştir.

IMO numarası, gemilerin Uluslararası Denizcilik Örgütü’ne kayıt oldukları 7 haneli benzersiz bir numaradır, geminin adı ve ülkesi değişse bile bu numara asla değişmez.

Vessel Information
<b>General</b>
IMO: <b>9228801</b>
Name: <b>BALTIC SKY I</b>
Vessel Type - Generic: <b>Tanker</b>
Vessel Type - Detailed: <b>Oil/Chemical Tanker</b>
Status: <b>Active</b>
MMSI: <b>636093020</b>
Call Sign: <b>5LBL2</b>
Flag: <b>Liberia [LR]</b>
Gross Tonnage: <b>23235</b>
Summer DWT: <b>37272 t</b>
Length Overall x Breadth Extreme: <b>182.55 x 27.74 m</b>
Year Built: <b>2001</b>
Home Port: <b>VALLETTA</b>

Şekil 15. Gemiye ait teknik bilgiler.

Tankerin hız ve draft bilgileri Şekil 16'da gösterilmiştir. Draft, geminin suda batma mesafesidir. Dolayısı ile geminin taşıdığı kargo miktarı ile doğru orantılıdır. Geminin taşıdığı yük arttıkça suda batma mesafesi de artmaktadır, aynı şekilde geminin taşıdığı yük azaldıkça geminin suda batma mesafesi de azalır gemiyi yükseltmektedir buda bazen büyük gemiler için köprü geçişlerinde sıkıntı oluşturabilmektedir. Köprülerden geçişi zorlaştıran bir diğer durum ise yüksek gelgitlerdir. Su yükseldikçe köprü ile deniz seviyesi arasındaki mesafeyi azaltmaktadır.



Şekil 16. Geminin hız ve draft bilgileri.

Şekil 12, 13, 14, 15 ve 16'dan yararlanarak gemilere ilişkin bilgiler toplanmıştır.

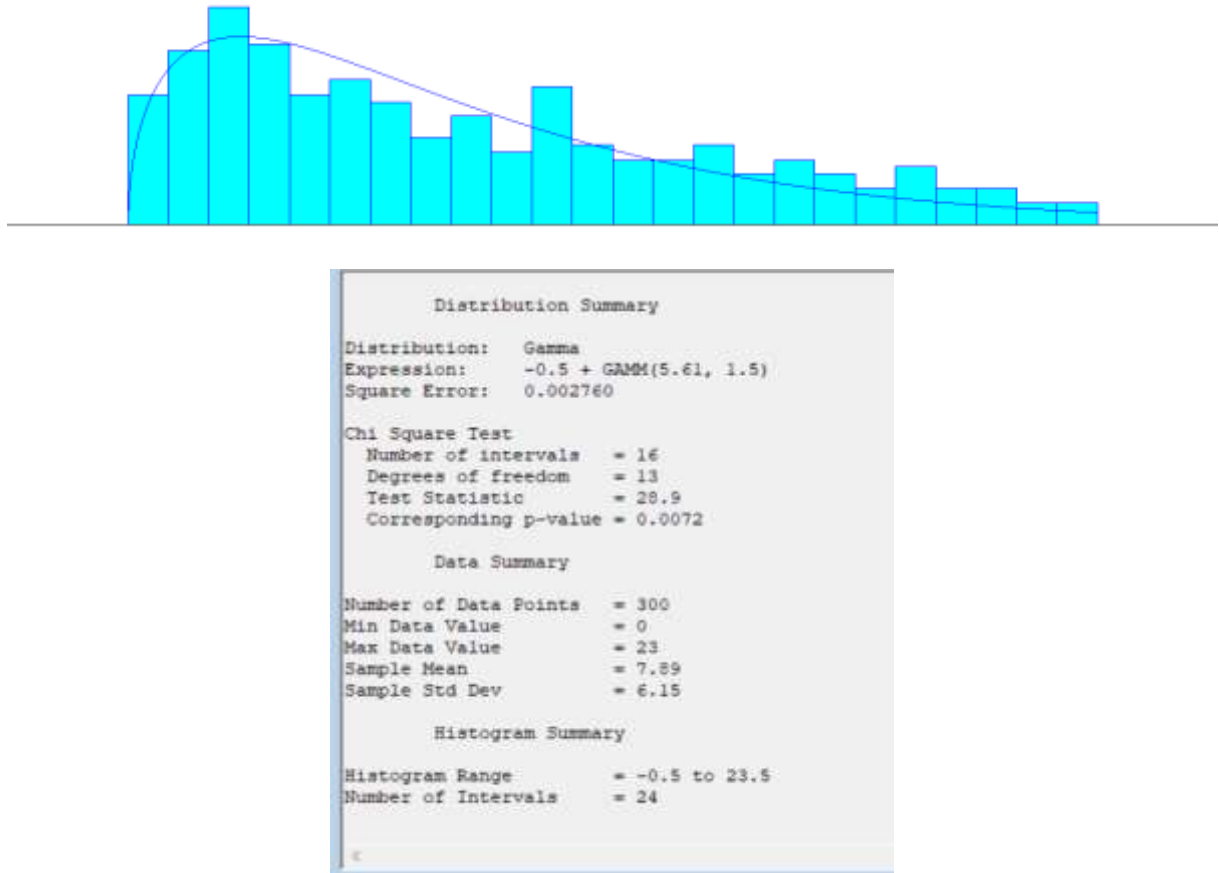
## ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, önce haftalık olarak yani küçük boyutlu örnek seti için bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Model GAMS Studio 34 programında kodlanarak, optimum çözüme ulaşılmıştır. Daha sonra büyük boyutlu örnek seti için bir metasezgisel algoritma olan Tavlama Benzetimi algoritması ile bir çözüm geliştirilmiştir. Algoritma, MATLAB R2019b programında kodlanarak, 12GB Ram ile Intel (R) Core (TM) i7 4700HQ CPU 2.40 GHz işlemcili bilgisayarda çalıştırılmıştır.

### Veriler

Toplanan üç yüz adet gemi verisinin gelişler arası süresinin ve rıhtımda geçirdiği işlem süresinin dağılımı Arena 14 Input Analyzer programında incelenmiştir. İncelenen veri grubunun histogramı ve dağılım bilgileri Şekil 17 ve Şekil 18’de verilmiştir. Bu istatistiki bilgiler, daha fazla gemi verisinin kullanılmasının gerekli olduğu durumlar için incelenmiştir.

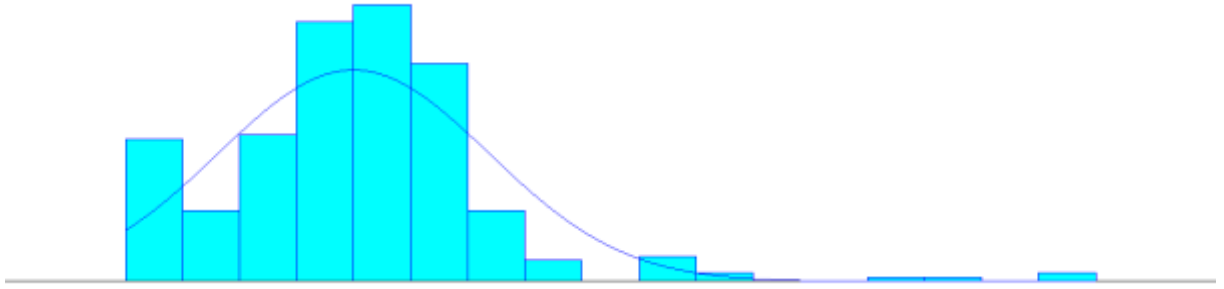
Gelişler Arası Sürenin Dağılımı:



Şekil 17. Gelişler arası süreler için histogram ve dağılım bilgileri.

Gemilerin rıhtıma gelişlerinin,  $X \sim -0.5 + GA(5.61, 1.5)$  gamma dağılımına uyduğu tespit edilmiştir.

