



ÇAPRAZ SEVKİYATTA İŞÇİ SAYISINA BAĞLI YÜKLEME VE BOŞALTMA SÜRELERİNİN OLDUĞU KAPI ATAMA PROBLEMİ

Feriştah ÖZÇELİK^{1*}, Tuğba SARAÇ², Mehmet Cem ÖZ²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0329-203X>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8115-3206>

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-4427-9499>

Anahtar Kelimeler Öz

Çapraz sevkiyat,
Kapı atama
problemi,
İşçi sayısına bağlı
yükleme ve boşaltma
süreleri.

Boşaltma ve yükleme süreleri, çapraz sevkiyatta kapı atama probleminde çok önemli bir rol oynar. Literatürde çapraz sevkiyatta kapı atama problemini ele alan çalışmaların çoğunluğunda bu sürelerin önceden bilindiği varsayılmaktadır. Ancak boşaltma ve yükleme süreleri, kapılara atanan işçilerin sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada çapraz sevkiyatta kamyonların kapılara atanması problemi, her kapıya kaç işçi atanacağıнын belirlenmesi problemi ile birlikte ele alınmıştır. Ele alınan problem için karma tamsayılı doğrusal bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen model, kapılara sabit sayıda işçinin atandığı iki farklı senaryo ile karşılaştırılmıştır. Modelin performansı literatürden alınan test problemleri kullanılarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kapılara uygun sayıda işçi atanmasının, işçi sayılarının sabit kabul edildiği senaryolara kıyasla

*Sorumlu yazar; e-posta : fdurmaz@ogu.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1286055>

amaç fonksiyonunun değerini ortalama Senaryo-1 için %3,14 ve Senaryo-2 için %4,02 oranında oranında iyileştirebildiğini ortaya koymuştur.

DOCK-DOOR ASSIGNMENT PROBLEM WITH THE NUMBER OF WORKERS DEPENDENT LOADING AND UNLOADING TIMES IN CROSS-DOCKING

Keywords	Abstract
<i>Cross-docking, Door assignment problem, Number of workers dependent loading and unloading times.</i>	<i>Unloading and loading times play a crucial role in the door assignment problem in cross-docking. In a majority of the existing literature addressing the door assignment problem in cross-docking, it is generally assumed that these times are predetermined. However, it is important to note that unloading and loading times can vary based on the number of workers allocated to each door. Therefore, in this study, the problem of assigning trucks to doors in cross-docking is handled together with the problem of determining how many workers will be assigned to each door. A mathematical model has been developed for the considered problem. The proposed model is compared with two different scenarios where a fixed number of workers are assigned to the doors. The performance of the model is shown by using the test problems taken from the literature. The results revealed that assigning the appropriate number of workers to the doors can improve the value of the objective function by an average of 3,14% for Scenario-1 and %4,02 for Scenario-2 compared to scenarios where the number of workers is assumed constant.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 20.04.2023	Submission Date : 20.04.2023
Kabul Tarihi : 23.08.2023	Accepted Date : 23.08.2023

1. Giriş

Çapraz sevkiyat, bir tedarikçiden birkaç varış noktasına iletmek için ürünleri alan ve bu ürünleri, diğer tedarikçilerin ürünleriyle birleştirerek bir varış noktasına ortak nihai bir teslimat sağlayan bir aktarma platformu olarak tanımlanmaktadır (Kinneer, 1997).

Çapraz sevkiyat tesisleri, yüksek oranda ve sürekli talep edilen malzemelerin hareketini hızlandırmak için tasarlanmaktadır. Bu yaklaşım, daha iyi bir

hizmet düzeyi ve tedarik zinciri genelinde daha düşük maliyetle daha hızlı yanıt almayı sağlamaktadır. Özellikle, gelen ve giden kamyonlar belirlenen kapılara atandıktan sonra, yükler gelen kamyonlardan boşaltılmakta, varış yerlerine göre bir depolama alanında birleştirilmekte ve aradaki sürede minimum depolama olacak şekilde giden kamyonlara yüklenmektedir. Yüklerin çapraz sevkiyatta geçirdiği süre genellikle 24 saati geçmemektedir (Van Belle, Valckenaers ve Cattrysse, 2012). Çapraz sevkiyatla ilgili daha ayrıntılı bilgilere Van Belle ve diğ. (2012), Ladier ve Alpan (2016) ve Torbalı ve Alpan (2023)'nin çalışmalarından erişilebilir.

Bir gelen veya giden kamyon çapraz sevkiyat alanına geldiğinde, kamyonun hangi boşaltma ya da yükleme kapısına atanacağına karar verilmelidir. İyi bir atama, çapraz sevkiyatın üretkenliğini artırabilmekte ve maliyetleri azaltabilmektedir.

Çapraz sevkiyatta kapı atama problemi, tedarik zinciri yönetiminin operasyonel seviyesinde ortaya çıkan bir NP-zor optimizasyon problemidir. Boşaltma kapılarının bir tarafta ve yükleme kapılarının karşı tarafta olduğu iki taraflı bir çapraz sevkiyat tesisi göz önüne alındığında, gelen kamyonlar, çapraz sevkiyat platformuna girmekte ve boşaltma kapılarında boşaltılmaktadır. Boşaltılan yükler gidecekleri yere göre sıralanmakta, düzenlenmekte ve sınıflandırılmaktadır. Daha sonra giden kamyonlara yüklenmek üzere yükleme kapılarına aktarılmaktadır (Guemri, Nduwayo, Todosijevic, Hanafi ve Glover, 2019).

Çapraz sevkiyatta kapı atama probleminde, yükleme, boşaltma, taşıma gibi işlemler, genellikle yüksek düzeyde işçilik gerektirmektedir ve bu da problemi çözerken işgücü yönetimini dikkate almanın önemini arttırmaktadır. İşgücü faktörüne odaklanmak, sadece verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda çalışan memnuniyetinin ve motivasyonunun yükseltilmesini de mümkün kılar. Kapılarda görev yapan işçi sayıları arttırılarak, kamyon yükleme ve boşaltma süreleri kısaltılabilir. Bu durumda hangi kapıya kaç işçi atanacağı önemli bir karar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada çapraz sevkiyatta kamyonların kapılara atanması problemi, her kapıya kaç işçi atanmasının belirlenmesi problemi ile birlikte ele alınmıştır.

Bu makale, işgücü faktörünün çapraz sevkiyat süreçlerine olan etkisini incelerken, aynı zamanda, bu süreçlerde işgücünün etkin bir şekilde yönetilmesinin genel verimlilik üzerindeki potansiyel etkisini de değerlendirmektedir.

