

Çapraz sevkiyatta kamyon çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları Solution approaches for truck scheduling problem in cross-docking

Gökçe ÖZDEN^{1*}, İnci SARIÇİÇEK²

¹Makine Programı, Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

gozden@ogu.edu.tr

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

incid@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.03.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 11.07.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.80034

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Çapraz sevkiyat, bir dağıtım aşında, ürünlerin dağıtım merkezlerine gelen kamyonlar aracılığıyla teslim edildiği, müşteri taleplerine göre konsolide edilerek müşterilere teslim edilmek üzere giden kamyonlara yüklendiği yenilikçi bir sistemdir. Bu çalışmada, çapraz sevkiyat merkezindeki her bir kamyonun kapılara atanması ve kapılardaki sırasının belirlenmesine yönelik olan kamyon çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Belirtilen probleminin çözümü için belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının en büyüklüğüne ulaşma amaçlı bir matematiksel model ve Tavlama Benzetimi algoritması önerilmiştir. Farklı test problemleri türetilerek matematiksel model ve meta sezgisel algoritmanın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezi, Kamyon çizelgeleme, Lojistik, Tavlama benzetimi

Abstract

Cross docking is an innovative system that products are distributed to the distribution centers via trucks, consolidated according to customer demands, and loaded into trucks to be delivered to customers. This study focuses on the truck-scheduling problem, which consists of assigning each truck to a door at the dock and determining the sequences. This study presents a mathematical model and a Simulated Annealing Algorithm for door assignments and truck scheduling in multi-door cross-docking centers. The objective of the model is to maximize of the total number of shipping products within working time period. The results of the mathematical model and the meta-heuristic algorithm are compared by generating different test problems.

Keywords: Multi door cross-docking center, Truck scheduling, Logistics, Simulated annealing

1 Giriş

Çapraz sevkiyat, bir dağıtım aşında operasyonel performansı arttıran en yenilikçi stratejilerden biridir. Çapraz sevkiyat sistemi kullanılarak, ürünler dağıtım merkezlerine gelen kamyonlar aracılığıyla teslim edilir, merkezde ayrıştırılır, müşteri taleplerine göre yeniden birleştirilir ve müşterilere teslim edilmek üzere giden kamyonlara yüklenir. Bu sayede dağıtım merkezlerinde stok tutulmasına gerek kalmaz [1]. Geleneksel depolama yöntemlerinden farklı olarak, bir çapraz sevkiyat merkezi çok az miktarda stok bulundurur ya da hiç stok bulundurmaz. Çapraz sevkiyat merkezine bir kamyon geldiğinde, boşaltma işleminin gerçekleştirileceği ve gidiş yerlerinin belirlenmesi için taramadan geçirileceği bir kabul kapısına atanır. Daha sonra gelen yükler ayrıştırılarak sevkiyat kapısına yönlendirilir ve giden kamyonlara yüklenir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde ve çapraz sevkiyat merkezlerinin yapısı dikkate alındığında, kamyon çizelgeleme problemlerinin temel olarak tek kapılı ya da çok kapılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Tek kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde bir tek kabul ve bir tek sevkiyat kapısı bulunmakta, gelen kamyonlar kabul kapısında giden kamyonlar ise sevkiyat kapısında sıralanmaktadır. Bu nedenle kamyonların kapılara atanması gibi bir durum söz konusu olmamaktadır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde ise kabul ve sevkiyat kapılarının sayısı birden fazladır. Kamyonlar kabul ve sevkiyat kapılarına atanmakta ve her bir kapiya atanan kamyonlar kendi içinde kapılarda sıralanmaktadır. Bu amaçla son yıllarda, kamyon çizelgeleme (truck scheduling) problemi ismiyle ele alınan çizelgeleme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu problem türü kamyonların çapraz sevkiyat terminalinin kapılarında düzenli bir şekilde sıralanmasına karar

vermektedir. Kamyon çizelgesi temelinde, gelen (inbound) ve giden (outbound) kamyonlar, taşımaların gerçekleştirileceği belirli bir kapiya atanmaktadır. İlgili problemin önemi çapraz sevkiyat süreçlerinde giderek artmakta ve hızlı aktarma (transshipment) süreçleri için büyük bir etkiye sahip olmaktadır.

