



AYRIK RIHTIM TAHSİS PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ VE BİR UYGULAMA

Engin BAŞBÜYÜK¹, Cafer ÇELİK^{2*}

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Erzurum ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-4667-5508>

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7025-2647>

Anahtar Kelimeler

Öz

Rihtim tahsis problemi, Tam sayılı doğrusal programlama, Tavlama benzetimi algoritması

Bu çalışmada, bir limana gelen petrol tankerlerinin gemi-rihtim programının optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Problemin çözümü için limana yanaşan üç yüz adet geminin verisi toplanmıştır. İncelenen problem literatürde ayrik rihtim tahsis problemi olarak geçmektedir. Rihtim tahsis probleminin temel amaçlarından biri de gemilerin limanda bekleme süresini en küçükleyecek şekilde gemilerin rihtime yanaşma sırasını belirlemektir. Bu amaçla tam sayılı doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Modelde, rihtime 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. Tam sayılı doğrusal programlama modeli küçük boyutlu örnek grubunu sorunsuzca çözmüştür. Tam sayılı doğrusal programlama modelinin çözümü ile karşılaştırıldığında, büyük boyutlu örnek setleri için geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasının aynı problemleri daha kısa sürede çözdüğü görülmüştür. Küçük boyutlu problemlerde her iki yöntemin de, güçlü ve planlama ufkuyla bağlı olarak uygulanabilir olduğu

*Sorumlu yazar; e-posta : cceлик@atauni.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1323626>

anlaşılmıştır. Büyük boyutlu problemlerde ise tavlama benzetimi algoritmasının uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

SOLUTION OF DISCRETE BERTH ALLOCATION PROBLEM AND AN APPLICATION

Keywords	Abstract
<i>Berth Allocation Problem, Integer Linear Programming, Simulated Annealing Algorithm.</i>	<i>This study aims to optimize the docking program of oil tankers. Data set is collected from three hundred docking ships in order to solve the problem. The evaluated problem is known in the literature as the discrete berth allocation problem. One of the main purposes of the berth allocation problem is to determine the docking sequence of ships by minimizing the waiting time of each ship in the dock. To that end, we used integer linear programming. Tonnage and draft constraints of the docking ships were also taken into consideration in the model. In addition, was developed a metaheuristic algorithm converges the result to the most reasonable solution, especially in large-scale problems. Integer linear programming successfully solved the problem of the small sample group. Also, the simulated annealing algorithm developed for larger sample groups provided the same results, however, in a shorter timeframe than the integer model. In conclusion, it has been understood that both methods were strong and applicable depending on the planning horizon in small-size problems. In big-size problems, it has been detected that simulated annealing algorithms were applicable.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 13.07.2023	Submission Date : 13.07.2023
Kabul Tarihi : 05.04.2024	Accepted Date : 05.04.2024

1. Giriş

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 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 (TÜBİTAK Vizyon 2023, 2002).

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 kısmı sağlar. Liman verimliliği, işletme maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir etmendir.

Bu çalışmada, bir petrol şirketinin liman kısmında bulunan sınırlı sayıda rıhtım alanını, gelen tanker gemilerine tahsis etmek ve rıhtım 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 rıhtım bulunmaktadır. Rıhtımlarda farklı büyüklükte beş çeşit ürün taşıyan tanker yanaşabilmektedir. Her tanker kendi tonajına ve draftına uygun olan rıhtımı kullanabilmektedir. Tankerlerin rıhtım işgal süreleri dikkate alınarak, Gemi-Rıhtım Programı'nın aylık olarak Tam Sayılı Doğrusal Programlama (TSDP) yardımıyla oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada Ayrık Rıhtım Tahsis Problemi (ARTP) ele alınmaktadır. ARTP, belli bir planlama ufku içinde, rıhtım 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 rıhtıma sadece bir adet gemi yanaşabilmektedir (ayrık model) ve gemiler limana en erken ve en geç geliş süresi ile dinamik olarak varmaktadır (dinamik model). Ayrıca rıhtımlara yanaşan gemilerin draft ve Deadweight Tonaj (DWT) kısıtları, yanaştırılacak rıhtımın DWT ve draft sınırından küçük eşit olmalıdır. Dinamik Ayrık Rıhtım Tahsis Problemi (DARTP) 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 özeti

sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, geliştirilen TSDP modeline ve optimum çözümüne yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, metasezgisel algoritmanın tanıtımı yapılmıştır. Beşinci bölümde ise algoritmanın sonuçları verilir ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar ve diğer araştırmacılar için önerilere yer verilmiştir.