Bölüm 2 ve 3'de sırasıyla, ele alınan problem için yapılan yazın taraması ve önerilen matematiksel model verilmiştir. Bölüm 4'te örnek problem ve deneysel sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Yazın Taraması

Çapraz sevkiyatta kapı atama problemi, geniş bir uygulama alanına sahip olması nedeniyle yazında da yer bulmuş önemli problemlerden birisidir. Bu problemi konu alan ve matematiksel model öneren 2000 yılı ve sonrasında yapılan çalışmalardan erişilebilenler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemini Dikkate Alan Çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Amaç Fonksiyonu	Kapı	Model Yapısı
Bu çalışma	-	Toplam Süre	Y, B	MIP
Ghomi, Ghazi Nezami, Shokoohyar ve Ghofrani Esfahani	2023	Taşıma Maliyeti, Tıkanıklık	Y, B	MINLP
Daquin, Allaoui, Goncalves ve Hsu	2021	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Gelareh, Glover, Guemri, Hanafi, Nduwayo ve Todosijevic	2020	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Sayed, Contreras, Diaz ve Luna	2020	Toplam Süre	Y, B	LP
Miao, Zhang, Lan ve Su	2019	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Rijal, Marco ve de Koster	2019	Toplam Maliyet	Y, B	MIP
Zhang, Gong ve Chen	2019	Taşıma Maliyeti	Y, B	IP
Guemri ve diğ.	2019	Elleçleme Maliyetleri	Y, B	MIP
Nassief, Contreras ve Jaumard	2018	Toplam Maliyet	Y, B	MIP
Wang, Lu, Zha ve Cao	2018	Toplam Süre	Y, B	MIP
Enderer, Contardo ve Contreras	2017	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Konur ve Golias	2017	Toplam İşçi Maliyeti	Y	MINLP
Fatthi, Shuib ve Dom	2016	İşlem Süresi	B	MIP
Küçüköğlü ve Öztürk	2017	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Nassief, Contreras ve As'ad	2016	Elleçleme Maliyetleri	Y, B	MIP
Wisittipanich ve Hengmeechai	2015	Toplam Gecikme, Toplam Erken Varma	Y, B	MIP

Jarrah, Qi ve Bard	2014	Değişkenlik Sayısı, Yükleyici Sayısı, Dengeli İş Yüğü	Y	MOP, MIP
Miao, Cai ve Xu	2014	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Acar, Yalçın ve Yankov	2012	Taşıma Süresi	B	MIQP
Guignard, Hahn, Pessoa ve da Silva	2012	Taşıma Mesafesi	Y, B	MIP
Lee, Kim ve Joo	2012	Yük Miktarı	Y, B	MIP
Luo ve Noble	2012	Bekleme Süresi, Taşıma Maliyeti, Bekleme Maliyeti	Y, B	MINLP
Miao, Lim ve Ma	2009	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Rosales, Fry ve Radhakrishnan	2009	Toplam Maliyet	B	MIP
Bozer ve Carlo	2008	Elleçleme İş Yüğü, Tıkanıklık	Y, B	MIP
Shakeri, Low ve Zhengping	2008	Toplam Süre	Y, B	MIP
Yu, Sharma ve Murty	2008	Taşıma Süresi	Y, B	LP
Bartz-Beielstein, Chmielewski, Janas, Naujoks ve Scheffermann	2006	Taşıma Süresi, Bekleme Süreleri	B	MOP
Lim, Ma ve Miao	2006	Taşıma Mesafesi	Y, B	IP
Oh, Hwang, Cha ve Lee	2006	Taşıma Mesafesi	Y	NLP
Bartholdi ve Gue	2000	İşçilik Maliyetleri	Y, B	IP

Y: yükleme, B: boşaltma, LP: Doğrusal Programlama, IP: Tamsayı Programlama, MIP: Karma Tamsayı Programlama, NLP: Doğrusal Olmayan Programlama, MOP: Çok Amaçlı Programlama, DP: Dinamik Programlama, MIQP: Karma Tamsayı Karesel Programlama, MINLP: Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama

Kamyonların kapılara atanması problemi çözülürken, ele alınan kapsama göre, sadece yükleme ya da sadece boşaltma kapıları dikkate alınabileceği gibi bu iki tür kapıyı birlikte değerlendirmek de mümkündür. Yükleme ve boşaltma kapılarının birlikte ele alınması daha kapsamlı bir bakış açısı sağlamakla birlikte problemin karmaşıklığını da arttırmaktadır. Tablo 1'den de görülebileceği gibi çalışmaların önemli bir kısmında (32 çalışmanın 25'inde) yükleme ve boşaltma kapıları birlikte ele alınmıştır. Bu çalışmada da literatürle uyumlu bir şekilde yükleme ve boşaltma kapıları birlikte değerlendirilmektedir.

Çapraz sevkiyat, yükleme, boşaltma ve taşıma olmak üzere üç temel süreç içermektedir. Bu nedenle amaç fonksiyonları genellikle bu süreçlerin gerektirdiği toplam sürenin, mesafenin ya da maliyetin enküçüklenmesidir. Tablo 1 incelendiğinde çalışmaların çoğunun maliyeti veya mesafeyi enküçüklemeyi amaçladığı görülmektedir. Bu çalışmada işgücü planlaması da dikkate alındığı için toplam sürenin enküçüklenmesi amacı benimsenmiştir.

Çapraz sevkiyatta yükleme, boşaltma ve taşıma işlemleri genellikle yoğun işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle işgücünün etkin kullanımı sistemin genel etkinliği açısından belirleyicidir. Öneme rağmen genellikle literatürdeki çalışmalarda işçi faktörü gözardı edilmektedir. İşçi sayılarını dikkate alan sadece iki çalışmaya (Bartholdi ve Gue, 2000; Konur ve Golias, 2017) erişilmiştir. Bartholdi ve Gue (2000), çapraz sevkiyatta yerleşim ve kapı atama problemlerini birlikte ele almışlardır. Bu çalışmanın amaç fonksiyonu işçilik maliyetlerini enküçükmektir. Problem için bir tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Çalışmada işçi sayıları model tarafından belirlenmemektedir. Bizim çalışmamızın Bartholdi ve Gue (2000)'den farkı, kapılara atanacak işçi sayılarının karar değişkeni olması ve model tarafından belirlenmesidir. Konur ve Golias (2017)'in çalışmasında doğrusal olmayan tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Çalışmanın amaç fonksiyonu işçi maliyetlerini enküçükmektir. Çalışmada işçi sayıları matematiksel model tarafından belirlenmektedir ancak sadece yükleme kapıları dikkate alınmıştır. Bizim çalışmamızın Konur ve Golias (2017)'den farkı, doğrusal karma tamsayı bir model önerilmiş olması ve yükleme ve boşaltma kapılarının birlikte değerlendirilmesidir.

Bu çalışma, erişilen literatür dikkate alındığında, hem yükleme ve boşaltma kapılarına kamyonların atanması hem de her kapıya atanacak işçi sayılarının belirlenmesi problemlerini birlikte ele alan ilk çalışmadır. Ele alınan problem için karma tamsayı doğrusal bir matematiksel model geliştirilmiştir.