Çapraz sevkiyat merkezleri, öncelikli olarak gelen ve giden kamyonların etkin bir şekilde boşaltılıp yüklenmesini amaçlamaktadır. Sipariş hacmi arttığında veya ürün teslimatı kontrol edilemediğinde, merkez içindeki ürün miktarının artması çapraz sevkiyat merkezinin doğru bir şekilde yönetilmesini gerektirir. Bu nedenle kamyon çizelgeleme problemi çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel problemlerden biridir. McWilliams ve diğ. [2] kısa dönemli kamyon çizelgeleme problemini ilk ele alan araştırmacılar olmuştur. İlgili çalışmada ürünlerin aktarılmasına yönelik operasyon süresinin en küçüklüğüne için bir posta servis merkezi ele alınmıştır. Genetik Algoritmanın (GA) kullanıldığı benzetim tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Yu ve Egbelu [3] tarafından tüm gelen ve giden kamyonlar için en iyi çizelgenin tespit edilmesi amacıyla toplam operasyon süresini en küçüklecek bir matematiksel model önerilmiştir.

Van Belle ve diğ. [4], kamyon çizelgeleme problemini ele alan çalışmaları üç ana grupta incelemiştir. Birinci grup, bir tek kabul ve bir tek sevkiyat kapısından oluşan çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyonların çizelgenmesini ele alan çalışmalardır [3]-[11]. İkinci gruptakiler çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde, sadece gelen ya da giden kamyonların çizelgenmesini incelemektedir [2],[12]-[16].

Son grupta ise çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen ve giden kamyonların çizelgelendiği çalışmalar yer almaktadır. Boysen [17], çapraz sevkiyat merkezinde kamyon çizelgeleme probleminin çözümü için dinamik programlama yöntemi ve Tavlama Benzetimi (TB) algoritması önermiştir. Lee ve diğ. [1] kamyonların kapılara atanması ve kapılardaki sıralarının belirlenmesi için bir karma tamsayılı programlama modeli önermiştir. Çalışmalarında belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesi için GA kullanılmıştır. Joo ve Kim [18], kamyon çizelgeleme problemini üç farklı kamyon grubunu (gelen kamyonlar, giden kamyonlar, gelen-giden kamyonlar) ele alarak incelemiştir. Hem gelen hem giden kamyon olarak işlev gören bu kamyon kümesi ilk kez araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. GA ve Self Evolution (SE) algoritması, kamyon çizelgeleme probleminin çözümünde enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesi için kullanılmıştır. Van Belle ve diğ. [19] çalışmalarında çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen ve giden kamyonların çizelgelenmesini ele alarak büyük boyutlu problemlerin çözümünde iki farklı Tabu Arama (TA) algoritması kullanmıştır. Kuo [20], çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen ve giden kamyonları çizelgeleyerek toplam operasyon süresini enküçüklemeyi amaçlamıştır. Problemin çözümü için Değişken Komşuluk Arama (DKA) yöntemi ve dört TB algoritması önerilmiştir. Wisittipanich ve Hengmeechai [21] gelen ve giden kamyonların çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde toplam operasyon süresini enküçüklemek amacıyla çizelgelenmesi için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasını önermiştir.