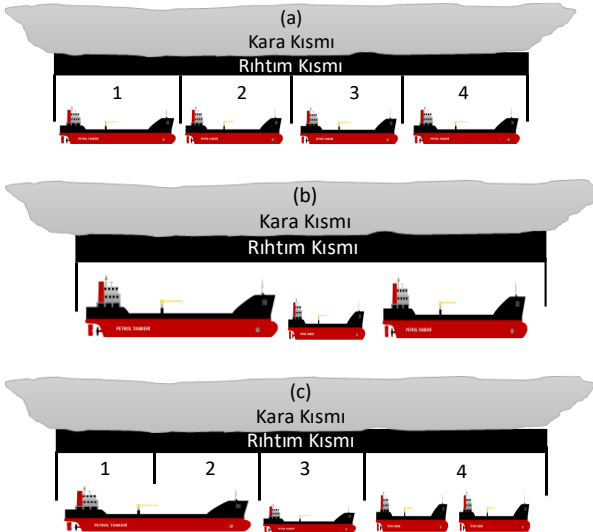
2. Literatür Taraması

RTP ile ilgili çalışmalar 1990'ların ortalarından beri literatürde yer almaktadır. Aşağıda RTP ile ilgili literatürdeki çalışmalara ve çözüm yöntemlerine yer verilmiştir.

Literatürde RTP mekânsal ve zamansal değişikliklere göre sınıflandırılmıştır:

- Ayrık, sürekli ve karma yanaşma alanı,
- Statik ve dinamik gemi varışları,
- 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 1a). Sürekli modelde rıhtım bölümlendirmesi yoktur, yani gemiler istediği yere yanaşabilmektedir (Şekil 1b). 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 1c).



Şekil 1. Literatürdeki RTP 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).

Imai, Nishimura ve Papadimitriou (2001) DRTP konusunu ilk önerenlerdendir. Gemi elleçleme süresinin tayin edilen rıhtıma bağlı olduğu varsayılmaktadır. Bu model, Imai, Nagaiwa ve Tat (1997)'deki Statik Rıhtım Tahsis Problemi (SRTP) için geliştirilen modelin bir uzantısıdır. Bu çalışmada, DRTP'nin karma tam sayılı programlama formülasyonu ve bu formülasyonun Lagrange gevşemesi sunulmaktadır. İlk olarak, rıhtım tahsisinin basit versiyonu olan SRTP için formülasyon tartışılmış ve daha sonra DRTP'ye genişletilmiştir. Örnek boyutları en fazla 50 gemi ve 10 rıhtım içermektedir.

Kim ve Moon (2003) ise, RTP için TSDP 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 (TB) Algoritması önerilmiştir.

Cordeau, Laporte, Legato ve Moccia (2005) çalışmalarında RTP'yi bir Çok Depolu Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ÇDZPARP) olarak modellemektedir. Amaç, toplam gemi hizmet süresini en aza indirmektir. Ayrıca, liman boyunca farklı rıhtımlar, her gemi için farklı bir elleçleme süresine sahiptir. 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.

Golias, Boile ve Theofanis (2010), ayrıık rıhtım tahsis problemini incelemişlerdir. İskelelere gelen gemileri atamak için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve CPLEX çözücüsü ile optimum sonuca ulaşmışlardır.

Lin ve Ting (2013) DRTP'nin iki versiyonunu (ayrık ve sürekli RTP) incelemişlerdir. DRTP'yi çözmek için Tavlama Benzetimi Algoritması kullanılmıştır. Kullanılan algoritma, Memetik Algoritma ve Kümeleme Algoritması ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç vermiştir.

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

Ting, Wu ve Chou (2014), gemileri ayrıık olarak rıhtım konumlarına atayan ve tüm gemiler için toplam bekleme sürelerini ve elleçleme sürelerini en aza indiren DARTP'yi incelemişlerdir. RTP için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuşlardır. RTP'yi çözmek için bir parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yaklaşımı önerilmiştir.

Rodrigues, Rosa, Gomes ve Riberio (2016) bir petrol şirketine ait kargo limanında, bir rıhtımın belirli yanaştırma kısıtlarını göz önüne alarak SRTP için matematiksel bir model önermişlerdir. Modelin 440 metre rıhtım uzunluğu ve 147 adet gemi için (24 günlük planlama ufku) CPLEX 12.6 programında optimum çözümü yapılmıştır.

Rosa, Riberio, Mauri ve Fracaroli (2017), rıhtımların zaman ve yer kısıtları altında RTP'yi incelemişlerdir. Çözüm için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model önce rıhtım sayısı 4-15 adet ve gemi sayısı 10 iken CPLEX programı ile en uygun şekilde çözülebilmıştır. Daha sonra rıhtım sayısı 4-7 adet ve gemi sayısı 50-250 arasında iken Kümeleme Algoritması ile çözülmüştür.

Xu, Xue ve Du (2018) limanların seyrüsefer kanallarındaki trafik sınırlamalarını dikkate alan yeni bir RTP 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.