3. Problem Tanımı ve Önerilen Matematiksel Model

Çapraz sevkiyatta kapı atama probleminde her gelen kamyon m bir boşaltma kapısı i 'ye atanmalıdır. Boşaltılan yükler, boşaltma kapılarından yükleme kapılarına belirli bir sürede (t_{ij}) transfer edilmektedir. Her giden kamyon n , bir yükleme kapısı j 'ye atanmalıdır. Yükleme ve boşaltma süreleri belirlidir ve önceden bilinmektedir. Amaç fonksiyonu kamyonların boşaltılması, boşaltma kapılarından yükleme kapılarına taşınması ve kamyonlara yüklenmesi süreleri toplamının enküçüklenmesidir. Çapraz sevkiyatta kapı atama problemi için Nassief ve diğ. (2018) tarafından önerilen matematiksel model (KA) ve bu modele ait kümeler, indisler, parametreler, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir;

İndisler:

$I = \{1, 2, \dots, \alpha\}$	$i \in I$ boşaltma kapısı indisi
$J = \{1, 2, \dots, \beta\}$	$j \in J$ yükleme kapısı indisi
$M = \{1, 2, \dots, \gamma\}$	$m \in M$ gelen kamyon indisi
$N = \{1, 2, \dots, \delta\}$	$n \in N$ giden kamyon indisi

Parametreler:

α : boşaltma kapısı sayısı

β : yükleme kapısı sayısı

γ : gelen kamyon sayısı

δ : giden kamyon sayısı

t_{ij} : i ve j kapısı arasındaki taşıma süresi

u_i : bir birim yükün boşaltılma süresi

l_j : bir birim yükün yüklenme süresi

w_{mn} : m kamyonundan n kamyonuna taşınacak yük miktarı

s_m : m kamyonundan boşaltılacak toplam yük miktarı. $s_m = \sum_n w_{mn}$

r_n : n kamyonuna yüklenecek toplam yük miktarı. $r_n = \sum_m w_{mn}$

C_i^B : i . boşaltma kapısının toplam kapasitesi

C_j^Y : j . yükleme kapısının toplam kapasitesi

Karar Değişkenleri:

x_{mi} : m gelen kamyonu i . boşaltma kapısına atandıysa 1, diğer durumda 0

y_{nj} : n giden kamyonu j . yükleme kapısına atandıysa 1, diğer durumda 0

f_{mij} : i . boşaltma kapısına atanan m gelen kamyonundan j . yükleme kapısına taşıma miktarı

Amaç Fonksiyonu:

$$enk z = \sum_m \sum_i s_m u_i x_{mi} + \sum_m \sum_i \sum_j t_{ij} f_{mij} + \sum_n \sum_j r_n l_j y_{nj} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_i x_{mi} = 1 \quad \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_j y_{nj} = 1 \quad \forall n \in N \quad (3)$$

$$\sum_m s_m x_{mi} \leq C_i^B \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_n r_n y_{nj} \leq C_j^Y \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_j f_{mij} = s_m x_{mi} \quad \forall m \in M, i \in I \quad (6)$$

$$\sum_i f_{mij} = \sum_n w_{mn} y_{nj} \quad \forall m \in M, j \in J \quad (7)$$

$$x_{mi} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, i \in I \quad (8)$$

$$y_{nj} \in \{0,1\} \quad \forall n \in N, j \in J \quad (9)$$

$$f_{mij} \geq 0 \quad \forall m \in M, i \in I, j \in J \quad (10)$$

Amaç fonksiyonu (1) boşaltma, taşıma ve yükleme süreleri toplamının enküçüklenmesidir. Denklem (2) her gelen kamyonun bir boşaltma kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (3) her giden kamyonun bir yükleme kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (4) ve (5) kapılara ait kapasite kısıtlarıdır. Denklem (6) ve (7), boşaltma ve yükleme kapıları için akış koruma kısıtlarıdır. Denklem (8)-(10) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

Bu çalışmada, Nassief ve diğ. (2018)'ten farklı olarak, sadece kamyonların kapılara atanması değil eşzamanlı olarak kapılara atanacak işçi sayılarının da belirlendiği daha kapsamlı bir problem ele alınmıştır. Ele alınan problemde, yükleme ve boşaltma süreleri kapılara atanan işçi sayılarına bağlıdır ve her kapıya farklı sayıda işçi atanabilir. Bir kapıya hiç işçi atanmamış ise o kapının kullanılmayacağı anlamına gelir ve bu kapılara kamyonla atanmaz. Toplam işçi sayısı sabit olup kapılara atanan işçilerin toplamı bu sayıyı geçemez. Bir işçi sadece bir kapıya atanabilir. Amaç fonksiyonu kamyonların boşaltılması, boşaltma kapılarından yükleme kapılarına taşınması ve kamyonlara yüklenmesi süreleri toplamının enküçüklenmesidir.

Ele alınan problem için matematiksel model geliştirilirken temel alınan Nassief ve diğ. (2018)'in modeline aşağıda belirtilen değişiklikler/eklenimler yapılmıştır.

- Kapılara atanacak işçi sayılarını belirleyen yeni karar değişkenleri tanımlanmıştır.
- Amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılmasında kullanılan yeni karar değişkenleri tanımlanmıştır (İşçi sayılarına bağlı işlem sürelerinin varlığı nedeniyle amaç fonksiyonu, x_{mi} ile p_{hi} ve q_{hj} ile y_{nj} karar değişkenlerinin çarpımlarını gerektirdiğinden doğrusal olmayan bir yapıdadır. Bu nedenle, amaç fonksiyonunu doğrusal yazabilmek için yeni karar değişkenleri eklenmiştir.).
- İşçi sayılarının belirlenmesine yönelik atama kısıtları eklenmiştir.
- Kapılara atanan toplam işçi sayısına ait kapasite kısıtı eklenmiştir.
- Karar değişkenlerine ait ilişki kısıtları eklenmiştir.
- Amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılmasında kullanılan karar değişkenlerinin hesaplanması için kısıtlar eklenmiştir.

- Nassief ve diğ. (2018)'in modelindeki kapılara ait kapasite kısıtları ((4) ve (5)), tanımlanan yeni karar değişkenlerini içerecek şekilde uyarlanmıştır.
- Nassief ve diğ. (2018)'in modelindeki amaç fonksiyonu, kapılara atanan işçi sayılarına bağlı süreleri dikkate alacak şekilde uyarlanmıştır.

Önerilen matematiksel model (İKA) ve bu modele ait varsayımlar, ek kümeler, indisler, parametreler, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir;

(İKA):

Varsayımlar:

- Yüklerin, boşaltma kapılarından yükleme kapılarına transfer süreleri belirlidir.
- Yükleme ve boşaltma süreleri o kapıya atanan işçi sayısına bağlıdır.
- Bir işçi sadece bir kapıya atanabilir.
- Her kapıya farklı sayıda işçi atanabilir.
- Kapılara atanan işçi sayısı, toplam işçi sayısını geçemez.