Bu çalışma kapsamında, çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen ve giden kamyonların kabul ve sevkiyat kapılarına atanarak, gelen ve giden kamyonların kapılarda sıralanması sağlanmaktadır. Kamyonların doğru kapıya atanması ve çizelgelenmesini etkileyen önemli bir faktör ise kamyonların çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarıdır. Boysen [17], Lee ve diğ. [1], Joo ve Kim [18] çalışmalarında çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde, kamyonların çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanını aynı kabul etmiştir. Fakat gerçek hayat problemlerinde çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların, merkeze varış zamanları birbirinden farklıdır. Dolayısıyla, bu çalışmada gelen ve giden kamyonların çapraz sevkiyat merkezine varış zamanları farklı olarak alınmıştır. Ele alınan, kamyon çizelgeleme probleminin çözümü ile belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Ek olarak kamyon çizelgeleme probleminde sadece kamyonların kapılara atanması ve sırasının belirlenmesi değil, aynı zamanda gelen kamyonlardan boşaltılan ürünlerin hangi giden kamyona yüklenmesi gerektiğini belirleyecek olan ürün atamalarının yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada belirtilen ürün atama özelliği de kamyonların kapılara atanması ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Joo ve Kim [18] çalışmalarında gelen ve giden kamyonlar dışında üçüncü bir kamyon kümesine de yer vermiştir. Gerçek hayatta, gelen ve giden kamyonlar dışında ilgili üçüncü kamyon kümesi hem gelen hem giden yapıdaki kamyonlardır. Hem çapraz sevkiyat merkezine ürün getirip hem de dağıtım görevini üstlenen kamyonlar çalışmada gelen-giden kamyon (compound truck) olarak adlandırılmıştır. Belirtilen tüm özellikler göz önünde bulundurularak çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyon çizelgeleme problemi için bir matematiksel model sunulmuştur. İlgili problem, NP-zor problem yapısına sahip olduğu için problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi de artmakta ve meta-sezgisel çözüm yaklaşımlarına ihtiyaç ortaya çıkmaktadır [22]. Bu amaçla TB

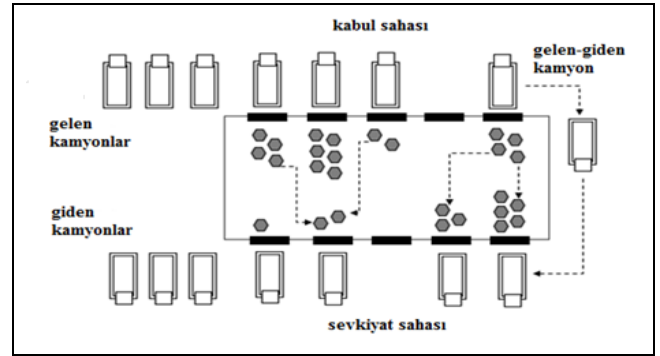
algoritması kodlanarak, performansı küçük boyutlu problemlerde matematiksel modelin sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri izleyen şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde çapraz sevkiyat kamyon çizelgeleme problemi anlatılmıştır, üçüncü bölümde problemin TB algoritmasıyla çözümünden bahsedilmiş, dördüncü bölümde test problemlerinin çözümleri gösterilmiş, beşinci bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2 Çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyon çizelgeleme problemi

2.1. Problemin tanımlanması

İşletmelerin lojistik faaliyetleri kapsamında çizelgeleme önemli bir faaliyet olup, çapraz sevkiyat merkezlerinde kaynakların etkin kullanımı iyi bir çizelgeleme yapıp yapılmamasına bağlıdır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel yönetim problemlerinden biri kamyon çizelgeleme problemidir. Bu problem, çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların kapılara atanmasını ve her bir kapıdaki kamyon sırasının belirlenmesini içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezi ve kamyon grupları.

Şekil 1'de, çapraz sevkiyat merkezine sadece yüklerini boşaltmak üzere gelen ve sadece yüklenecek giden kamyonlar, yük boşaltmak için gelen ve bu işlem bittikten sonra tekrar yüklenmek üzere sevkiyat kapısına yönlendirilen kamyonlar (gelen-giden) bulunmaktadır. Gelen kamyonlarla çapraz sevkiyat merkezine ulaşan ürünler kabul kapılarında boşaltılır. Boşaltılan ürünler giden kamyonlara yüklenmek üzere ayrıştırılır ve birleştirilir. Ürünler ilgili varış noktalarına gönderilmek üzere sevkiyat kapılarındaki giden kamyonlara yüklenir. Tüm kamyonların çapraz sevkiyat merkezine farklı zamanlarda ulaşmaktadır ve varış zamanları bilinmemektedir. Gelen ve giden kamyonlar birbirinden farklı ürünler içermektedir. Giden kamyonlara yüklenmesi gereken ürünler ve gelen kamyonların içindeki ürünler bilinmemektedir. Gelen kamyonlar sırası ile atandıkları kapıda ürünleri boşaltma işlemini gerçekleştirir ve bu işlem biter bitmez kabul kapısından ayrılır. Benzer şekilde, giden kamyonlar sırası ile atandıkları kapıda yükleme işlemini gerçekleştirir ve işlem biter bitmez kapıdan ayrılır. Gelen-giden kamyonlar, atandıkları kabul kapısında ürünlerini boşalttıktan sonra ürün yüklemek üzere sevkiyat sahasına yönlendirilir. Sevkiyat sahasındaki atandıkları kapıya sırası ile yanan gelen-giden kamyonlar yükleme işlemini tamamladıktan sonra kapıdan ayrılır. Ürünlerin yükleme ve boşaltma operasyonları sırasında standart palet veya kutular kullanılır. Bu nedenle ürün türüne bakılmaksızın yükleme ya da boşaltma süresi tüm ürünler için