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

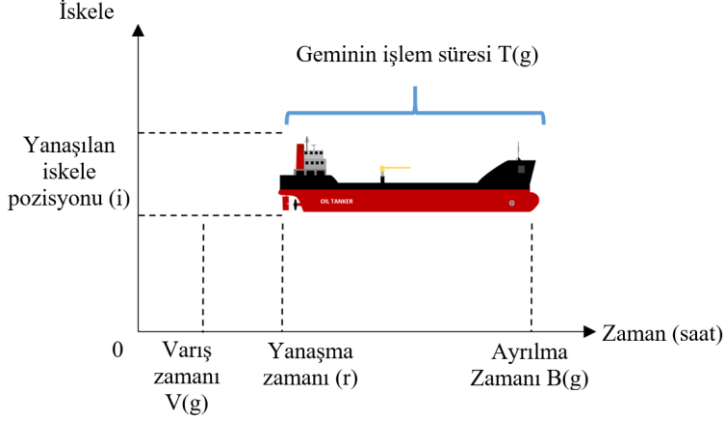
Feng, Hu, Gu, Jin ve Lu (2020) Çin'deki Rizhao Shihua Petrol Şirketi'nin deniz kenarı altyapı iyileştirme önlemlerinin, petrol üretimini nasıl artırabileceğini, tanker gecikmelerini nasıl azaltabileceğini ve planlama faaliyetlerinin sistem maliyetini nasıl en aza indirebileceğini incelemek için bir simülasyon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

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, ARTP'nin draft ve dwt kısıtları ile birlikte kullanımı incelenmiştir.

3. Rıhtım Tahsis Problemi Matematiksel Modeli

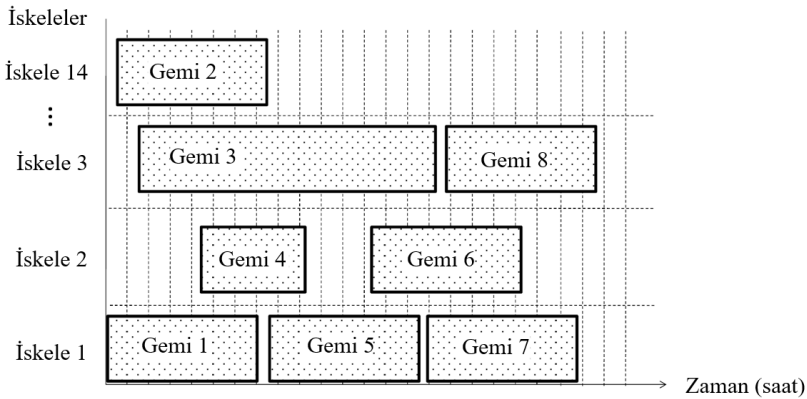
Bu kısımda, çalışma için geliştirilen matematiksel model tanıtılacaktır. RTP, limana gelen gemilerin yanaşma pozisyonlarına atanması ile ilgilenmektedir. Problemi iki boyutlu bir uzayda tanımlamak mümkündür. Bir boyut rıhtımları diğeri ise genellikle bir hafta olan planlama ufkunu göstermektedir. Gemiler, boyu işlem süresi olan, eni ise yanaşılan rıhtım pozisyonunu temsil eden dikdörtgenler olarak gösterilmektedir (Şekil 2). İşlem süresi, geminin rıhtımda geçirdiği süre olarak tanımlanırken, servis (*hizmet*) süresi ise geminin limanda geçirdiği toplam süredir (*bekleme süresi ile işlem süresinin toplamı*). Bekleme

süresi, geminin rıhtıma yanaşma zamanından limana varış zamanının çıkarılması ile elde edilmektedir.



Şekil 2. Temel Parametreleri Gösteren İki Boyutlu İskele - Zaman Grafiği

Ayrık RTP, her rıhtıma aynı anda sadece bir gemi yanaşmasına izin verir. Bir rıhtıma birden fazla gemi yanaşabilmesi için, yeni gelen geminin yanaşma zamanının işlem gören geminin ayrılma zamanından büyük olması gerekmektedir. Ayrık RTP’de gemilerin rıhtımlara yanaşma sıralarının iki boyutlu uzayda gösterimi Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’deki dikdörtgenler, rıhtım konumları ve planlama ufku değerleri ihlal edilmeyecek şekilde birbirleriyle çakışmadan grafiğe yerleştirilmelidir.



Şekil 3. Ayrık RTP’de Her Bir İskele İçin Gemi Sırası

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

Modelde planlama ufkunda zaman bölümlerini ifade edebilmek için "r" indisi tanımlanmıştır. Birimi ise saattir.

3.1. Model Tanımlamaları

Kümeler

- $G = \{1, \dots, g\}$ Gemi kümesi
 $I = \{1, \dots, i\}$ Rıhtım kümesi
 $R = \{1, \dots, r\}$ Zaman dilimleri kümesi

Parametreler

- $V(g)$: g gemisinin limana varış zamanı (saat)
 $B(g)$: g gemisinin limandan ayrılış zamanı (saat)
 $T(g)$: g gemisinin rıhtımdaki işlem süresi (saat)
 $D(g)$: g gemisinin draftı (metre)
 $C(i)$: i rıhtımının draftı (metre)
 $H(g)$: g gemisinin DWT tonajı (ton)
 $A(i)$: i rıhtımına yanaşabilecek en büyük geminin DWT tonajı (ton)
 $Y(i)$: i rıhtımının müsaitliğinin başlama zamanı (saat)
 $K(i)$: i rıhtımının müsaitliğinin bitiş zamanı (saat)
 $L(g,i)$: g gemisinin i rıhtımına erken varış zamanı (saat)
 $U(g,i)$: g gemisinin i rıhtımından geç kalkış zamanı (saat)