İndisler:

$H = \{1, 2, \dots, \vartheta\}$ $h \in H$ işçi sayısı indisi

Parametreler:

ϑ : bir kapıya atanabilecek en fazla işçi sayısı

u'_h : bir birim yükü h adet işçi ile boşaltma süresi.

l'_h : bir birim yükü h adet işçi ile yükleme süresi.

g : toplam işçi sayısı. $g = \left\lfloor \frac{\vartheta}{2} \right\rfloor (\alpha + \beta)$

Karar Değişkenleri:

p_{hi} : i . boşaltma kapısına h adet işçi atandıysa 1, diğer durumda 0.

q_{hj} : j . yükleme kapısına h adet işçi atandıysa 1, diğer durumda 0.

b_{hmi} : h adet işçi ve m gelen kamyonu, i . boşaltma kapısına atandıysa 1, diğer durumda 0.

d_{hnj} : h adet işçi ve n giden kamyonu, j . yükleme kapısına atandıysa 1, diğer durumda 0.

Amaç Fonksiyonu:

$$enk z = \sum_m \sum_h \sum_i s_m u'_h b_{hmi} + \sum_m \sum_i \sum_j t_{ij} f_{mij} + \sum_n \sum_h \sum_j r_n l'_h d_{hnj} \quad (11)$$

Kısıtlar:

(2), (3), (6)-(10)

$$\sum_h p_{hi} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$\sum_h q_{hj} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$x_{mi} \leq \sum_h p_{hi} \quad \forall m \in M, \forall i \in I \quad (14)$$

$$y_{nj} \leq \sum_h q_{hj} \quad \forall n \in N, \forall j \in J \quad (15)$$

$$\sum_h \sum_m s_m b_{hmi} \leq C_i^B \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$\sum_h \sum_n r_n d_{hnj} \leq C_j^Y \quad \forall j \in J \quad (17)$$

$$\sum_h \sum_i h p_{hi} + \sum_h \sum_j h q_{hj} \leq g \quad (18)$$

$$p_{hi} \leq \sum_m b_{hmi} \quad \forall h \in H, \forall i \in I \quad (19)$$

$$x_{mi} \leq \sum_h b_{hmi} \quad \forall m \in M, \forall i \in I \quad (20)$$

$$b_{hmi} \geq p_{hi} + x_{mi} - 1 \quad \forall h \in H, \forall m \in M, \forall i \in I \quad (21)$$

$$q_{hj} \leq \sum_n d_{hnj} \quad \forall h \in H, \forall j \in J \quad (22)$$

$$y_{nj} \leq \sum_h d_{hnj} \quad \forall n \in N, \forall j \in J \quad (23)$$

$$d_{hnj} \geq q_{hj} + y_{nj} - 1 \quad \forall h \in H, \forall n \in N, \forall j \in J \quad (24)$$

$$p_{hi} \in \{0,1\} \quad \forall h \in H, \forall i \in I \quad (25)$$

$$q_{hj} \in \{0,1\} \quad \forall h \in H, \forall j \in J \quad (26)$$

$$b_{hmi} \in \{0,1\} \quad \forall h \in H, \forall m \in M, \forall i \in I \quad (27)$$

$$d_{hnj} \in \{0,1\} \quad \forall h \in H, \forall n \in N, \forall j \in J \quad (28)$$

Amaç fonksiyonu (11) boşaltma, taşıma ve yükleme süreleri toplamının enküçüklenmesidir. Denklem (12) ve (13) sırasıyla boşaltma ve yükleme kapılarına atanacak işçi sayılarını belirlemektedir. Denklem (14) ve (15) bir kapıya işçi atanmıyorsa kamyon da atanmamasını sağlamaktadır. Denklem (16) ve (17) kapılara ait kapasite kısıtlarıdır. Denklem (18) kapılara atanan toplam işçi sayısına ait kapasite kısıtıdır. Denklem (19)-(24) doğrusallaştırma kısıtlarıdır. Denklem (25)-(28) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

4. Deneysel Sonuçlar

Tüm testler 11th Gen Intel ® Core™ i5-11300H @ 3.10 GHz işlemcisi 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Test problemlerinin önerilen matematiksel model ile çözümünde GAMS'in Cplex çözücüsü kullanılmıştır. Süre limiti 7200 saniye olarak belirlenmiştir. Bu bölümün alt başlıklarında test problemleri, örnek problem ve test sonuçları sunulmuştur.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4.1. Test Problemleri

Önerilen modeli test etmek için Guignard ve diğ. (2012)'nin çalışmasından alınan 50 test problemi kullanılmıştır. Bu problemlerdeki kapı ve kamyon sayıları Tablo 2'de verilmiştir. $\alpha, \beta, \gamma, \delta, t_{ij}$ ve w_{mn} parametrelerinin değerleri aynen alınırken, bu test problemlerinde yer almayan u'_h ve l'_h parametreleri ise kesikli düzgün dağılıma (KDD) göre rassal olarak türetilmiştir. Bir işçi ile boşaltma (u'_1) ve yükleme (l'_1) süreleri, sırasıyla $u'_1 \sim KDD(m, (m + n - 3))$ ve $l'_1 \sim KDD(n, (m + n - 3))$ aralığında türetilmiştir. İki veya daha fazla işçi ($h > 1$) için ise ilgili süreler sırasıyla (29) ve (30) numaralı formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$u'_h = 0,7 u'_{h-1} \quad (29)$$

$$l'_h = 0,7 l'_{h-1} \quad (30)$$

Tüm test problemlerinde $\vartheta = 5$ olarak alınmıştır.

Tablo 2.
Test probleminin boyutları

$\alpha - \gamma$	8-4, 9-4, 10-4, 10-5, 11-5, 12-5, 12-6, 15-6, 15-7, 20-10
$\beta - \delta$	8-4, 9-4, 10-4, 10-5, 11-5, 12-5, 12-6, 15-6, 15-7, 20-10

4.2. Örnek Problem

Örnek problemde 4 boşaltma kapısı, 4 yükleme kapısı, 8 gelen kamyon, 8 giden kamyon vardır. Bir kapıya en fazla 5 işçi atanabilmektedir. Kapılar arası taşıma süreleri Tablo 3'te ve gelen ve giden kamyonlar arası taşınacak yük miktarı ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3.
 t_{ij} parametresi