## İşlem Süresinin Dağılımı:

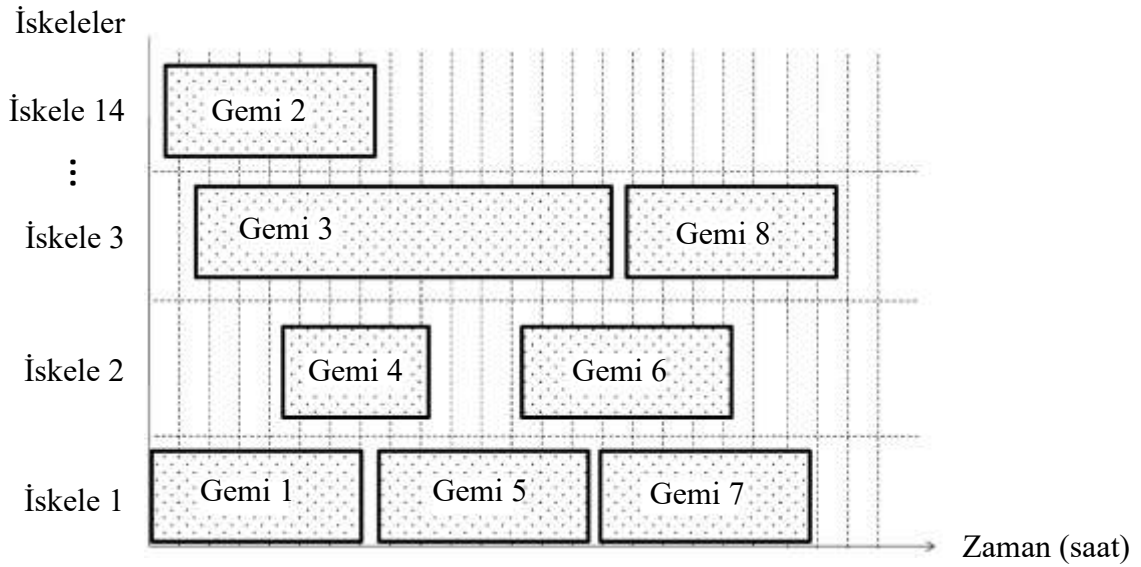


Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(33.9, 18.9)
Square Error:	0.015668
Chi Square Test	
Number of intervals	= 9
Degrees of freedom	= 6
Test Statistic	= 51
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.147
Corresponding p-value	< 0.01
Data Summary	
Number of Data Points	= 300
Min Data Value	= 2
Max Data Value	= 138
Sample Mean	= 33.9
Sample Std Dev	= 19
Histogram Summary	
Histogram Range	= 2 to 138
Number of Intervals	= 17

**Şekil 18.** İşlem sürelerine ait histogram ve bilgiler.

Gemilerin işlem süresinin,  $X \sim N(33.9, 18.9)$  normal dağılımına uyduğu tespit edilmiştir.





**Şekil 20.** Dinamik gelişlerle ayrık RTP’de her bir iskele için gemi sırası.

Bu kısımda dinamik ve ayrık RTP’nin formülasyonunu ortaya koymak üzere öncelikle kümeler, parametreler ve karar değişkeni belirtilecek, ardından amaç fonksiyonu ve matematiksel model açıklanacaktır. Oluşturulan modelde rıhtımların zaman penceresi parametreleri,  $Y(i)$  ve  $K(i)$  ile gemilerin dinamiklik parametreleri ise  $L(g,i)$  ve  $U(g,i)$  ile gösterilmektedir.

### 1) Problemin Tanımı

Limanda bekleme süresini en küçükleyecek şekilde gemileri iskelelere tahsis etme.

### 2) Kümeler

$G = \{1, \dots, g\}$  Gemi kümesi

$\dot{I} = \{1, \dots, i\}$  İskele kümesi

$R = \{1, \dots, r\}$  Zaman dilimleri kümesi

### 3) Parametreler

$V(g)$  :  $g$  gemisinin limana varış zamanı (saat)

$B(g)$  :  $g$  gemisinin limandan ayrılış zamanı (saat)

$T(g)$  :  $g$  gemisinin iskeledeki işlem süresi (saat)

$D(g)$  :  $g$  gemisinin draftı (metre)

$C(i)$  :  $i$  iskelesinin draftı (metre)

$H(g)$  :  $g$  gemisinin DWT tonajı (ton)

$A(i)$  :  $i$  iskelesine yanaşabilecek en büyük geminin DWT tonajı (ton)

$Y(i)$  :  $i$  iskelesinin müsaitliğinin başlama zamanı (saat)

$K(i)$  :  $i$  iskelesinin müsaitliğinin bitiş zamanı (saat)

$L(g,i)$  :  $g$  gemisinin  $i$  iskelesine erken varış zamanı (saat)

$U(g,i)$  :  $g$  gemisinin  $i$  iskelesinden geç kalkış zamanı (saat)

#### 4) Karar Değişkeni

$$X(g,i,r) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } g \text{ gemisi } i \text{ iskelesine } r \text{ anında yanaşırsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

#### 5) Matematiksel Model

$$\text{Min } Z \sum_{g \in G} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{r \in R \\ L(g,i) \leq r \leq U(g,i) - T(g)}} X(g,i,r) * (r + T(g) - V(g)) \quad (4.1)$$

$$\sum_{g \in G} \sum_{\substack{r \in R \\ Y(i) \leq r \leq K(i) - T(g) \\ V(g) \leq r \leq B(g) - T(g) \\ (r) + 1 - T(g) \leq r \leq r}} X(g,i,r) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall r \in R \quad (4.2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{\substack{r \in R \\ L(g,i) \leq r \leq U(g,i) - T(g)}} X(g,i,r) = 1 \quad \forall g \in G \quad (4.3)$$

$$D(g) * X(g,i,r) \leq C(i) \quad \forall g \in G, \forall i \in I, \forall r \in R \quad (4.4)$$

$$H(g) * X(g,i,r) \leq A(i) \quad \forall g \in G, \forall i \in I, \forall r \in R \quad (4.5)$$

$$X(g,i,r) \in \{0,1\} \quad (4.6)$$

4.1 nolu ifade amaç fonksiyonudur. Belirlenen planlama ufku içinde limana yanaşan tüm gemilerin dinamik varışları göz önüne alınarak toplam hizmet süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. 4.2 nolu ifade, ayrık model kısıtıdır. İskelelerin ve gemilerin zaman pencereleri içinde bir iskele yatağında aynı anda sadece bir gemiye hizmet verilmesini sağlar. Bunun için, kısıta üç adet eşitsizlik entegre edilmiştir. Bu eşitsizlikler kısıtın doğru bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bunlardan ilk eşitsizlik, gemilerin iskelenin müsaitlik durumuna göre yanaşmasını sağlar. İkincisi, yanaşan geminin kendi zaman penceresi içinde hizmet almasını sağlar. Sonuncu eşitsizlik ise, iskelelere atamayı yaparken önceki gemi ile yanaşacak olan geminin çakışmamasını ve doğru bir atama yapılmasını sağlar. 4.3 nolu ifade, limana gelen her tanker gemisinin mutlaka bir iskeleye atanması gerektiğini belirtir. 4.4 nolu ifade, geminin draftına uygun olan bir iskeleye yanaşmasını sağlayan kısıttır. 4.5 nolu ifade, geminin DWT

tonajına uygun olan bir iskeleye yanaşmasını sağlayan kısıttır. 4.6 nolu ifade, karar değişkeninin tam sayı olması gerektiğini belirten işaret kısıtıdır.

### Modelin GAMS Programı İle Çözümü

Oluşturulan tam sayılı matematiksel model GAMS Studio 34 programında CPLEX 20.1 çözücüsü kullanılarak 6,634 saniyede optimum olarak çözülmüştür.

Haftalık örnek setinin bilgileri;

Gemi sayısı (g) = 13 (Veri kümesi içindeki ilk 13 gemi)

İskele sayısı (i) = 14 (Limandaki mevcut iskeleler)

Zaman dilimi (r) = 200 saat (Haftalık planlama ufku)

Veri setine ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Kullanılan Veriler