Karar değişkeni

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

3.2. Matematiksel model

RTP'nin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir:

$$\text{Min } Z \sum_{g \in G} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{r \in R \\ L(g,i) \leq r \leq U(g,i) - T(g)}} X(g, i, r) * (r + T(g) - V(g)) \quad (1)$$

$$\sum_{g \in G} \sum_{\substack{r \in R \\ Y(i) \leq r \leq K(i) - T(g) \\ V(g) \leq r \leq B(g) - T(g) \\ (r) + 1 - T(g) \leq r \leq r}} X(g, i, r) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall r \in R \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{\substack{r \in R \\ L(g,i) \leq r \leq U(g,i) - T(g)}} X(g, i, r) = 1 \quad \forall g \in G \quad (3)$$

$$D(g) * X(g, i, r) \leq C(i) \quad \forall g \in G, \forall i \in I, \forall r \in R \quad (4)$$

$$H(g) * X(g, i, r) \leq A(i) \quad \forall g \in G, \forall i \in I, \forall r \in R \quad (5)$$

$$X(g, i, r) \in \{0,1\} \quad (6)$$

Denklem (1) amaç fonksiyonudur. Belirlenen planlama ufku içinde limana yanaşan tüm gemilerin dinamik varışları göz önüne alınarak toplam hizmet süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Denklem (2) ayrıık model kısıtıdır. İskelelerin ve gemilerin zaman pencereleri içinde bir rıhtım 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 rıhtımın müsaitlik durumuna göre yanaşmasını sağlar. İkincisi, yanaşan geminin kendi zaman penceresi içinde hizmet almasını sağlar. Sonuncu eşitsizlik ise, rıhtımlara atamayı yaparken önceki gemi ile yanaşacak olan geminin çakışmamasını ve doğru bir atama yapılmasını sağlar. Denklem (3) limana gelen her tanker gemisinin mutlaka bir rıhtıma atanması gerektiğini belirtir. Denklem (4) geminin draftına uygun olan bir rıhtıma yanaşmasını sağlayan kısıttır. Denklem (5) geminin DWT tonajına uygun olan bir rıhtıma yanaşmasını sağlayan kısıttır. Denklem (6) karar değişkeninin tam sayı olması gerektiğini belirten kısıttır.

3.3. DARTP Matematiksel modelinin GAMS programı ile çözümü

Oluşturulan tam sayılı matematiksel model, haftalık örnek seti ile 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 rıhtımlar)

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

Veri setine ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Modelin amaç fonksiyonu, gemilerin limanda geçirdikleri sürelerin toplamını en küçükleyecek şekilde rıhtımları gemilere 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.

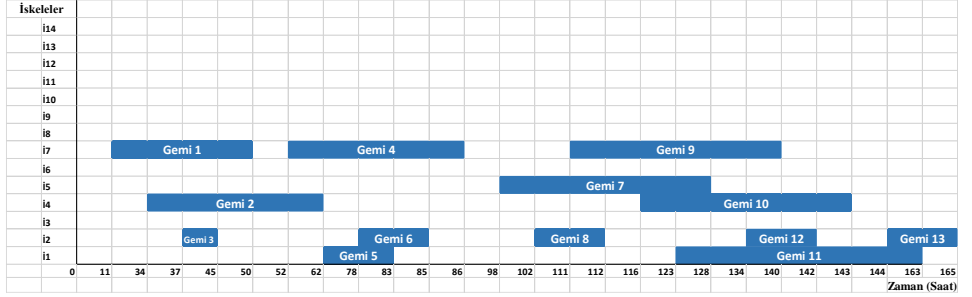
Varsayımlar:

- 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*).

Tablo 1
GAMS Programında Haftalık Planlama Ufku İçin Kullanılan Veriler

Tanker No	Tarih	IMO No	Tanker Türü	DWT (ton)	En-Boy (metre)	Draft (metre)	Geliş Tarihi	Ayrılış 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 programından alınan sonuçların Excel ortamında değerlendirilmesiyle elde edilen çizelge gösterimi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. GAMS Programından Alınan Sonuçların Excel Yardımı İle Çizelge Gösterimi

Şekil 4’de, zaman eksenini kümülatif olarak arttırmaktadır. 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 ufku göre; $11+23=34$. saatte gerçekleşmektedir. Çizelgede sadece gemi gelişleri değil, gemilerin kalkış saatleri de gösterilmiştir. Yani çizelgenin zaman skalası, olay artırımı olarak ilerlemektedir. 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.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. 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, Vakvak, Özkan, Altıparmak ve Dengiz, 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 (TB) algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis ve arkadaşları tarafından önerilmiştir (Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, Teller, Teller, 1953). TB algoritması, malzemenin sıcak banyoda soğutulmasından (tavlama olarak bilinir) esinlenilerek hazırlanmıştır. Eğer, katı malzeme erime noktasına kadar ısıtılır ve katı hale gelinceye kadar tekrar soğutulursa, katı malzemenin soğutulmuş halinin yapısal özellikleri soğutma

oranına bağlı olur. Örneğin, kristaller çok yavaş bir soğutma ile büyüyebilirler, 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 ve arkadaşları bu tür bir benzetimin, optimal sonuca yakınsama amacıyla, optimizasyon problemlerine uygulanabilir bir çözüm bulmada kullanılabileceğini söylemişlerdir (Kirkpatrick, Gelatt, ve Vecchi, 1983; Gülsün, Tuzkaya ve Bildik, 2008).