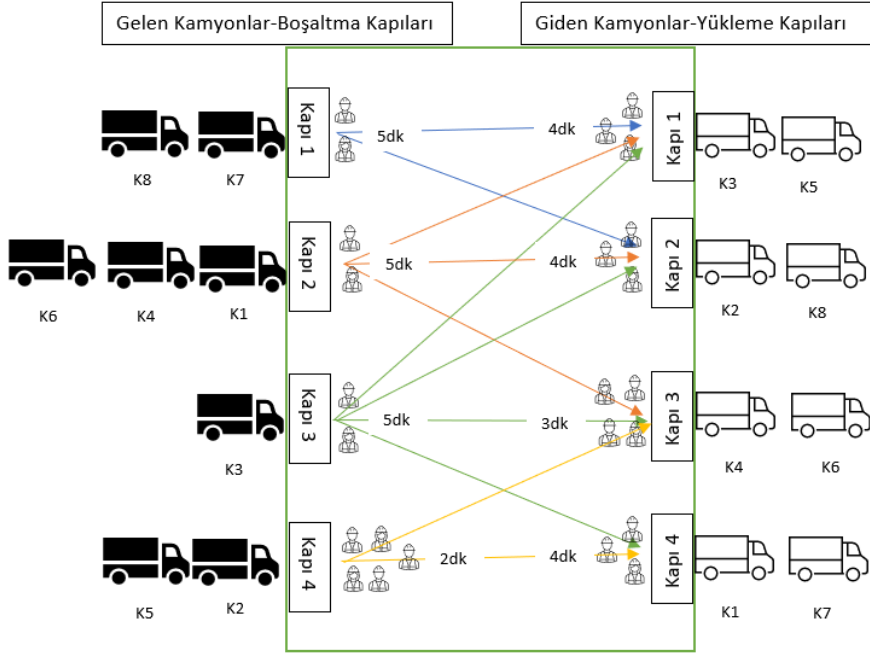
i/j	t_{ij}			
	1	2	3	4
1	8	9	10	11
2	9	8	9	10
3	10	9	8	9
4	11	10	9	8

Tablo 4.
 w_{mn} parametresi

m/n	w_{mn}							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	26	0	0	0	0	0
2	22	0	0	0	0	0	0	0
3	41	32	0	50	30	0	0	0
4	0	0	0	0	10	31	0	0
5	40	0	0	44	0	0	50	0
6	0	47	0	31	0	0	0	0
7	0	0	0	0	43	0	0	0
8	0	44	31	0	0	0	0	31

Önerilen model (İKA) ile örnek problemin eniyi çözümüne 5,72 saniyede ulaşılmıştır. Amaç fonksiyonunun değeri (z) 9977 olarak elde edilmiştir. Elde edilen çözüm Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'den de görülebileceği gibi, yükleme sürelerinin boşaltmaya kıyasla daha uzun sürmesi nedeniyle beklenildiği üzere 24 işçinin 11'i boşaltma 13'ü yükleme kapılarına atanmıştır. Kapılara en az 2 işçinin, en çok da 5 işçinin atandığı ve en az 1 kamyon en çok da 3 kamyon atandığı görülmektedir.



Şekil 1. Örnek Problem için Elde Edilen Çözüm

4.3. Test sonuçları

Kapılara atanan işçi sayılarını değişken ele almanın etkisini inceleyebilmek amacıyla işçi sayılarının sabit alındığı iki senaryo tanımlanmıştır. S1 senaryosunda tüm kapılara 3 işçi atanırken, S2 senaryosunda boşaltma kapılarına 2, yükleme kapılarına 4 işçi atanmıştır. Guignard ve diğ. (2012)'nin çalışmasından alınan test problemleri hem işçi sayılarının sabitlendiği iki farklı senaryo için (S1, S2) hem de işçi sayılarının model tarafından belirlendiği durum için (SB) çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5 dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde problem isimleri, sonraki bölümlerde ise sırasıyla her bir test probleminin S1, S2 ve SB senaryoları ile çözümü sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri (z), Cplex çözücüsü ile elde edilen alt sınır (as) ve alt sınıra uzaklık yüzdesi (gap) verilmiştir. gap değerleri denklem (31)'de verilen formülle hesaplanmıştır.

$$gap = \frac{z - as}{as} \quad (31)$$

Tablo 5. Test Sonuçları

<i>problem</i>	<i>S1</i>			<i>S2</i>			<i>SB</i>		
	<i>z</i>	<i>as</i>	<i>gap</i>	<i>z</i>	<i>as</i>	<i>gap</i>	<i>z</i>	<i>as</i>	<i>gap</i>
<i>8x4s5</i>	9998	9998,00	0,00	9998	9998,00	0,00	9977,00	9977,00	0,00
<i>8x4s10</i>	9993	9993,00	0,00	9993	9993,00	0,00	9954,00	9954,00	0,00
<i>8x4s15</i>	9936	9936,00	0,00	9936	9936,00	0,00	9885,00	9885,00	0,00
<i>8x4s20</i>	9307	9307,00	0,00	9307	9307,00	0,00	9214,00	9214,00	0,00
<i>8x4s30</i>	9284	9284,00	0,00	9284	9284,00	0,00	9020,40	9020,40	0,00
<i>9x4s5</i>	11631	11631,00	0,00	11631	11631,00	0,00	11607,00	11607,00	0,00
<i>9x4s10</i>	12309	12309,00	0,00	12309	12309,00	0,00	12265,00	12265,00	0,00
<i>9x4s15</i>	12258	12258,00	0,00	12956	12956,00	0,00	12258,00	12258,00	0,00
<i>9x4s20</i>	12219	12219,00	0,00	12219	12219,00	0,00	12112,00	12112,00	0,00
<i>9x4s30</i>	12186	12186,00	0,00	12186	12186,00	0,00	11635,20	11635,20	0,00
<i>10x4s5</i>	13968	13968,00	0,00	13968	13968,00	0,00	13849,00	13849,00	0,00
<i>10x4s10</i>	13189	13189,00	0,00	13934	13934,00	0,00	13189,00	13189,00	0,00
<i>10x4s15</i>	13054	13054,00	0,00	13799	13799,00	0,00	13054,00	13054,00	0,00
<i>10x4s20</i>	13770	13770,00	0,00	13770	13770,00	0,00	13133,00	13133,00	0,00
<i>10x4s30</i>	13683	13683,00	0,00	13683	13683,00	0,00	12459,47	12459,47	0,00
<i>10x5s5</i>	14076	14076,00	0,00	14076	14076,00	0,00	14000,00	14000,00	0,00
<i>10x5s10</i>	13936	13936,00	0,00	14682	14682,00	0,00	13936,00	13936,00	0,00
<i>10x5s15</i>	13857	13857,00	0,00	13857	13857,00	0,00	13614,00	12723,36	0,07
<i>10x5s20</i>	13056	13056,00	0,00	13802	13802,00	0,00	13032,60	12531,35	0,04
<i>10x5s30</i>	13022	13022,00	0,00	13768	13768,00	0,00	12089,00	12089,00	0,00
<i>11x5s5</i>	17393	17393,00	0,00	17393	17393,00	0,00	17335,00	17163,37	0,01
<i>11x5s10</i>	17153	17153,00	0,00	17153	17153,00	0,00	16906,80	14701,57	0,15
<i>11x5s15</i>	17116	17116,00	0,00	17116	17116,00	0,00	16744,67	14435,06	0,16
<i>11x5s20</i>	17020	17020,00	0,00	17020	17020,00	0,00	16305,70	14823,36	0,10