aynı kabul edilmiştir. Boşaltma ve yükleme operasyonları sırasında ürünlerin araç içindeki sırası göz ardı edilmiştir. Yüklenecekleri kamyon çapraz sevkiyat merkezine gelip sırada hazır olana kadar bazı ürünler geçici olarak merkez içinde bekletilir. Birim ürün aktarma süresi (kabul kapısından sevkiyat kapısına) tüm ürünler için aynı kabul edilmiştir. Kamyon değişim süresi (bir kamyonun sıradan çıkıp diğer kamyonun sıraya girmesi için gerekli olan süre) tüm kamyonlar için aynı kabul edilmiştir. Kamyon değişim süresi ikiye bölünerek ele alınmıştır. İlgili süreler, bir kamyonun sıraya girmesi için geçen süre ve diğer kamyonun sıradan çıkması için geçen süredir. Boysen and Flidner'in [23], yaptığı tanımlamaya göre ele alınan kamyon çizelgeleme problemi $\langle E|r_j, \bar{d}_o, change|\sum_{j=1}^O(u_j \sum_{k=1}^P g_{jk}) \rangle$ gösterimi ile ifade edilmektedir.

2.1 Parametreler

- $i = \{1, \dots, I\}$ gelen kamyon kümesi,
- $j = \{1, \dots, O\}$ giden kamyon kümesi,
- $i = \{1, \dots, CI\}$ ve $j = \{1, \dots, CO\}$ gelen-giden kamyon kümesi ($i \in I$ ve $j \in O$),
- $k = \{1, \dots, P\}$ ürün türü kümesi,
- $m = \{1, \dots, R\}$ kabul kapısı kümesi,
- $n = \{1, \dots, S\}$ sevkiyat kapısı kümesi,
- v_{ik} k ürün türünden i gelen kamyonda bulunan miktar,
- g_{jk} k ürün türünden j giden kamyonu yüklenmesi gereken miktar,
- TC Kamyon değişim süresi ($ET + LT$),
- UL Birim ürün boşaltma süresi,
- UT Birim ürün yükleme süresi,
- TF Gelen-giden kamyonlar için kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi,
- AL_i i gelen kamyonun çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı,
- AD_j j giden kamyonun çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı,
- ET Bir kamyonun kapiya yanaşması için geçen süre,
- LT Bir kamyonun kapıdan ayrılması için geçen süre,
- N Ürünler kabul kapısından sevkiyat kapısına gidene kadar harcanan süre,
- M Büyük bir pozitif sayı,
- W Çalışma zaman aralığı $[0, W]$

2.2 Karar değişkenleri

- s_i i gelen kamyonun yükünü boşaltmaya başladığı zaman,
- F_i i gelen kamyonun boşaltma işlemini tamamladığı zaman,
- e_j j giden kamyonun yüklemeye başladığı zaman,
- C_j j giden kamyonun yükleme işlemini tamamladığı zaman,
- x_{ijk} k ürün türünden i gelen kamyonun j giden kamyonu aktarılan miktar.
- $h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ kamyonun } j \text{ kamyonu ürün aktarırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$
- $p_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } m \text{ kabul kapısında } i \text{ kamyonun} \\ & \text{sonra } j \text{ kamyonu gelirse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$

$$q_{ijn} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } n \text{ sevkiyat kapısında } i \text{ kamyonun} \\ & \text{sonra } j \text{ kamyonu gelirse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$y_{im} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ gelen kamyon } m \text{ kabul kapısına atanırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$z_{jn} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ giden kamyon } n \text{ sevkiyat kapısına atanırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$u_j = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ giden kamyonu yüklenmesi gereken ürünler} \\ & \text{çalışma zaman aralığı içinde yüklenirse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