Tavlama benzetimi algoritmasının akış şeması Şekil 5'de verilmiştir.

4.1. 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

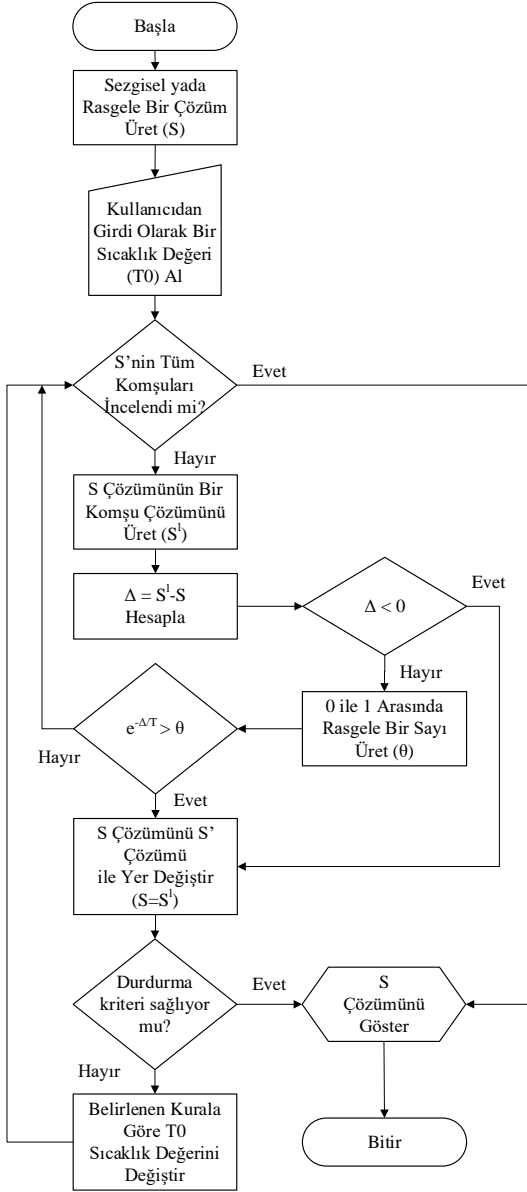
R = rıhtım sayısı olsun.

Matrisin eleman sayısı = $(G+R-1)$ olarak belirlenir. Daha sonra bu matrisin elemanlarının yerleri kendi içinde rassal olarak değiştirilir. Örneğin; $G = 15$ gemi ve $R = 5$ rıhtım olsun. Dolayısı ile matris 19 elemanlı olmalıdır (1×19). Rassal olarak oluşturulan bir başlangıç çözüm Şekil 6'da verilmiştir.

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

Şekil 6. Oluşturulan Başlangıç Çözümü

Şekil 6'da 1'den 15'e kadar olan rakamlar gemileri temsil etmektedir. 15'den büyük rakamlar ise, rıhtımların hizmet vereceği gemileri ayırma işleminde kullanılır. Örneğin 1. rıhtım 6. ve 3. gemilere hizmet vermektedir.



Şekil 5. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Akış Şeması

4.2. Komşu çözümün oluşturulması

Başlangıç çözümden sonra komşu çözüm oluşturulur. Bunun için, komşuluğun hangi metotla oluşturulması gerektiğine karar verilmelidir. Bu algorithmada, komşuluk swap (yer değiştirme) metodu ile belirlenmiştir. Rassal olarak oluşturulan başlangıç çözüme, yer değiştirme metodunun uygulanması ile yeni bir komşu çözüm elde edilir. Örneğin; rassal olarak oluşturulan bir başlangıç çözüm Şekil 7'deki gibi olsun.

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

Şekil 7. Başlangıç Çözüm

Başlangıç çözümünü ele alırsak, burada rasgele olarak seçilen 7. ve 12. pozisyondaki elemanlar yer değiştirilerek Şekil 8'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 8. Oluşturulan 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 (Δ) 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. TB algoritması bu şekilde çözüme devam eder ve durdurma kriteri sağlanınca sonlanır.

5. Deneysel Sonuçlar

Algoritma, MATLAB R2019b programında kodlanarak, 12GB Ram ile Intel (R) Core (TM) i7 4700HQ CPU 2.40 GHz işlemcili bilgisayarda çalıştırılmıştır. Algorithmada kullanılan parametre değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2
TB Algoritmasında Kullanılan Parametre Değerleri

Parametre	Değer
İterasyon sayısı ¹	700
İterasyon arası tur sayısı ²	20
Başlangıç sıcaklığı (T0) ³	1000 °C
Soğutma katsayısı ⁴	0,99

¹Algoritmanın tekrar sayısıdır.