<i>11x5s30</i>	17001	17001,00	0,00	17001	17001,00	0,00	14842,00	13742,59	0,08
<i>12x5s5</i>	19184	19184,00	0,00	19184	19184,00	0,00	19118,00	17539,45	0,09
<i>12x5s10</i>	19090	19090,00	0,00	19090	19090,00	0,00	18912,00	16303,45	0,16
<i>12x5s15</i>	18125	18125,00	0,00	18125	18125,00	0,00	17724,53	15968,05	0,11
<i>12x5s20</i>	18125	18125,00	0,00	18125	18125,00	0,00	17176,47	14936,06	0,15
<i>12x5s30</i>	18109	18109,00	0,00	18109	18109,00	0,00	15843,00	14272,97	0,11
<i>12x6s5</i>	23915	23915,00	0,00	23915	23915,00	0,00	23819,00	21266,96	0,12
<i>12x6s10</i>	27032	27032,00	0,00	27032	27032,00	0,00	26909,00	21700,81	0,24
<i>12x6s15</i>	24570	24570,00	0,00	24570	24570,00	0,00	24265,00	19568,55	0,24
<i>12x6s20</i>	26888	26888,00	0,00	26888	26888,00	0,00	26161,00	20928,8	0,25
<i>12x6s30</i>	25620	25620,00	0,00	25620	25620,00	0,00	22700,20	19569,14	0,16
<i>15x6s5</i>	35879	35879,00	0,00	37447	37447,00	0,00	36095,00	27980,62	0,29
<i>15x6s10</i>	37323	37323,00	0,00	35755	35755,00	0,00	35960,00	28093,75	0,28
<i>15x6s15</i>	35717	35717,00	0,00	37285	37285,00	0,00	35503,20	27101,68	0,31
<i>15x6s20</i>	37240	37240,00	0,00	38808	38808,00	0,00	35837,20	28218,27	0,27
<i>15x6s30</i>	35519	35519,00	0,00	35519	35519,00	0,00	31610,00	25699,19	0,23
<i>15x7s5</i>	39414	39414,00	0,00	41038	41038,00	0,00	39541,00	30891,41	0,28
<i>15x7s10</i>	39170	39170,00	0,00	37546	37546,00	0,00	37601,00	28485,61	0,32
<i>15x7s15</i>	37393	37393,00	0,00	37393	37393,00	0,00	36716,83	28243,72	0,30
<i>15x7s20</i>	37250	37250,00	0,00	38874	38874,00	0,00	35652,60	27425,08	0,30
<i>15x7s30</i>	38769	38769,00	0,00	40393	40393,00	0,00	35432,00	28345,60	0,25
<i>20x10s5</i>	100520	98549,02	0,02	100549	98577,45	0,02	101169,00	75499,25	0,34
<i>20x10s10</i>	90722	88943,14	0,02	87619	85066,99	0,03	88527,00	64618,25	0,37
<i>20x10s15</i>	96737	93919,42	0,03	96964	94139,81	0,03	94805,20	67237,73	0,41
<i>20x10s20</i>	99620	96718,45	0,03	99620	96718,45	0,03	92223,00	67811,03	0,36
<i>20x10s30</i>	96073	94189,22	0,02	96082	94198,04	0,02	80893,00	61750,38	0,31

Tablodan da görülebileceği gibi S1 ve S2 senaryoları için 20-10 boyutlu problemler dışında tüm problemlerin eniyi çözümlerine ulaşılmıştır. İşçi sayıları model tarafından belirlendiğinde (SB), süre limiti içinde 8-4, 9-4 ve 10-4 boyutlu problemlerin tümünün ve 10-5 boyutlu problemlerden üçünün eniyi çözümleri elde edilmiştir. 10-5 boyutlu problemlerden ikisi ve daha büyük boyutlu problemler için ise uygun çözümlere ulaşılmıştır. Önerilen matematiksel modelin performansını gösterebilmek amacıyla elde edilen amaç fonksiyonu değerleri, Cplex çözücü tarafından elde edilen alt sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu alt sınıra ne kadar yaklaşıldığını gösterebilmek amacıyla *gap* değerleri hesaplanmıştır. Eniyi çözümlerine ulaşılamayan problemler için *gap* değerleri incelendiğinde, S1 ve S2 senaryolarında enbüyük *gap* değeri 0,03 iken SB senaryosunda bu değer 0,41'e ulaşmıştır.

Test problemlerinin S1, S2 ve SB senaryolarının saniye cinsinden çözüm süreleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'dan da görülebileceği gibi S1 ve S2 için sadece 20-10 boyutlu problemler süre limiti ile sonlanırken, işçi sayılarının sabitlenmemiş olması modeli zorlaştırdığı için SB senaryosunda, 10-5 boyutlu problemlerden itibaren model süre limiti kadar çalışmıştır.

Tablo 6. Çözüm Süreleri

<i>problem</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>SB</i>
<i>8x4s5</i>	0,08	0,06	5,72
<i>8x4s10</i>	0,09	0,09	14,52
<i>8x4s15</i>	0,08	0,08	9,61
<i>8x4s20</i>	0,09	0,05	14,30
<i>8x4s30</i>	0,09	0,08	99,34
<i>9x4s5</i>	0,12	0,19	15,66
<i>9x4s10</i>	0,14	0,12	65,38
<i>9x4s15</i>	0,12	0,09	95,72
<i>9x4s20</i>	0,11	0,14	149,31
<i>9x4s30</i>	0,19	0,20	235,41
<i>10x4s5</i>	0,50	0,59	1179,41
<i>10x4s10</i>	0,52	0,45	1154,20
<i>10x4s15</i>	0,47	0,53	3972,77
<i>10x4s20</i>	0,55	0,42	4780,86
<i>10x4s30</i>	0,56	0,36	3905,28
<i>10x5s5</i>	0,70	0,83	1078,88
<i>10x5s10</i>	1,20	1,53	4654,72
<i>10x5s15</i>	1,02	1,12	7200,00
<i>10x5s20</i>	1,20	0,89	7200,00
<i>10x5s30</i>	1,06	1,16	3393,86
<i>11x5s5</i>	2,03	3,53	7200,00
<i>11x5s10</i>	2,84	2,42	7200,00
<i>11x5s15</i>	2,98	3,03	7200,00
<i>11x5s20</i>	1,31	1,27	7200,00
<i>11x5s30</i>	1,66	2,12	7200,00