Tanker No	Tarih	IMO No	Tanker Türü	DWT (ton)	Boy-En (metre)	Draft (m) (max)	Geliş Tarihi	Gidiş Tarihi	İşlem Süresi (saat)
1	7.12.2020	*	Bitum	19968	156-25	9,27	6.12.2020 11:02	8.12.2020 01:51	38:49:00
2	7.12.2020	*	Chemical/Oil Products	6433	100-18	6	7.12.2020 10:07	8.12.2020 13:55	27:48:00
3	7.12.2020	*	Oil Products Tanker	594	51,5-8	3	7.12.2020 12:54	7.12.2020 20:31	7:37:00
4	8.12.2020	*	Crude Oil Tanker	158529	274,39-48	14,9	8.12.2020 03:37	9.12.2020 14:04	34:27:00
5	8.12.2020	*	Chemical/Oil Products	3356	95,14-13	6,1	8.12.2020 13:48	9.12.2020 10:37	20:49:00
6	10.12.2020	*	Oil Products Tanker	1646	63,6-12	4,24	10.12.2020 05:49	10.12.2020 12:29	6:40:00
7	11.12.2020	*	Oil Products Tanker	14953	154-22	8,4	11.12.2020 01:42	12.12.2020 07:45	30:03:00
8	11.12.2020	*	Oil Products Tanker	1646	63,6-12	4,24	11.12.2020 05:44	11.12.2020 15:33	9:49:00
9	11.12.2020	*	Crude Oil Tanker	105995	244-42	12,8	11.12.2020 14:33	12.12.2020 19:57	29:24:00
10	11.12.2020	*	Chemical/Oil Products	13027	129-20	8,35	11.12.2020 19:50	12.12.2020 23:15	27:25:00
11	12.12.2020	*	Oil/Chemical Tanker	49990	183-32	13,34	12.12.2020 03:03	13.12.2020 19:11	40:08:00
12	12.12.2020	*	Oil Products Tanker	1761	68-11	4,16	12.12.2020 13:59	12.12.2020 22:18	8:19:00
13	13.12.2020	*	Chemical/Oil Products	2946	90-12	5,01	13.12.2020 00:22	13.12.2020 20:54	20:32:00

GAMS Programı Çıktısı: Tablo 3'teki veriler ile iskele bilgileri GAMS programına veri olarak girildiğinde Şekil 21'deki atama sonuçları elde edilmiştir.

```

General Algebraic Modeling System
Execution

---- 211 VARIABLE X.1

      r11      r14      r17      r12      r12      r17      r19      r102      r111      r116      r123      r134      r144
g1 .17      1.000
g2 .14      1.000
g3 .12      1.000
g4 .17      1.000
g5 .11      1.000
g6 .12      1.000
g7 .15      1.000
g8 .12      1.000
g9 .17      1.000
g10.14     1.000
g11.11     1.000
g12.12     1.000
g13.12     1.000

```

**Şekil 21.** GAMS'de X karar değişkenine ait sonuç ekranı.

Oluşturulan modelde X karar değişkeninin 1 değerini alabilmesi için, g gemisinin i iskelesine r anında yanaşmış olması gerekmektedir. Şekil 21’de de iskelelere atanan gemiler 1 değeri ile gösterilmektedir. Örneğin g1 (1. gemi), i7’ye (7. iskeleye) r11 zamanında atanmıştır.

GAMS Studio 34 programında elde edilen amaç fonksiyonu değeri ile çözüme ait istatistikler Şekil 22’de verilmiştir.

```
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE DARTP Using MIP From line 230

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS      5      SINGLE EQUATIONS      74,802
BLOCKS OF VARIABLES      2      SINGLE VARIABLES      36,401
NON ZERO ELEMENTS      77,365  DISCRETE VARIABLES      36,400

GENERATION TIME      =      3.766 SECONDS      19 MB      34.3.0 rac355f3 WEX-WEI
GAMS 34.3.0 rac355f3 Released Feb 25, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows - 06/22/21 12:06:38 Page 6
General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE DARTP Using MIP From line 230

          SOLVE SUMMARY

MODEL  DARTP          OBJECTIVE  z
TYPE   MIP            DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX          FROM LINE 230

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    302.0000
```

Şekil 22. Amaç fonksiyonu değeri ve çözüme ait istatistikler.

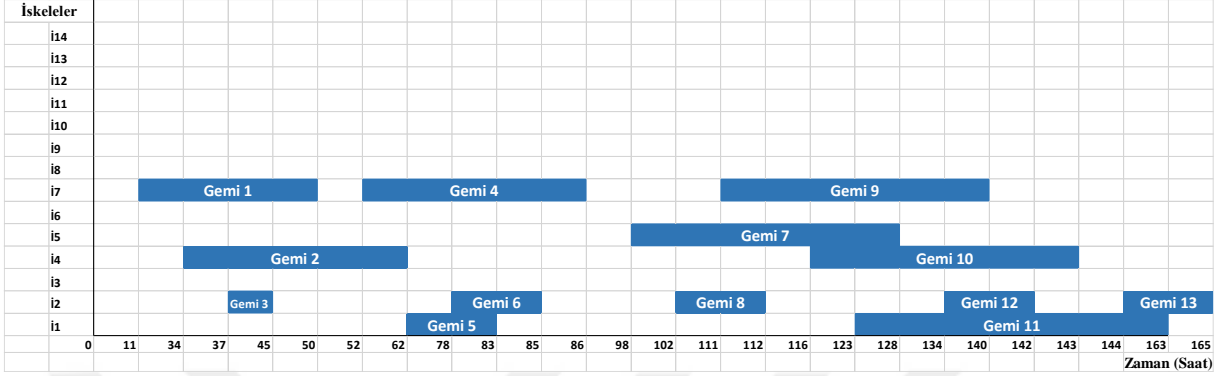
Modeldeki amaç fonksiyonu, gemilerin limanda geçirdikleri sürelerin toplamını en küçükleyecek şekilde gemileri iskelelere tahsis etmektir. Bunun bir yolu da limanda bekleme süresini en küçüklemektir. Limanda bekleme süresi ise yanaşma zamanından (r) varış zamanının (V(g)) çıkarılması ile elde edilir. Gemilerin limana varış zamanları önceden bilinmektedir, fakat yanaşma zamanları ise bilinmemektedir. Bundan dolayı yanaşma zamanının GAMS programı tarafından bulunması gerekmektedir. GAMS programı da limanda bekleme süresini en küçüklemek için gemileri limana vardıkları an yanaştırmıştır. Böylece program limanda bekleme süresini minimum (sıfır) yaparak doğru bir sonuç vermiştir. Dolayısı ile amaç fonksiyonu değeri, işlem sürelerinin toplamı (302 saat) olarak belirlenmiştir.

Varsayımlar:

- GAMS programına varsayımsal olarak gemilerin erken varış ve geç kalkış süreleri, gemi varış ve kalkış süreleri ile aynı değerde girilmiştir.
- Verilerde kullanılan zaman değerlerinin, programda işlem kolaylığı sağlaması amacıyla sadece saat kısımları dikkate alınmıştır, dakika ve saniye kısımları kullanılmamıştır. Örneğin 1. tankerin geliş saati, 11:02 iken programda geliş zamanı

saat: 11 olarak alınmıştır. Aynı şekilde işlem süresi, 38:49:00 iken sadece 39 saat olarak alınmıştır (zaman, en yakın bir saate yuvarlatılmıştır).

GAMS programından alınan sonuçların Excel ortamında değerlendirilmesiyle elde edilen çizelge gösterimi Şekil 23'te verilmiştir.



Şekil 23. GAMS programından alınan sonuçların Excel yardımı ile çizelge gösterimi.

Şekil 23'te, zaman eksenini kümülatif olarak artmaktadır. İlk zaman birimi 0'dır. Daha sonra 1. geminin geliş zamanı 11'dir ve 23 saat sonra 2. gemi gelmektedir. Dolayısıyla 2. geminin geliş planlama ufkuna göre;  $11+23=34$  saatte gerçekleşmektedir. Çizelgede sadece gemi gelişleri değil, gemilerin kalkış saatleri de gösterilmiştir. Yani çizelgenin zaman skalası, olay artırımlı olarak ilerlemektedir.

Şekil 23'te görüldüğü gibi, 13 farklı gemi 5 farklı iskeleye tahsis edilmiştir. Aynı iskeleye atanan gemilerde, önceki geminin işlemi bittikten sonra diğer gemi yanaşabilmektedir. Örneğin, gemi 1, gemi 4 ve gemi 9, 7. iskeleye tahsis edilmişlerdir. Gemi 1'in işlemi 50. saatte bitmiştir, gemi 4'ün başlaması ise 52. saatte gerçekleşmiştir. Aynı şekilde gemi 4'ün işlemi 86. saatte bitmiş, gemi 9'un başlaması ise 111. saate gerçekleşmiştir. Program draft ve DWT kısıtları altında optimum sonucu vermektedir.

Daha sonra büyük boyutlu (100 gemi ve üzeri) örnek seti için, tavlama benzetimi algoritması ile çözüm yapılmıştır.

## Tavlama Benzetimi Algoritması İle Çözüm

### *Başlangıç çözümün oluşturulması*

Bu algoritmada, başlangıç çözüm rassal olarak oluşturulmuştur. Bunun için önce rıhtım ve atanacak olan gemilerin sayıları belirlenir. Daha sonra aşağıdaki formülasyona göre tek satırlık bir matris oluşturulur.

G = gemi sayısı

R = rıhtım sayısı olsun.