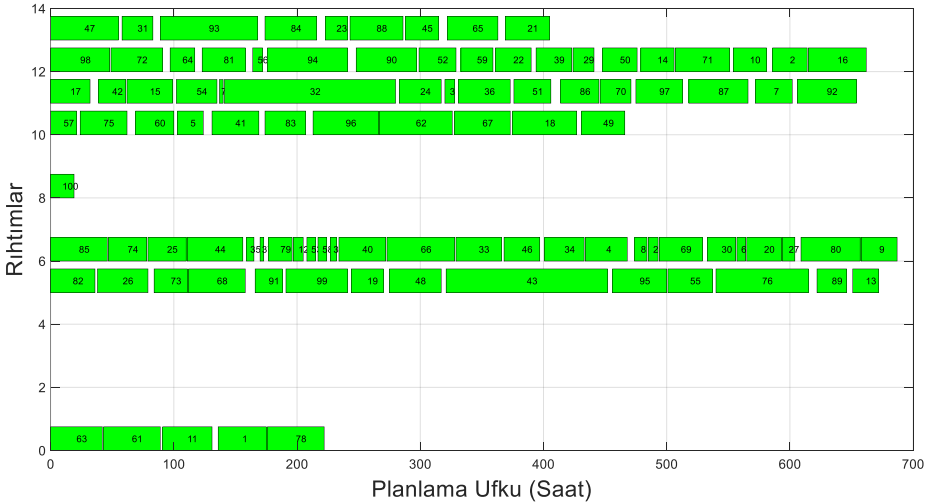
²Her sıcaklık için gerçekleştirilecek iterasyon sayısıdır.

³Yeterince yüksek seçilmelidir.

⁴(0.5 - 1) aralığında seçilmelidir.

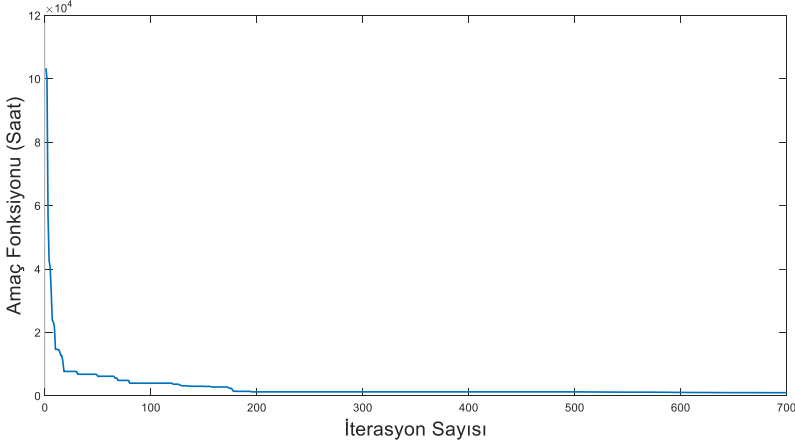
Algoritma 100 gemi için çalıştırıldığında, çözümü 700 iterasyon için 246,618 saniyede bulabilmektedir. Çözüm süresinin uzunluğu, iterasyon sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. İterasyon sayısı arttıkça, aranan çözüm uzayı genişlediğinden amaç fonksiyon değeri de iyileşmektedir.

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 9'da ilk zaman dilimi 0 olarak seçilmiştir. Algoritmanın MATLAB çıktısı Şekil 9'da verilmiştir.



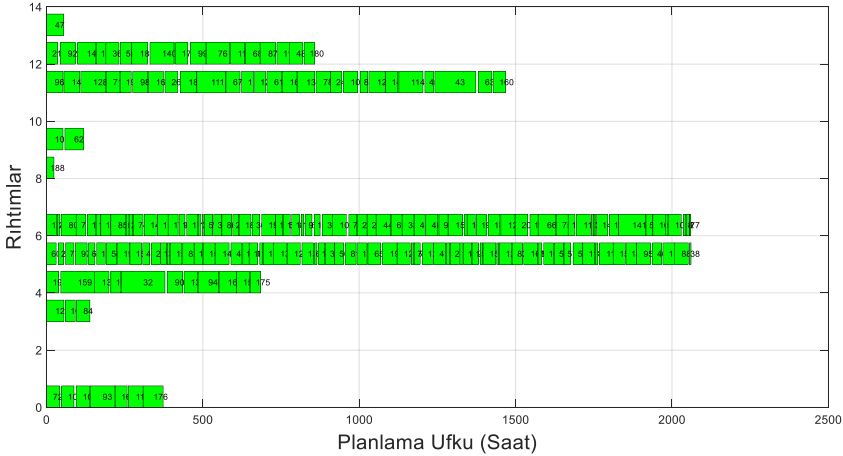
Şekil 9. 100 Gemi İçin Gemi-Rihtim Planlaması Çizelgesi

Şekil 9'daki çizelgede, yeşil kutucuklar gemileri temsil etmektedir. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır. Ayrık RTP'de aynı zaman diliminde, aynı rıhtımda birden fazla gemi olamaz. Dolayısı ile çizelge doğru şekilde planlanmıştır. TB algoritması kullanılarak 100 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin yakınsama grafiği Şekil 10'da verilmiştir.