12x5s5	6,84	4,56	7200,00
12x5s10	4,19	7,31	7200,00
12x5s15	2,17	4,50	7200,00
12x5s20	5,89	4,95	7200,00
12x5s30	6,62	6,41	7200,00
12x6s5	5,06	4,77	7200,00
12x6s10	7,64	7,58	7200,00
12x6s15	7,19	5,61	7200,00
12x6s20	11,45	9,33	7200,00
12x6s30	9,02	6,83	7200,00
15x6s5	342,22	241,98	7200,00
15x6s10	272,91	199,92	7200,00
15x6s15	434,17	587,75	7200,00
15x6s20	387,66	351,59	7200,00
15x6s30	397,39	314,36	7200,00
15x7s5	638,09	584,53	7200,00
15x7s10	1300,81	1674,00	7200,00
15x7s15	1162,61	864,08	7200,00
15x7s20	1184,53	569,64	7200,00
15x7s30	741,91	645,70	7200,00
20x10s5	7200,00	7200,00	7200,00
20x10s10	7200,00	7200,00	7200,00
20x10s15	7200,00	7200,00	7200,00
20x10s20	7200,00	7200,00	7200,00
20x10s30	7200,00	7200,00	7200,00

İşçi sayısını sabit almayıp modelin belirlemesine izin vermenin sağladığı katkıyı gösterebilmek için, SB senaryosu ile elde edilen sonuçlar S1 ve S2 senaryoları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve iyileşme yüzdeleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7.
Test Problemleri için İyileşme Sonuçları

problem	% İyileşme S1	% İyileşme S2
8x4s5	0,21	0,21
8x4s10	0,39	0,39
8x4s15	0,51	0,51
8x4s20	1,00	1,00
8x4s30	2,84	2,84
9x4s5	0,21	0,21
9x4s10	0,36	0,36
9x4s15	0,00	5,39
9x4s20	0,88	0,88
9x4s30	4,52	4,52

10x4s5	0,85	0,85
10x4s10	0,00	5,35
10x4s15	0,00	5,40
10x4s20	4,63	4,63
10x4s30	8,94	8,94
10x5s5	0,54	0,54
10x5s10	0,00	5,08
10x5s15	1,75	1,75
10x5s20	0,18	5,57
10x5s30	7,16	12,19
11x5s5	0,33	0,33
11x5s10	1,44	1,44
11x5s15	2,17	2,17
11x5s20	4,20	4,20
11x5s30	12,70	12,70
12x5s5	0,34	0,34
12x5s10	0,93	0,93
12x5s15	2,21	2,21
12x5s20	5,23	5,23
12x5s30	12,51	12,51
12x6s5	0,40	0,40
12x6s10	0,46	0,46
12x6s15	1,24	1,24
12x6s20	2,70	2,70
12x6s30	11,40	11,40
15x6s5	-0,60	3,61
15x6s10	3,65	-0,57
15x6s15	0,60	4,78
15x6s20	3,77	7,66
15x6s30	11,01	11,01
15x7s5	-0,32	3,65
15x7s10	4,01	-0,15
15x7s15	1,81	1,81
15x7s20	4,29	8,29
15x7s30	8,61	12,28
20x10s5	-0,65	-0,62
20x10s10	2,42	-1,04
20x10s15	2,00	2,23
20x10s20	7,43	7,43
20x10s30	15,80	15,81
<u>Ortalama</u>	<u>3,14</u>	<u>4,02</u>

Tabloda yer alan iyileştirme yüzdeleri S1 için denklem (32)'de S2 için denklem (33)'de verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\%İyileşme S1 = \frac{Z_{S1} - Z_{SB}}{Z_{S1}} 100 \quad (32)$$

$$\%İyileşme S2 = \frac{Z_{S2} - Z_{SB}}{Z_{S2}} 100 \quad (33)$$

Tablo 7'den de görülebileceği gibi, SB senaryosu ile elde edilen sonuçlar, S1 senaryosu ile elde edilenlere göre ortalama %3,14 ve S2 senaryosu ile elde edilenlere göre ise ortalama %4,02 daha başarılıdır. Enbüyük iyileşme oranı S1 için %15,80 ve S2 için ise %15,81 olarak gerçekleşmiştir. SB senaryosu ile çözülen problemlerin 0,41'e ulaşan *gap* değerlerine sahip olmasına rağmen bu başarılı iyileşme oranlarının elde edilebilmiş olması dikkat çekicidir. Ve işçileri dikkate almanın toplam süreye olan ciddi katkısının daha düşük *gap* değerleriyle daha da artabileceğini göstermektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çapraz sevkiyatta kapı atama probleminde kapılara atanacak işçi sayılarının da model tarafından belirlendiği bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen matematiksel model ile 10 kamyon 4 kapı boyutuna kadar olan küçük problemlerin eniyi çözümlerine süre limiti içinde ulaşılmıştır. 20 kamyon 10 kapı boyutuna ulaşan büyük boyutlu problemlerin ise uygun çözümleri elde edilmiştir. Kapılara atanacak optimum işçi sayılarının belirlenmesinin toplam boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerine etkisini gösterebilmek için kapılara atanan işçi sayılarının belirli olduğu durumu temsil etmek üzere iki farklı senaryo tanımlanmıştır. İlk senaryoda tüm yükleme ve boşaltma kapılarına aynı sayıda işçi atanmıştır. İkinci senaryoda ise yükleme sürelerinin daha fazla olması nedeniyle yükleme kapılarına boşaltma kapılarından daha fazla işçi atanmıştır. Test sonuçları, kapılara atanan işçi sayılarının sabit olduğu senaryolara kıyasla, optimum işçi sayılarının model tarafından belirlendiği durumda %16'lara varan çarpıcı iyileşmelerin elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Bu ölçekte bir iyileşme, lojistik sektöründe hizmet veren firmalara maliyetlerini düşürme konusunda önemli bir fırsat sunmaktadır. Gelecekte, önerilen matematiksel model çok amaçlı olarak ele alınabilir. Ayrıca, kapı atama problemi kamyon çizelgeleme problemi ile entegre edilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Feriştah ÖZÇELİK, çalışma fikrinin oluşturulması, matematiksel