2.4. Matematiksel model

$$Enb \sum_{j=1}^O \left(u_j \sum_{k=1}^P g_{jk} \right) \quad (1)$$

kısıtları altında;

$$C_j \leq W + M(1 - u_j) \quad (2)$$

$$s_i + \left(UL \sum_{k=1}^P v_{ik} \right) \leq F_i \quad \forall (i \in I) \quad (3)$$

$$F_i + TC \leq s_j + M \left(1 - \sum_{m=1}^R p_{ijm} \right) \quad \forall (i, j \in I) \quad i \neq j \quad (4)$$

$$e_j + \left(UT \sum_{k=1}^P g_{jk} \right) \leq C_j \quad \forall (j \in O) \quad (5)$$

$$C_j + TC \leq e_i + M \left(1 - \sum_{n=1}^S q_{ijn} \right) \quad \forall (i, j \in O) \quad i \neq j \quad (6)$$

$$s_i \geq AL_i + ET \left(\sum_{m=1}^R p_{iim} \right) \quad \forall (i \in I) \quad (7)$$

$$e_j \geq AD_j + ET \left(\sum_{n=1}^S p_{jjn} \right) \quad \forall (j \in O) \quad (8)$$

$$F_i + N \leq e_j + M(1 - h_{ij}) \quad \forall (i \in I, j \in O) \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^R y_{im} = 1 \quad \forall (i \in I) \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^I p_{iim} = 1 \quad \forall (m \in R) \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^I p_{jim} = y_{im} \quad \forall (i \in I, m \in R) \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^I p_{ijm} \leq y_{im} \quad \forall (i \in I, m \in R) \quad i \neq j \quad (13)$$

$$\sum_{n=1}^S z_{jn} = 1 \quad \forall (j \in O) \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^O q_{jjn} = 1 \quad \forall (n \in S) \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I q_{ijn} = z_{jn} \quad \forall (j \in O, n \in S) \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^I q_{jin} \leq z_{jn} \quad \forall (j \in O, n \in S) \quad i \neq j \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^I x_{ijk} = v_{ik} \quad \forall (i \in I, k \in P) \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^I x_{ijk} = g_{jk} \quad \forall (j \in O, k \in P) \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^P x_{ijk} \leq M \cdot h_{ij} \quad \forall (i \in I, j \in O) \quad (20)$$

$$s_i + \left(UL \sum_{k=1}^P v_{ik} \right) + LT + TF \leq e_i \quad \forall (i \in C) \quad (21)$$

$$y_{im} \in \{0,1\} \quad \forall (i \in I, m \in R) \quad (22)$$

$$h_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i \in I, j \in O) \quad (23)$$

$$u_j \in \{0,1\} \quad \forall (j \in O) \quad (24)$$

$$z_{jn} \in \{0,1\} \quad \forall (j \in O, n \in S) \quad (25)$$

$$p_{ijm} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j \in I, m \in R) \quad i \neq j \quad (26)$$

$$q_{ijn} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j \in O, n \in S) \quad i \neq j \quad (27)$$

$$e_j, C_j \geq 0 \quad \forall (j \in O) \quad (28)$$

$$s_i, F_i \geq 0 \quad \forall (i \in I) \quad (29)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad k \in P, i \in I \quad (29)$$