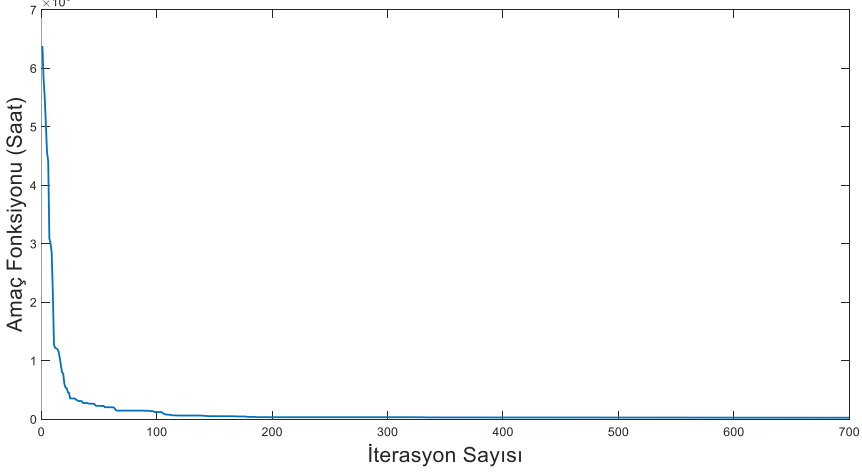
Şekil 10. 100 Gemi İçin Amaç Fonksiyonunun Yakınsama Grafiği

Şekil 11'de 200 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır.



Şekil 11. 200 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi

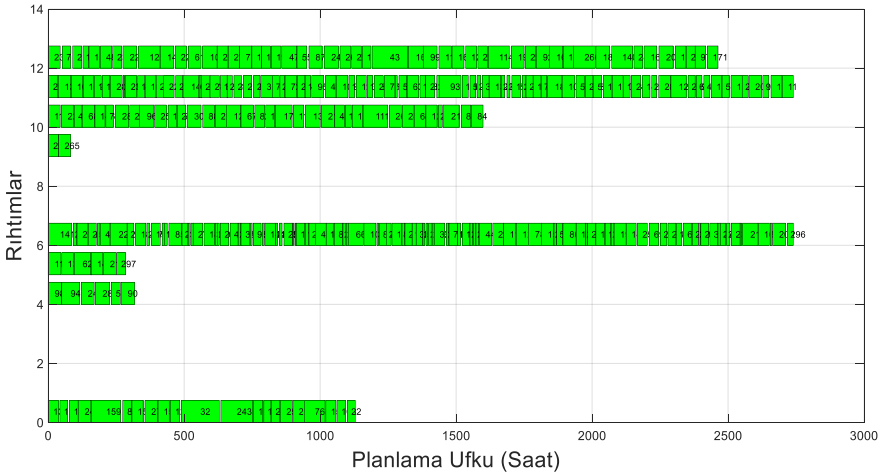
200 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin grafiği Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. 200 gemi için amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği

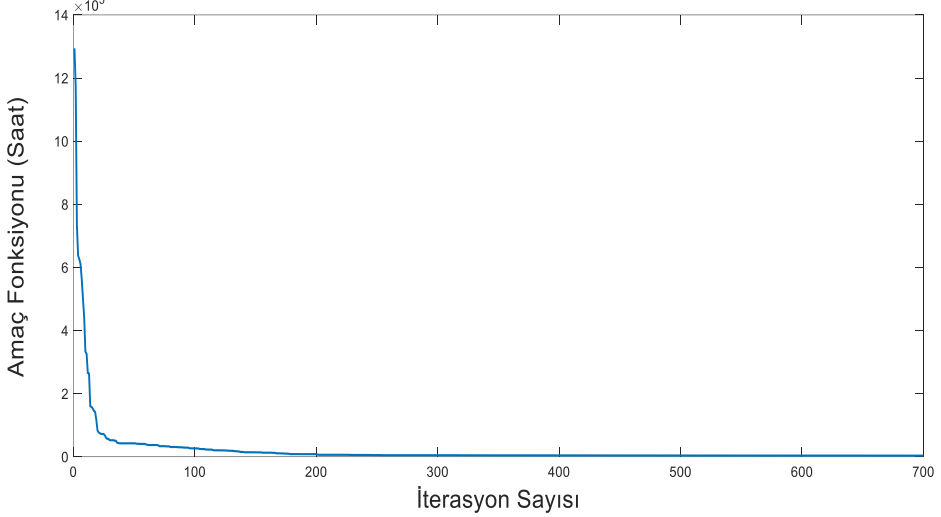
Şekil 12’deki grafik incelendiğinde iterasyon sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerlerinin monoton olarak azaldığı görülmektedir.

Şekil 13’te veri grubunun tamamı kullanılarak 300 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelgede herhangi bir çakışma olmamıştır.



Şekil 13. 300 gemi için gemi-rıhtım planlaması çizelgesi

300 gemi için gemi-rıhtım planlaması yapıldığında elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin grafiği Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. 300 gemi için amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği

Şekil 14’deki grafik incelendiğinde iterasyon sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerlerinin monoton olarak azaldığı görülmektedir.