modelin geliştirilmesi ve makalenin yazılması; Tuğba SARAÇ, çalışma fikrinin oluşturulması, matematiksel modelin geliştirilmesi ve makalenin yazılması; Mehmet Cem ÖZ' literatürün taranması, test problemlerinin çözülmesi, makalenin yazılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Acar, K., Yalçın, A. ve Yankov, D. (2012). Robust door assignment in less-than-truckload terminals. *Computer and Industrial Engineering*, 63 (4), 729-738. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.04.008>
- Bartholdi, J. J. ve Gue, K. R. (2000). Reducing labor costs in an LTL cross docking terminal. *Operations Research*, 48 (6), 823-832. Doi: <https://doi.org/10.1287/opre.48.6.823.12397>
- Bartz-Beielstein, T., Chmielewski, A., Janas, M., Naujoks, B. ve Scheffermann, R. (2006). *Optimizing door assignment in LTL terminals by evolutionary multiobjective algorithms*. 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Doi: <https://doi.org/10.1109/CEC.2006.1688288>
- Bozer, Y.A. ve Carlo, H.J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload cross docks. *IIE Transactions*, 40 (11), 1007-1018. Doi: <https://doi.org/10.1080/07408170802167688>
- Daquin, C., Allaoui, H., Goncalves, G. ve Hsu, T. (2021). Variable neighborhood search based algorithms for crossdock truck assignment. *RAIRO Operations Research*, 55, S2291-S2323. Doi: <https://doi.org/10.1051/ro/2020087>
- Enderer, F., Contardo, C. ve Contreras, I. (2017). Integrating dock-door assignment and vehicle routing with cross-docking. *Computers and Operations Research*, 88, 30-43. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.018>
- Fatthi, W.N.A.W.A., Shuib, A. ve Dom, R. M. (2016). A mixed integer programming model for solving real-time truck-to-door assignment and scheduling problem at cross docking warehouse. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12 (2), 431-447. Doi: <http://dx.doi.org/10.3934/jimo.2016.12.431>
- Gelareh, S., Glover, F., Guemri, O., Hanafi, S., Nduwayo, P. ve Todosijevic, R. (2020). A comparative study of formulations for a cross-dock door assignment problem. *Omega*, 91, 102015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.12.004>

- Ghomi, V., Ghazi Nezami, F., Shokoohyar, S. ve Ghofrani Esfahani, M. (2023). An optimization model for forklift utilization and congestion control in cross-docking terminals. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 2142463. Doi: <https://doi.org/10.1080/23302674.2022.2142463>
- Guemri, O., Nduwayo, P., Todosijevic, R., Hanafi, S. ve Glover, F. (2019). Probabilistic tabu search for the cross-docking assignment problem. *European Journal of Operational Research*, 277, 875-885. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.03.030>
- Guignard, M., Hahn, P.M., Pessoa, A.A. ve da Silva, D.C. (2012). *Algorithms for the cross-dock door assignment problem*. Proceedings of the Fourth International Workshop on Model-Based Metaheuristics, Rio de Janeiro, Brazil.
- Jarrah, A. I., Qi, X. ve Bard, J. F. (2014). The destination-loader-door assignment problem for automated package sorting centers. *Transportation Science*, 1-23. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0521>
- Kinnear, E. (1997). Is there any magic in cross-docking? *Supply Chain Management: An International Journal*, 2, 49-52. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598549710166096>
- Konur, D. ve Goliias, M. M. (2017). Loading time flexibility in cross-docking systems. *Procedia Computer Science*, 114, 491-498. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.011>
- Küçüköğlü, İ. ve Öztürk, N. (2017). Two-stage optimisation model for material flow and allocation management in cross-docking networks. *International Journal of Production Research*, 55 (2), 410-429. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1184346>
- Ladier, A. ve Alpan, G. (2016). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*, 62, 145-162. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.09.006>
- Lee, K., Kim, B.S. ve Joo, C.M., (2012), Genetic algorithms for door-assigning and sequencing of trucks at distribution centers for the improvement of operational performance, *Expert Systems with Applications*, 39, 12975-12983. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.057>
- Lim, A., Ma, H. ve Miao, Z. (2006). Truck dock assignment problem with time windows and capacity constraint in transshipment network through crossdocks. In: Computational Science and Its Applications - ICCSA 2006. ICCSA 2006. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 3982. Springer, Berlin, Heidelberg. Doi: https://doi.org/10.1007/11751595_73
- Luo, G. ve Noble, J. S. (2012). An integrated model for crossdock operations including staging. *International Journal of Production Research*, 50, 2451-2464. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.581007>

- Miao, Z., Zhang, J., Lan, Y. ve Su, R. (2019). A two-stage genetic algorithm for the truck-door assignment problem with limited capacity vehicles and storage area. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 28 (3), 285-298. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11518-019-5410-3>
- Miao, Z., Cai, S. ve Xu, D. (2014). Applying an adaptive tabu search algorithm to optimize truck-dock assignment in the crossdock management system. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 16-22. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.007>
- Miao, Z., Lim, A. ve Ma, H. (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within cross docks. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 105-115. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.09.031>
- Nassief, W., Contreras, I. ve As'ad, R., (2016). A mixed-integer programming formulation and Lagrangean relaxation for the cross-dock door assignment problem. *International Journal of Production Research*, 54 (2), 494-508. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.1003664>
- Nassief, W., Contreras, I. ve Jaumard, B. (2018). A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems. *Computers and Operations Research*, 94, 76-88. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.01.022>
- Oh, Y., Hwang, H., Cha, C.N. ve Lee, S., (2006). A dock-door assignment problem for the Korean mail distribution center. *Computers & Industrial Engineering*, 51 (2), 288-296. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.02.009>
- Rijal, A., Marco, B. ve De Koster, R. (2019). Integrated scheduling and assignment of trucks at unit-loas cross-dock terminals with mixed service mode dock doors. *European Journal of Operational Research*, 278 (3), 752-771. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.028>
- Rosales, C. R., Fry, M. J. ve Radhakrishnan, R. (2009). Transfreight reduces costs and balances workload at georgetown crossdock. *Interfaces*, 39 (4), 316-328. Doi: <https://doi.org/10.1287/inte.1090.0446>
- Sayed, S. I., Contreras, I., Diaz, J. A. ve Luna, D. E. (2020). Integrated cross-dock door assignment and truck scheduling with handling times. *TOP*, 28, 705-727. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11750-020-00556-z>
- Shakeri, M., Low, M. ve Zhengping, L. (2008). *A generic model for cross dock truck scheduling and truck-to-door assignment problems*. 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics. Doi: <https://doi.org/10.1109/INDIN.2008.4618221>
- Torbali, B. ve Alpan, G. (2023). A literature review on robust and real-time models for cross-docking. *International Journal of Production Research*, 61 (7), 2372-2401. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2062580>

- Van Belle, J., Valckenaers, P. ve Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. *Omega*, 40, 827-846. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.01.005>
- Wang, Z., Lu, Y., Zhao, L. ve Cao, N. (2018). Improved harmony search algorithm for truck scheduling problem in multiple-door cross-docking systems. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-15. Doi: <https://doi.org/10.1155/2018/7913256>
- Wisittipanich, W. ve Hengmeechai, P. (2015). A multi-objective differential evolution for just-in-time door assignment and truck scheduling in multi-door cross docking problems. *Industrial Engineering & Management Systems*, 14 (3), 299-311. Doi: <http://dx.doi.org/10.7232/iems.2015.14.3.299>
- Yu, V.F., Sharma, D. ve Murty, K.G. (2008). Door allocations to origins and destinations at less-than-truckload trucking terminals. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2 (1), 1-15. Doi: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358272.2008.2.1.1.4>
- Zhang, Y. H., Gong, Y. J. ve Chen, W. N. (2019). A dual-colony ant algorithm for the receiving and shipping door assignments in cross-docks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20 (7), 2523-2539. Doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2867577>