Amaç fonksiyonu (1) belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının en büyüklüğünü sağlamaktadır. Kısıt grubu (2) çalışma süresinin sonuna kadar yüklenen kamyonların belirlenmesini sağlar. Kısıt grubu (3-4) aynı kapıya atanan gelen kamyonlar için öncelik ilişkisini belirler. Kısıt grubu (5-6) aynı kapıya atanan giden kamyonlar için öncelik ilişkisini belirler. Kısıt grubu (7-8) gelen ve giden kamyonların (eğer bu kamyonlar kabul ve sevkiyat kapılarında ilk sırada boşaltılacak ya da yüklenecek ise) boşaltma ve yükleme işlemine başlama zamanlarının çapraz sevkiyat merkezine varış zamanlarından büyük olmasını sağlar. Kısıt grubu (9) eğer her iki kamyon arasında ürün aktarımı gerçekleşiyorsa, gelen kamyonun kabul kapısından ayrıldığı zamanla giden kamyonun sevkiyat kapısına girdiği zamanı birbirine bağlar. Kısıt grubu (10) her bir gelen kamyonun yalnızca bir kabul kapısına atanmasını sağlar. Kısıt grubu (11) her bir kabul kapısındaki sıranın başlangıcında yalnızca bir kamyonun yer almasını sağlar. Bu kısıtta bir p_{ii} karar değişkeni kullanılır ve i . gelen kamyonun atandığı kapıda ilk sırada olması durumunda "1" değerini alır. Kısıt grubu (12) eğer bir gelen kamyon bir kapıya atandıysa, o kamyonun başka bir kamyonundan önce geldiğini belirtir. Kısıt grubu (13) eğer bir gelen kamyon bir kapıya atandıysa en fazla bir kamyonun sonra geldiğini belirtir. Kısıt grubu (14) her bir giden kamyonun yalnızca bir sevkiyat kapısına atanmasını sağlar. Kısıt grubu (15) her bir sevkiyat kapısındaki sıranın başlangıcında yalnızca bir kamyonun yer almasını sağlar. Bu kısıtta bir q_{jj} karar değişkeni kullanılır ve j . giden kamyonun atandığı kapıda ilk sırada olması durumunda "1" değerini alır. Kısıt grubu (16) eğer bir giden kamyon bir kapıya atandıysa, o kamyonun başka bir kamyonundan önce geldiğini belirtir. Kısıt grubu (17) eğer bir giden kamyon bir kapıya atandıysa en fazla bir kamyonun sonra geldiğini belirtir. Sırada en sonda yer alan bir giden kamyonun ardından başka bir kamyon yer almayacaktır. Kısıt grubu (18) i . gelen kamyonun k . ürün türünden giden kamyonlara aktarılan miktarın, başlangıçta i . gelen kamyonun k . ürün türünden bulunan miktara eşit olmasını sağlar. Benzer şekilde kısıt grubu (19) k . ürün türünden tüm gelen kamyonlardan giden kamyonlara aktarılan miktarın, tüm giden kamyonların k . ürün türüne olan ihtiyacına eşit olmasını sağlar. Kısıt grubu (20) x_{ijk} ve h_{ij} karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi sağlar. Kısıt grubu (21) gelen-giden kamyonların kabul sahasındaki boşaltmayı tamamlama zamanına, sevkiyat sahasındaki yüklemeye başlama zamanını bağlamaktadır. (22-29) kısıt grupları $\{0,1\}$ tamsayı olma ve pozitif olma koşullarını sağlamaktadır. (10)-(19) arasındaki kısıt grupları, Lee ve diğ. [1] modelinde kullandığı ve genel olarak kamyon çizelgeleme problemlerinde kullanılan kamyonların kapılara belirli bir sırada atanmasını sağlayan kısıtlardır.

Kamyonların farklı varış zamanları, gelen- giden kamyonlar ve çapraz sevkiyat merkezi için belirli bir çalışma süresi özellikleri dâhil edildikten sonra kamyon çizelgeleme problemi geniş

kapsamlı bir çizelgeleme problemi haline almıştır. Problemin çözümü için tasarlanan matematiksel model GAMS'de kodlanarak test problemleri ile sınanmıştır.

3 Çözüm yöntemi

Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyon çizelgeleme problemi, NP-zor problem yapısına sahip olduğu için problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi de artmakta ve meta- sezgisel çözüm yaklaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [22]. Problemin paralel makine çizelgeleme problemine benzerliği ve literatürde Tavlama Benzetimi Algoritmasının ilgili problemlerde kısa sürede etkin çözüm verdiğinin gösterilmesi sebebiyle çalışmada Tavlama Benzetimi Algoritması seçilmiştir [24]. TB algoritması Python 3.4 yazılımıyla kodlanmıştır. Belirtilen kamyon çizelgeleme probleminin karma tamsayılı matematiksel modeli GAMS 23.3 yazılımının CPLEX 12.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonuçları önerilen meta-sezgisel yaklaşımın çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Küçük boyutlu problemlerde başarısı ispatlanan algoritma büyük boyutlu problemlerin çözümü için önerilmiştir.