Matrisin eleman sayısı = (G+R-1) olarak belirlenir. Daha sonra bu matrisin elemanlarının yerleri kendi içinde rassal olarak değiştirilir.

Örneğin;

G = 15 gemi

R = 5 rıhtım olsun.

Dolayısı ile matris 19 elemanlı olmalıdır (1x19). Rassal olarak oluşturulan bir başlangıç çözüm Şekil 24'te verilmiştir.

6	3	16	11	7	17	14	8	5	19	15	1	2	4	18	13	9	10	12
---	---	----	----	---	----	----	---	---	----	----	---	---	---	----	----	---	----	----

Şekil 24. Oluşturulan başlangıç çözümü.

Şekil 24'te 1'den 15'e kadar olan rakamlar gemileri temsil etmektedir. 15'den büyük rakamlar ise, rıhtımların hizmet vereceği gemileri ayırma işleminde kullanılır. Örneğin, bir çubuk beş parçaya ayrılmak istenildiğinde, çubuk 4 farklı yerden kesilir. Aynı şekilde yukarıdaki matriste 15'ten büyük rakamlar hizmet alacak gemileri 5 farklı rıhtıma ayırmak için kullanılmıştır. Böylece;

1. rıhtım: 6. ve 3. gemiye,
2. rıhtım: 11. ve 7. gemiye,
3. rıhtım: 14., 8. ve 5. gemilere,
4. rıhtım: 15., 1., 2. ve 4. gemilere,
5. rıhtım: 13., 9., 10. ve 12. gemilere hizmet verecektir.

Tavlama benzetimi algoritmasında, başlangıç çözümü yukarıdaki ayırıcı metotla temsil edilmiştir. Buna benzer olarak literatürde, Şekil 25'teki gibi sıfırlar ile ayırma metodu da kullanılmaktadır.

13	3	15	0	11	14	0	9	10	2	6	0	12	8	7	0	4	5	1
----	---	----	---	----	----	---	---	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---

Şekil 25. Sıfırlar ile ayırma metodu.

### *Komşu çözümün oluşturulması*

Başlangıç çözümden sonra komşu çözüm oluşturulacaktır. Bunun için, komşuluğun hangi metotla oluşturulması gerektiğine karar verilmelidir. Bu algorithmada, komşuluk swap (yer değiştirme) metodu ile belirlenecektir. Rassal olarak oluşturulan başlangıç çözüme, yer değiştirme metodunun uygulanması ile yeni bir komşu çözüm elde edilecektir. Örneğin; rassal olarak oluşturulan bir başlangıç çözüm Şekil 26'daki gibi olsun.

6	3	16	11	7	17	14	8	5	19	15	1	2	4	18	13	9	10	12
---	---	----	----	---	----	----	---	---	----	----	---	---	---	----	----	---	----	----

**Şekil 26.** Başlangıç çözüm.

Başlangıç çözümünü ele alırsak, burada rasgele olarak seçilen 7. ve 12. pozisyonadaki elemanlar yer değiştirilerek Şekil 27'deki komşu çözüm elde edilir.

6	3	16	11	7	17	1	8	5	19	15	14	2	4	18	13	9	10	12
---	---	----	----	---	----	---	---	---	----	----	----	---	---	----	----	---	----	----

**Şekil 27.** Oluşturulan komşu çözüm.

Daha sonra, algoritma Şekil 28'deki gibi başlangıç çözümü tekrar ele alıp bu defa da rasgele olarak 3. ve 17. pozisyonadaki elemanları yer değiştirerek Şekil 29'daki gibi yeni bir komşu çözüm üretir.

6	3	16	11	7	17	14	8	5	19	15	1	2	4	18	13	9	10	12
---	---	----	----	---	----	----	---	---	----	----	---	---	---	----	----	---	----	----

**Şekil 28.** Başlangıç çözüm.

6	3	9	11	7	17	14	8	5	19	15	1	2	4	18	13	16	10	12
---	---	---	----	---	----	----	---	---	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----

**Şekil 29.** Oluşturulan yeni komşu çözüm.

Bu şekilde, algoritma sonlanana dek komşuluk mekanizması yeni komşu çözümler üretmeye devam eder. Daha sonra, algoritma tarafından başlangıç çözümü ile komşu çözümün amaç fonksiyon değerleri hesaplanır. Eğer geline yer eskisine göre daha iyi bir değerse kabul edilir. Geline yer daha kötü bir değerse kötüleşme miktarı ( $\Delta$ ) bulunur ve bu değer o iterasyonun sıcaklığına bölünür. Buna bağlı olarak bir kabul olasılığı hesaplanır, sonra rassal bir sayı çekilir ve bu rassal sayı kabul olasılığından küçükse yeni geline yer kabul edilir. Çekilen rassal sayı kabul olasılığından büyükse eski çözüme geri dönlür. Tavlama benzetimi

algoritması bu şekilde çözüme devam eder ve sonlanır. Tavlama Benzetimi algoritmasının akış şeması Şekil 30’da verilmiştir.

***Algoritmada kullanılan parametre değerleri:***

İterasyon sayısı: 700 (algoritmanın kaç defa tekrar edeceğini belirler, her iterasyon bir çözüm demektir).

İterasyon arası tur sayısı: 20 (tavlama benzetimi algoritmanın bir özelliğidir, her sıcaklık için gerçekleştirilecek iterasyon sayısıdır.)

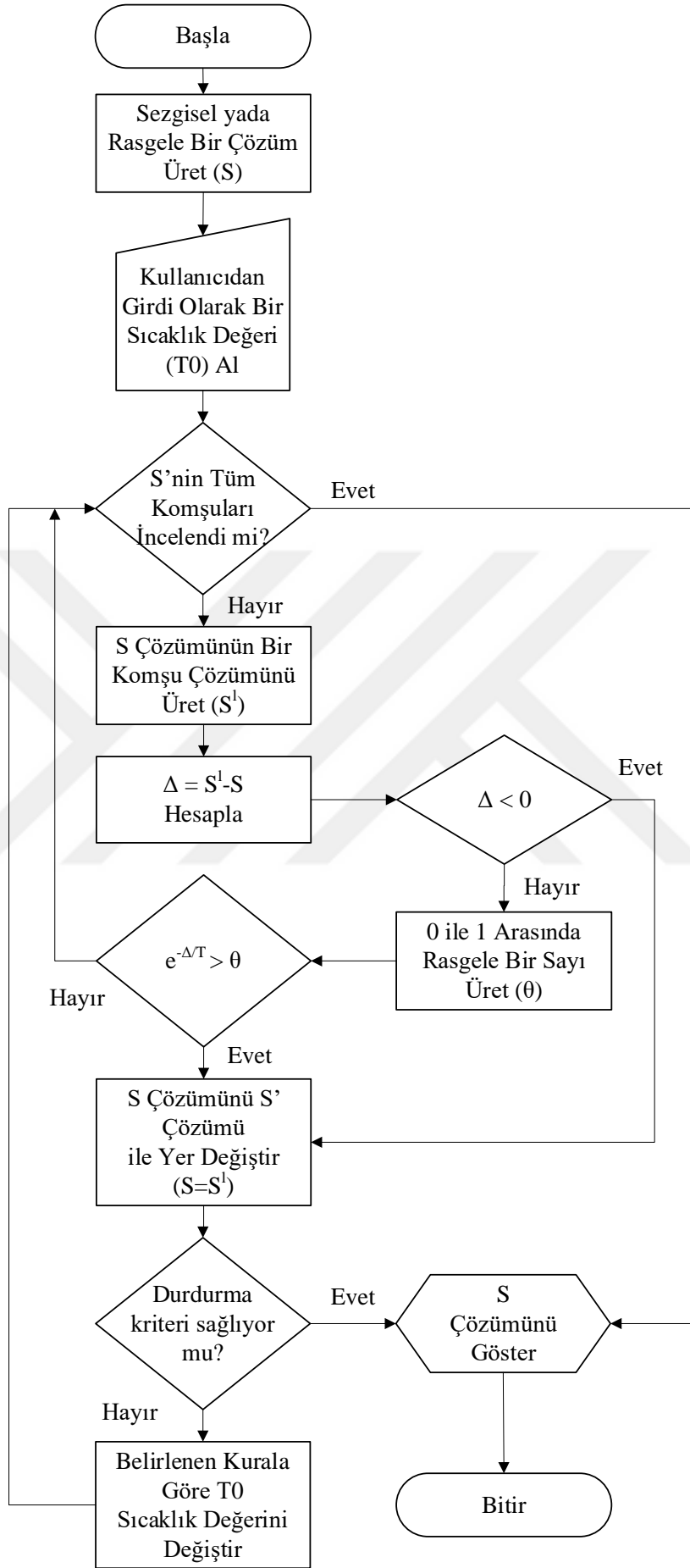
Başlangıç sıcaklığı (T0): 1000 °C olarak belirlenmiştir.