Matematiksel modelden elde edilen çözüm sonuçları ile TB algoritmasından elde edilen çözüm sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3’de her iki çözüm yönteminin karşılaştırılması gösterilmiştir. GAMS ile büyük boyutlu örnekler çözülemediğinden, ilgili alanlar boş bırakılmıştır. Şekil 10, 12 ve 14’deki 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.

Tablo 3
Matematiksel Model ve TB Algoritmasının Karşılaştırılması

Gemi sayısı	İskele sayısı	GAMS ^{CPLEX}		TB		İterasyon sayısı
		Amaç fonksiyonu (saat)	İşlem süresi (saniye)	Amaç fonksiyonu (saat)	İşlem süresi (saniye)	
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

Metasezgisel algoritmanın performansı küçük ve büyük boyutlu problem örnekleri üzerinde test edilmiştir. Bu problem örnekleri, gemi sayısı ve rıhtım sayısı çeşidine göre ayrılmaktadır. Örnek olarak, 1. problem seti: 10/7 yani 10 gemi / 7 rıhtımdan oluşan problemi ifade etmektedir. Tablo 3 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.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir petrol şirketine ait rıhtımlara yanaşan gemilerin optimum geliş sıraları ve yanaştırılacak rıhtım konumları belirlenmiştir. Bunun için ARTP ele alınmıştır. Problem, önce TSDP yöntemi ile daha sonra bir metasezgisel algoritma olan TB 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 TB algoritması ise MATLAB R2019b programında geliştirilmiştir.

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 TB algoritmasının daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, 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.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; bütün bölümlerin hazırlanmasında her iki yazar eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar

- Adrian, F. ve Simatupang, T.M. (2014), Crude oil supply chain optimization at PT Pertamina Indonesia. *6th International Conference on Operations and Supply Chain Management*, 1161-1172, Bali-Indonesia.
- Cordeau, J.F., Laporte, G., Legato, P. ve Moccia, L. (2005). Models and tabu search heuristics for the berth-allocation problem. *Transportation Science*, 39(4), 526-538. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0120>
- Feng, X., Hu, S., Gu, W., Jin, X. ve Lu, Y. (2020). A simulation-based approach for assessing seaside infrastructure improvement measures for large marine crude oil terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142(10), 1-20. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102051>
- Golias, M.M., Boile, M. ve Theofanis, S. (2010). Discrete berth-scheduling problem: Toward a unified mathematical formulation. *Journal of the Transportation Research Board*, 2168(1), 1-8. Doi: <https://doi.org/10.3141/2168-01>

- Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B.E., Altıparmak, F. ve Dengiz, B. (2005). Genel amaçlı arama algoritmaları ile benzetim eniyilemesi: En iyi kanban sayısının bulunması. *Endüstri Mühendisliği*, 16(1), 2-15.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G. ve Bildik, E. (2008). Reverse logistics network design: A simulated annealing approach. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(1), 68-80.
- Imai, A., Nagaiwa, K. ve Tat, C.W. (1997). Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation*, 31(1), 75-94. Doi: <https://doi.org/10.1002/atr.5670310107>
- Imai, A., Nishimura, E. ve Papadimitriou, S. (2001). The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(4), 401-417. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(99\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(99)00057-0)
- Kavoosi, M., Dulebenets, M. A., Abioye, O., Pasha, J., Theophilus, O., Wang, H., ... & Mikijeljević, M. (2019). Berth scheduling at marine container terminals: A universal island-based metaheuristic approach. *Maritime Business Review*, 5(1), 30-66.
- Kim, K.H. ve Moon, K.C. (2003). Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(6) 541-560. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(02\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(02)00027-9)
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. ve Vecchi, M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680. DOI: [10.1126/science.220.4598.6](https://doi.org/10.1126/science.220.4598.6)
- Lin, S.W. ve Ting, C.J. (2013). Solving the dynamic berth allocation problem by simulated annealing. *Engineering Optimization*, 46(3), 308-327. Doi: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2013.768241>
- Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A. ve Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.1699114>
- Rodrigues, I.B.G., Rosa, R.A., Gomes, T.C. ve Riberio, G.M. (2016). Mathematical model for the berth allocation problem in ports with cargo operation limitations along the pier. *Gest. Prod., São Carlos*, 23(4), 771-786. Doi: <https://doi.org/10.1590/0104-530X2266-15>
- Rosa, R.A., Riberio, G.M., Mauri, G.R. ve 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. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 28(4), 397-418. Doi: <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.087785>
- Taş, O. (2007). *Havayolu şirketlerinde uçuşların atanması probleminin tavlama benzetimi ile çözülmesi* (Yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi Fen

Bilimleri Enstitüsü, Adana. Erişim adresi:

<https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/148996>

Ting, C.J., Wu, K.C. ve Chou, H. (2014). Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1543–1550. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.051>

TÜBİTAK Vizyon 2023 Teknoloji Öngöröleri Projesi. (2002). TÜSSİDE, 8-9 Kasım 2002, Gebze-Kocaeli.

Xu, Y., Xue, K. ve Du, Y. (2018). Berth scheduling problem considering traffic limitations in the navigation channel. *Sustainability*, 10(12), 4795-4816. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10124795>