3.1 Tavlama benzetimi

Tavlama benzetimi, malzemenin fiziksel tavlama sürecine benzetilerek çalışan bir rassal arama algoritmasıdır. Her sıcaklıkta, belirli bir kabul olasılığı ile mevcut çözümden daha kötü komşu çözümleri kabul ederek yerel en iyi çözümden kaçma yeteneğine sahiptir. Tavlama Benzetimi Algoritmasının adımları Şekil 2'de verilmiştir [25].

Adım 1: Ardıştırma sayısı $k = 1$. Sıcaklık β için bir başlangıç değeri β_1 belirle ve durma ölçütünü (N) tayin et. Sezgisel olarak ya da rasgele bir başlangıç çözümü S_1 üret.

$$S_{eniye} = S_1$$

Adım 2: S_k 'ya komşu bir çözüm S_c üret ve çözümün amaç fonksiyonu değerini $G(S_c)$ hesapla.

Eğer $G(S_{eniye}) < G(S_c) < G(S_k)$ ise

$S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.

Eğer $G(S_c) < G(S_{eniye})$ ise $S_{eniye} = S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.

Eğer $G(S_c) \geq G(S_k)$ ise (0,1) arasında düzgün dağılan bir U_k rassal sayısını üret.

Eğer $U_k \leq P(S_k, S_c)$ ise $S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla

$P_{kabul} = \exp\left(\frac{G(S_k) - G(S_c)}{\beta_k}\right)$;

Değilse $S_{k+1} = S_k$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.

Adım 3: Sıcaklığı düşür $\beta_{k+1} = \beta_k$. Ardıştırma sayısını artır.

Eğer $k = N$ ise dur, değilse Adım 2'ye geç

Şekil 2: Tavlama benzetimi algoritmasının adımları.

Enküçükleme problemi için, S_k mevcut çözümü, S_c komşu çözümü göstermektedir. Ardıştırma k 'da, $G(S_k)$, ilgili sıralamanın amaç fonksiyonu değerini belirtir. Eğer $G(S_c) \geq G(S_k)$ ise $P(S_k, S_c)$ olasılığı ile S_c kabul edilebilir. " β " her ardıştırmada düşürülen sıcaklığı göstermektedir. $G(S_{eniye})$, mevcut zamana kadar elde edilen en iyi çözümü göstermektedir.

TB algoritmasında kullanılmak üzere başlangıç uygun çözüm ve komşu çözüm türetme mekanizmaları problemin yapısına uygun olarak belirlenmiştir.

3.2 Başlangıç uygun çözüm türetme mekanizması

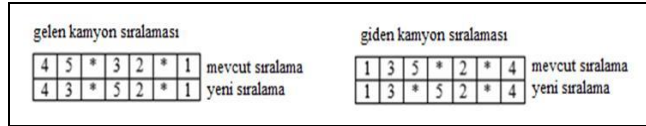
Öncelikli olarak gelen kamyonlar en erken gelenden en geç gelene doğru sıralanır. Eğer iki kamyonun da varış zamanı aynı ise ürün miktarı fazla olan kamyon sıralamaya diğerinden önce eklenir. Kamyonlar yapılan sıralamaya göre sırası ile kabul kapılarına atanır. Benzer şekilde giden kamyonlar da en erken gelenden en geç gelene doğru sıralanır. Gelen-giden kamyonlar, giden kamyonlar sıralandıktan sonra sıralamaya eklenir. Başlangıç uygun çözüm türetmek amacıyla tasarlanan mekanizmada izleyen adımlar uygulanır:

- Gelen kamyonlar çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarına göre sıralanır (en erken gelen kamyonun en geç kamyonu doğru). $I = \{1,2, \dots, n\}$, $\forall i \in I$,
- Gelen kamyon sayısı/ kabul kapısı sayısı, tespit edilir,
- Sıralamaya kabul kapıları eklenir,
- Giden kamyonlar çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarına göre sıralanır (en erken gelen kamyonun en geç kamyonu doğru). $O = \{1,2, \dots, m\}$, $\forall j \in O$ gelen-giden kamyonlar çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarına göre sıralanır ve giden kamyon listesinin sonuna eklenir $O = \{1,2, \dots, m\} \forall j, c \in O$
- Giden kamyon sayısı/ sevkiyat kapısı sayısı, tespit edilir.