Soğutma katsayısı: 0,99 olarak seçilmiştir (soğutma tarifesi olarak, geometrik fonksiyon tercih edilmiştir).

Algoritma 100 gemi için çalıştırıldığında, çözümü 700 iterasyon için 246,618 saniyede bulabilmektedir. Çözüm süresinin uzunluğu, iterasyon sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. İterasyon sayısı arttıkça, aranılan çözüm uzayı genişlediğinden amaç fonksiyon değeri de iyileşmektedir. Parametrelere keyfi olarak değer verilebilir, fakat bu değerler de algoritmanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

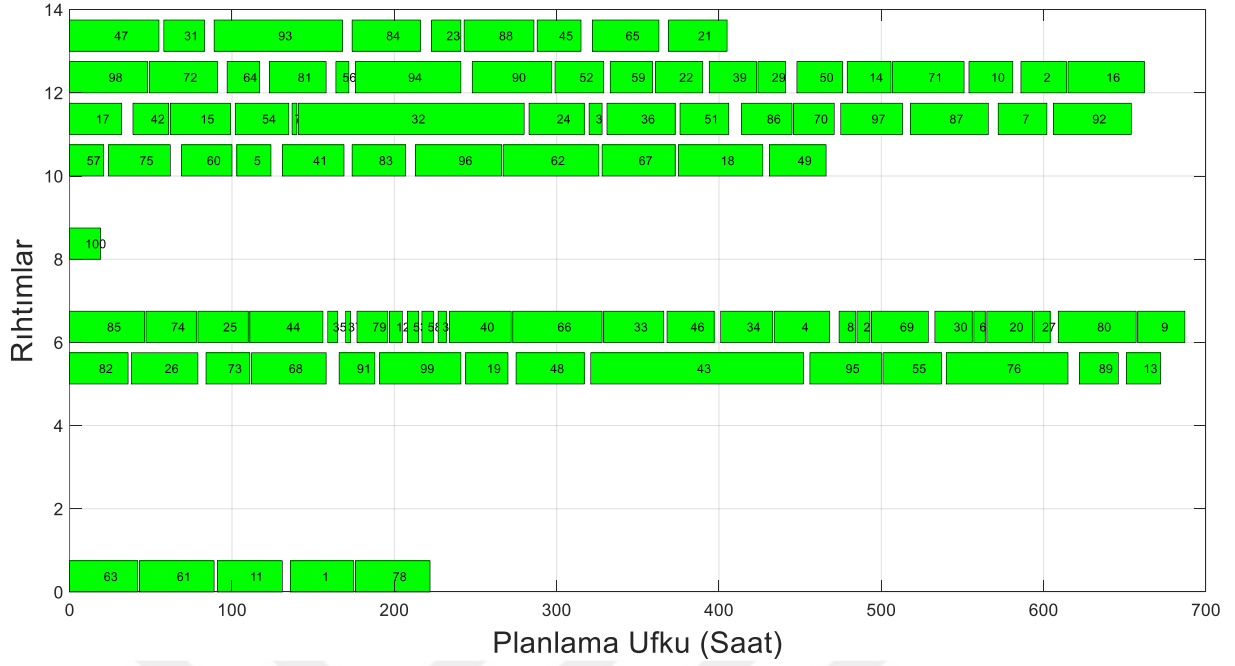
Amaç fonksiyon değeri, 997 saat olarak bulunmuştur. Algoritma DWT tonaj sınırına göre doğru olarak çalışmaktadır. Yani rıhtımlara yanaşan her geminin tonajı, rıhtımın kaldırabileceği tonaj sınırından küçük ve eşittir.

Bu çözüm, geleceğe yönelik bir planlama programı olarak tasarlanmıştır. Planlama bölümünün önceden belirlediği siparişlere göre limana çağrılacak gemilerin bilgileri ve kısıtlamalar programa girilip, programın belirlediği çizelge doğrultusunda gemiler limana çağrılacaktır. Planlama, geleceğe dönük olduğu için çizelgenin başlayacağı bir zaman dilimi seçmek gerekmektedir. Şekil 31’de ilk zaman dilimi 0 olarak seçilmiştir.



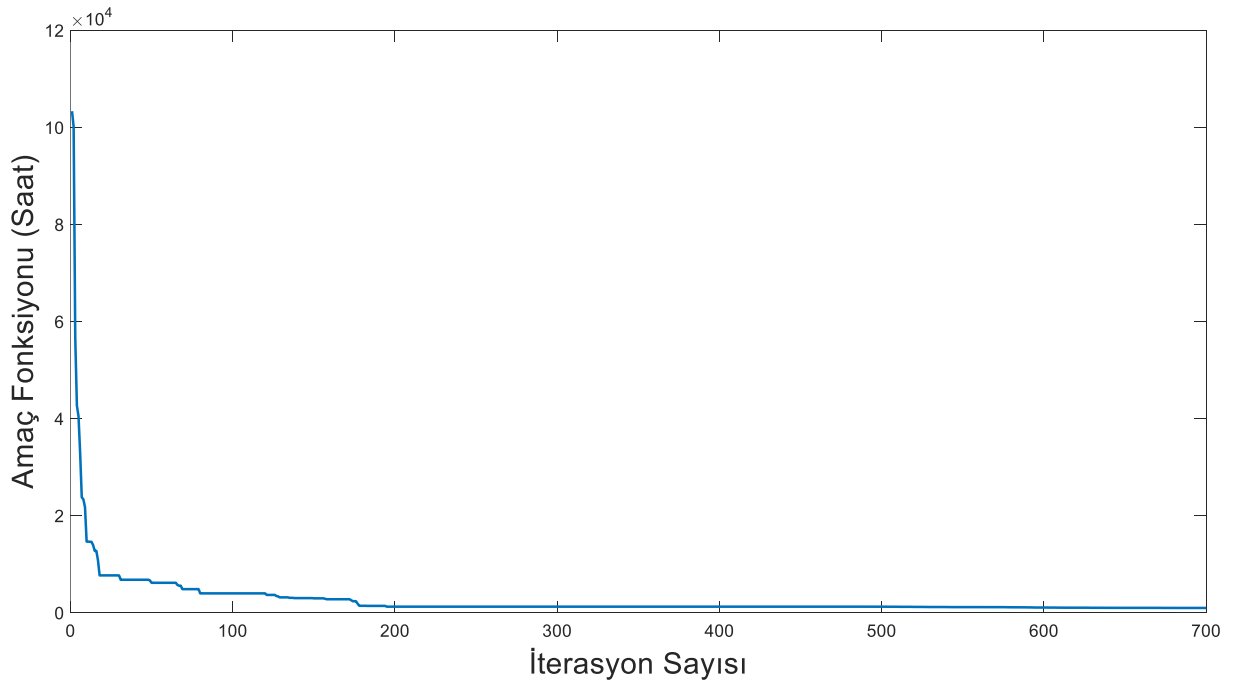
Şekil 30. Tavlama benzetimi algoritmasının akış şeması

Algoritmanın MATLAB çıktısı Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. 100 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi

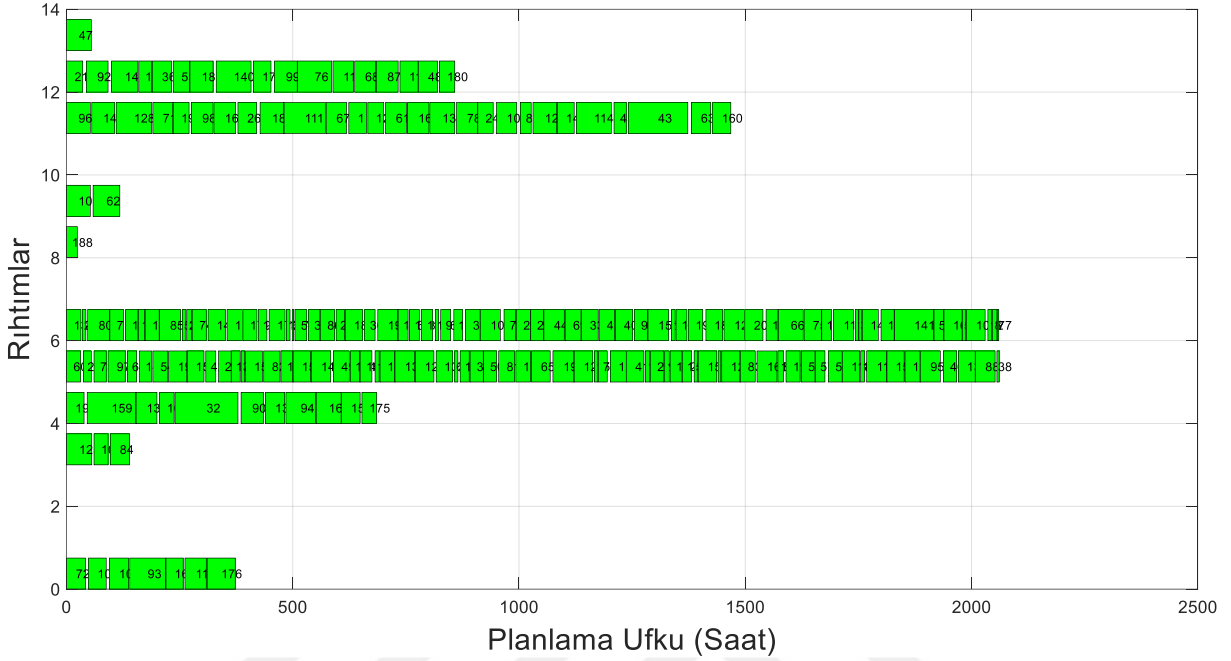
Şekil 31’deki çizelgede, yeşil kutucuklar gemileri temsil etmektedir. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır. Ayrık rıhtım tahsis probleminde aynı zaman diliminde, aynı iskelede birden fazla gemi olamaz. Dolayısı ile çizelge doğru şekilde planlanmıştır. Tavlama Benzetimi algoritması kullanılarak 100 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin grafiği Şekil 32’de verilmiştir.



Şekil 32. 100 gemi için amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği

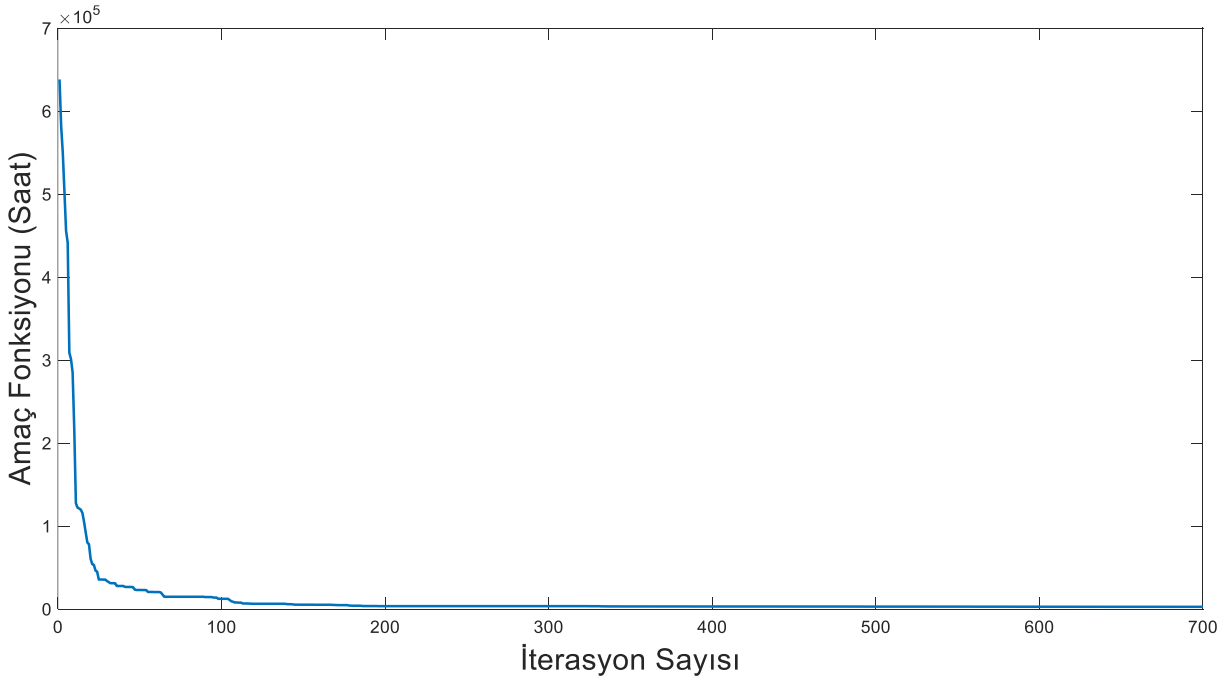
Şekil 32'deki grafik incelendiğinde iterasyon sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerlerinin monoton olarak azaldığı (amaç fonksiyonunda iyileşme sağlandığı) görülmektedir.

Şekil 33'de 200 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır.



Şekil 33. 200 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi

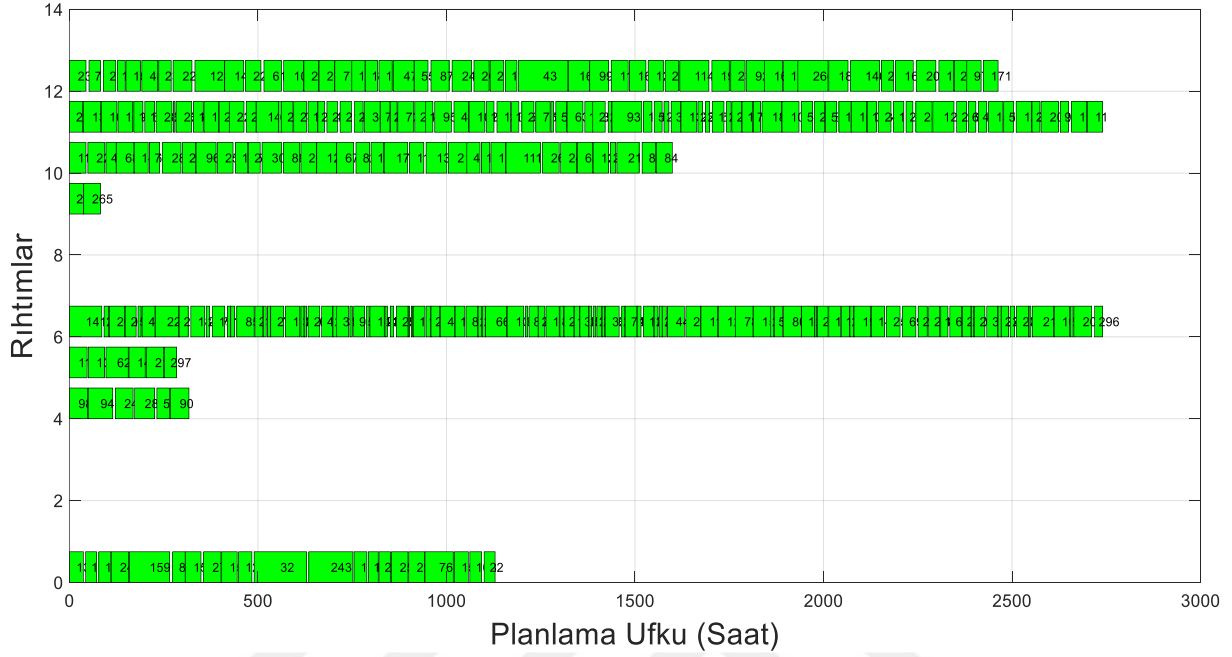
200 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin grafiği Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34. 200 gemi için amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği

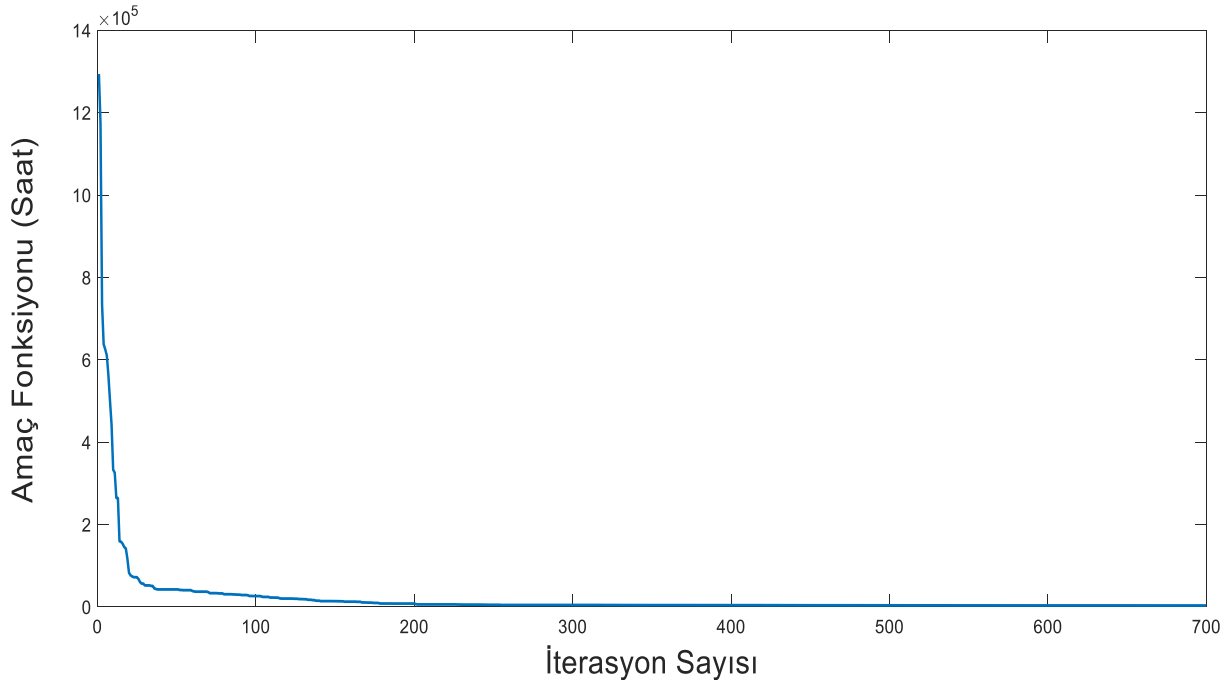
Şekil 34'deki grafik incelendiğinde iterasyon sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerlerinin monoton olarak azaldığı görülmektedir.

Şekil 35'te veri grubunun tamamı kullanılarak 300 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır.



Şekil 35. 300 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi

300 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin grafiği Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. 300 gemi için amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği

Şekil 36'daki grafik incelendiğinde iterasyon sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerlerinin monoton olarak azaldığı görülmektedir.

Matematiksel modelden elde edilen çözüm sonuçları ile Tavlama Benzetimi algoritmasından elde edilen çözüm sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi Algoritmasının Karşılaştırılması

Gemi Sayısı	İskele Sayısı	GAMS Studio CPLEX		Tavlama Benzetimi		
		Amaç Fonksiyonu (Saat)	Hesaplama Süresi (Saniye)	Amaç Fonksiyonu (Saat)	Hesaplama Süresi (Saniye)	İterasyon Sayısı
10	7	233	10,316	233	6,910	100
15	7	366	13,802	366	8,548	100
20	7	551	16,708	551	9,946	100
25	7	699	20,999	699	11,574	100
30	7	798	24,383	798	12,113	100
10	14	233	18,706	233	8,302	100
15	14	366	25,263	366	9,428	100
20	14	551	32,564	551	11,213	100
25	14	699	37,211	699	18,252	150
30	14	798	45,159	798	19,715	150
100	14	-	-	997	246,618	700
200	14	-	-	2639	522,555	700
300	14	-	-	3601,4	787,463	700

Tablo 4'te her iki çözüm yönteminin karşılaştırılması gösterilmiştir. GAMS ile büyük boyutlu örnekler çözülemediğinden, ilgili alanlar boş bırakılmıştır.

Şekil 32, Şekil 34 ve Şekil 36'daki grafikler incelendiğinde, amaç fonksiyonu değeri ilk iterasyonlarda çok büyük bir değerden başlamaktadır. İterasyon sayısı arttıkça, Tavlama Benzetimi algoritmasının çözüm uzayında daha çok noktayı tarayacağından dolayı amaç fonksiyonu değeri iyileşmektedir. Yani lokal minimumlardan global minimuma yaklaşma olasılığı her iterasyonda daha da artmaktadır.

Metasezgisel algoritmanın performansı küçük ve büyük boyutlu problem örnekleri üzerinde test edilmiştir. Bu problem örnekleri, gemi sayısı ve iskele sayısı çeşidine göre ayrılmaktadır. Örnek olarak, 1. problem seti: 10/7 yani 10 gemi / 7 iskeleden oluşan problemi ifade etmektedir. Tablo 4 incelendiğinde, 20 gemiye kadar CPLEX ile Tavlama Benzetimi algoritması aynı amaç fonksiyonu değerlerine sahiptir ve algoritma aynı amaç fonksiyonu değerlerini daha kısa sürede bulmuştur. Farklı iterasyon sayıları ile karşılaştırma yapmak doğru olmadığından karşılaştırma 20 gemiye kadar yapılmalıdır. 20 gemiden sonrası 100 iterasyonda çözülememiştir bu yüzden iterasyon sayısı 150'ye çıkarılmıştır.

Algoritma, 300 gemiye kadar olan problemleri 700 iterasyon ile çözebilmiştir. Gemi sayısı artırıldığında program tarafından iş yükü artacağından çözüm süresi de artmaktadır.



## SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir petrol şirketine ait rıhtımlara yanaşan gemilerin optimum geliş sıraları ve yanaştırılacak rıhtım konumları belirlenmiştir. Bunun için dinamik ve ayırık rıhtım tahsis problemi ele alınmıştır. Problem, önce tam sayılı matematiksel model ile daha sonra bir metasezgisel algoritma olan tavlama benzetimi algoritması ile çözülmüştür. Matematiksel model, gemiler ve rıhtımlar için tonaj ve draft kısıtları dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Problem, önceden toplanan 300 adet geminin verisi ile test edilmiştir. Matematiksel modelin çözümünde GAMS Studio 34 programı kullanılmıştır. Büyük boyutlu örneklerin çözümünde kullanılan tavlama benzetimi algoritması ise MATLAB R2019b programında geliştirilmiştir.

Başlangıçta, problemi çözebilmek için incelenen limana özel bir tam sayılı matematiksel model geliştirilmek istenmiştir. Veriler toplandıktan sonra, belirlenen kısıtlar doğrultusunda model oluşturulmuştur. Fakat bu model sadece gemilerin varış zamanları önceden bilindiği durumlar için kullanılabilirdi ve büyük örnek setleri için kullanışlı değildi. Daha sonra ileriye dönük bir planlama (aylık veya yıllık gibi) modeli oluşturacak bir çözüm metodu geliştirilmek istenmiştir. İleriye dönük planlamada, hangi geminin limana varış yapacağı bellidir. Fakat gemilerin varış zamanlarının önceden bilinmediği varsayılır, böylece varış zamanlarını ve yanaştırılacak rıhtım konumlarını planlayan bir algoritma geliştirilmesi gerekir. Bu problemin çözümünde tavlama benzetimi algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir.

Tavlama benzetimi algoritması çözüm uzayını taramada oldukça başarılıdır. Algoritma, geçmişte aranan noktaların bir kaydını tutmamaktadır, dolayısı ile benzer noktaları birkaç kez değerlendirme imkânı sunmaktadır. Ayrıca, başlangıç çözümüne bağlılığı olan bir algoritmadır. Bu yüzden, başlangıç çözüm optimum noktaya ne kadar yakın olursa algoritma o kadar hızlı sonuç verecektir. Çözüm süresi, iterasyon sayısı ile doğru orantılıdır. Bu ise optimum noktaya yaklaşma yatkınlığı olduğunda, çözüm süresini artırmaktadır. Fakat gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde bu sürelerde zamanla azalma meydana gelmektedir.

Bu sonuçlara göre, küçük boyutlu (gemi sayısı 30'a kadar olan) problemlerde her iki yöntemin de güçlü ve planlama ufkuna bağlı olarak uygulanabilir olduğu görülmüştür. Büyük boyutlu (gemi sayısının 30'dan büyük olduğu) problemlerde ise tavlama benzetimi algoritmasının daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekteki araştırmalar için ise öneriler şu şekildedir: Bu araştırmada, rıhtıma yanaşan tankerlerin sadece draft ve tonaj kısıtlamaları dikkate alınmıştır. Ancak, gerçek hayatta bir

geminin limana yanaşmasını etkileyen faktörler göz önüne alındığında; denizdeki gelgit durumları, şiddetli fırtınalar, rıhtımlardaki bakım ve onarım faaliyetleri gibi gemilerin rıhtıma yanaşmasını zorlaştıracak birçok etmen söz konusudur. Bu nedenle gelecekte yapılacak olan araştırmalar bu faktörleri dikkate alarak rıhtım operasyonları için daha kullanışlı bir model geliştirebilirler. Ayrıca matematiksel model, çok amaçlı olarak da oluşturulabilir. Elverişsiz hava koşulları göz önüne alındığında belirsiz gemi elleçleme sürelerine sahip RTP'ler de incelenebilir.

Gelecekteki çalışmalar, DARTP'yi makul bir sürede çözebilmek için daha etkili buluşsal metotlar geliştirebilirler. Özellikle büyük boyutlu örneklerin çözümü için farklı metasezgisel yöntemler geliştirilebilir (tabu arama algoritması, genetik algoritma, vb.). Ayrıca DARTP'nin çözümü için hibrit modeller oluşturmak da ilgi çekici olabilir.



## KAYNAKLAR

- Adrian, F. and Simatupang, T. M., 2014. Crude Oil Supply Chain Optimization At Pt Pertamina Indonesia. 6th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Bali.
- Aslanhan, U. (2018, Mayıs 30). Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşları belli oldu. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyenin-en-buyuk-sanayi-kuruluslari-belli-oldu/1160373>
- Bierwirth, C. and Meisel, F., 2010. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 202 (2010), pp. 615-627
- Bozkurt, E. (2021, Ocak 6). BTC'den geçen yıl 210 milyon 767 bin varil petrol aktı. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/btc-den-gecen-yil-210-milyon-767-bin-varil-petrol-akti/2099839#!>
- Cordeau, J.F. and Laporte, G. and Legato, P. and Moccia, L., 2005. Models and Tabu Search Heuristics for the Berth-Allocation Problem. *Transportation Science*, Vol. 39, No. 4, 2005, pp. 526–538.
- Çakır, B., 2006. Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Farndon, J., 2015. Yakından Tanıyın - Petrol. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 72 s, Ankara.
- Feng, X. and Hu, S. and Gu, W. and Jin, X. and Lu, Y., 2020. A simulation-based approach for assessing seaside infrastructure improvement measures for large marine crude oil terminals. *Transportation Research Part E*, 142 (2020) 102051.
- Ganji, S.R.S. and Babazadeh, A. and Arabshahi, N., 2010. Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using a genetic algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*, 408–416 (2010).
- Golias, M. M and Boile, M. and Theofanis, S., 2010. Discrete Berth-Scheduling Problem Toward a Unified Mathematical Formulation. *Journal of the Transportation Research Board*, (2010) pp. 1–8.
- Güden, H., Vakvak, B. ve Özkan B.E., Altıparmak F., Dengiz B., 2005. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi Cilt 16 Sayı 1 Syf (2-15)*.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., Bildik, E., 2008. Reverse Logistics Network Design: A Simulated Annealing Approach. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol./Cilt 26 Issue/Sayı 1.
- Hannemann, O., 2012. Açık Deniz Haritası. Almanya, <https://map.openseamap.org/> (24.06.2021)
- Hokmabadi, R.N., Eini, S., 2018. Orta Doğu ve Hazar Bölgesinde Petrol ve Petrol Ürünlerinin Taşımacılığı Yönetiminde Yeni Politikalar ve Stratejiler. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 117 s, Ankara.
- Imai, A. and Nishimura, E. and Papadimitriou, S., 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35 (2001), pp. 401-417
- Jhonson, S. and Aragon, C. and Mccgeoch, L. and Schevon, C., 1989. Optimization By Simulated Annealing: An Experimental Evaluation. *Operations Research*, 37, 865-892.

- Karaboğa, D., 2020. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayıncılık, 231 s, Kayseri.
- Kavoosi, M. and Dulebenets, M. A., 2019. Berth scheduling at marine container terminals A universal island-based metaheuristic approach. *Maritime Business Review*, Vol. 5 No. 1, (2020) pp. 30-66.
- Kim, K. H. and Moon, K. C., 2003. Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B*, 37 (2003) 541–560
- Kirkpatrick, S. and Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680.
- Kordic, S. and Davidovic, T. and Kovac, N. and Dragovic, B., 2016. Combinatorial approach to exactly solving discrete and hybrid berth allocation problem. *Applied Mathematical Modelling*, 40 (2016), 8952-8973.
- Kovac, N., 2017. Survey Metaheuristic Approaches For The Berth Allocation Problem. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 27 (2017), Number 3, 265–289.
- Kuhn, A., 2021. Isıl İşlem. Almanya, <https://www.kuhn-edelstahl.com/heat-treatment/> (24.06.2021)
- Lin, S.W. and Ting, C.J., 2013. Solving the dynamic berth allocation problem by simulated annealing. *Engineering Optimization*, 2013.
- Lin, S.W. and Ying, K.C. and Wan, S.Y., 2014. Minimizing the Total Service Time of Discrete Dynamic Berth Allocation Problem by an Iterated Greedy Heuristic. *The Scientific World Journal*, 2014, Article ID 218925, 12 pages.
- Meisel, F. and Bierthwirth, C., 2009. Heuristics for the integration of crane productivity in the berth allocation problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2009, Pages 196-209.
- Metropolis, N. and Rosenbluth, A. and Rosenbluth, M. and Teller, A. and Teller, E., 1953. Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21 1087-1092, 1953.
- Mohammadi, M. and Forghani, K., 2018. Solving a stochastic berth allocation problem using a hybrid sequence pair-based simulated annealing algorithm. *Engineering Optimization*.
- Monaco, M.F. and Sammarra, M., 2007. The Berth Allocation Problem: A Strong Formulation Solved by a Lagrangean Approach. *Transportation Science*, 41(2):265-280.
- Narin, Ö., 2009. Column Generation Approach For Dynamic Berth Allocation Problem. MS Thesis, Koç University Graduate School of Sciences and Engineering, İstanbul.
- Oliveira, R.M. and Mauri, G.R. and Lorena, L.A.N., 2012. Clustering Search for the Berth Allocation Problem. *Expert Systems with Applications*, 39 (2012), 5499-5505.
- Rodrigues, I. B. G. and Rosa, R. A. and Gomes, T. C. and Riberio, G. M., 2016. Mathematical model for the Berth Allocation Problem in ports with cargo operation limitations along the pier. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 23, n. 4, p. 771-786, (2016).
- Rosa, R. A. and Riberio, G.M. and Mauri, G. R. and Fracaroli, W., 2017. Planning the berth allocation problem in developing countries with multiple cargos and cargo priority by a mathematical model and a clustering search metaheuristic. *Int. J. Logistics Systems and Management*, Vol. 28, No. 4, (2017).
- Sheikholeslami, A. and Mardani, M. and Ayazi, E. and Arefkhani, H., 2019. A Dynamic and Discrete Berth Allocation Problem in Container Terminals Considering Tide Effects.

Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, volume 44, pages 369–376 (2020).

Su çekimi. (2021, Nisan 21). İçinde *Wikipedia*. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Su\\_çekimi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Su_çekimi)

Şahin, R., 2004. Çok Kriterli Dinamik Tesis Düzenleme Probleminin Tavlama Benzetimi İle Çözülmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Taş, O., 2007. Havayolu Şirketlerinde Uçuşların Atanması Probleminin Tavlama Benzetimi İle Çözülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Ting, C. J. and Wu, K. C. and Chou, H., 2014. Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem. *Expert Systems with Applications*, (2014) 1543–1550.

TÜBİTAK Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi (Sayfa:8)

Tüpraş: 2015 İzmit Rafinerisi Limanı Tehlikeli Madde Rehberi.

Tüpraş: 2019 Sürdürülebilirlik Raporu.

Türk Dil Kurumu Yazım Kılavuzu. 27. Baskının Tıpkıbasımı, Ankara, 2018.

Türk Uluslararası Gemi Sicili Kanunu (Kanun Numarası: 4490) , Resmî Gazete 23913, Tarih: 21/12/1999.

Umang, N. and Bierlaire, M. and Vacca, I., 2013. Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume:54, 14-31.

Xu, Y. and Xue, K. and Du, Y., 2018. Berth Scheduling Problem Considering Traffic Limitations in the Navigation Channel. *Sustainability* 2018, 10(12), 4795.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
<b>Adı Soyadı:</b>	Engin BAŞBÜYÜK
<b>Doğum tarihi:</b>	
<b>Doğum Yeri:</b>	
<b>Uyruğu:</b>	
<b>Adres:</b>	
<b>Tel:</b>	
<b>E-mail:</b>	
Eğitim	
<b>Lise:</b>	Mehmet Tekinalp Anadolu Lisesi
<b>Lisans:</b>	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
<b>Yüksek lisans:</b>	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
<b>İngilizce:</b>	Orta