Sıralamaya sevkiyat kapıları eklenir.

3.3 Komşu çözüm türetme mekanizması

Komşu çözüm oluşturulurken, gelen ve giden kamyon sıraları için farklı ikişer sayı türetilir. Türetilen iki sayıya göre sıralamalardaki iki hücrenin yeri değiştirilir. Belirtilen hücreler iki kamyonun yeri olabileceği gibi, bir kapı ve bir kamyon veya iki kapının yeri de olabilir (Şekil 3).



Şekil 3: Komşu çözüm türetme mekanizması.

Şekil 3'teki mevcut sıralamaya göre, 3 kabul kapısı 5 gelen kamyon, 3 sevkiyat kapısı ve 5 giden kamyon bulunmaktadır. Mevcut sıralama ve atamaya göre, birinci kabul kapısında sırasıyla 4 ve 5 No.lu gelen kamyonlar, ikinci kabul kapısında 3 ve 2 No.lu gelen kamyonlar, üçüncü kabul kapısında ise 1 No.lu gelen kamyon boşaltılacaktır. Benzer şekilde mevcut sıralamaya göre, sırasıyla 1, 3 ve 5 No.lu giden kamyonlar birinci sevkiyat kapısında, 2 No.lu giden kamyon ikinci sevkiyat kapısında ve 4 No.lu giden kamyon üçüncü sevkiyat kapısında yüklenecektir. Gelen kamyonlar için türetilen iki sayı 2 ve 4, giden kamyonlar için türetilen iki sayı 3 ve 4'tür. Türetilen sayılara denk gelen hücrelerin yerleri değiştirilerek yeni sıralamalar oluşturulmuştur. Yeni sıralamalara göre, birinci kabul kapısında sırasıyla 4 ve 3 No.lu gelen kamyonlar, ikinci kabul kapısında 5 ve 2 No.lu gelen kamyonlar, üçüncü kabul kapısında ise 1 No.lu gelen kamyon boşaltılacaktır. Benzer şekilde yeni sıralamaya göre, sırasıyla 1 ve 3 No.lu giden kamyonlar birinci sevkiyat kapısında, 5 ve 2 No.lu giden kamyon ikinci sevkiyat kapısında ve 4 No.lu giden kamyon 3. sevkiyat kapısında yüklenecektir.

4 Deneysel sonuçlar

Farklı parametrelere göre veriler kullanılarak test problemleri oluşturulmuş ve çözüm sonuçları incelenmiştir. Test problemlerinin matematiksel modeli GAMS 23.3 CPLEX 12.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Tablo 1'de, TB'nin çözüm sonuçları CPLEX çözücüsünden alınan eniyi çözümler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, TB için başlangıç sıcaklığı 100 °C, soğutma oranı %90 ve durdurma ölçütü 250 ardışık olarak belirlenmiştir. Her bir test problemi TB ile 10 defa çözdürülmüştür. Tüm testler 3.0 GHz. 12GB RAM Intel Core i7 işlemcili bilgisayarda yapılmıştır.

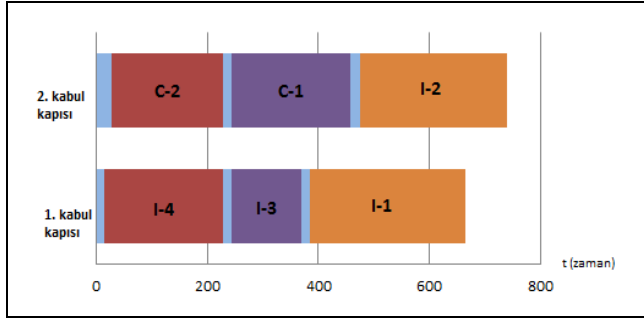
Tablo 1: Test problemlerinde CPLEX ve TB'nin amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süresi bakımından karşılaştırılması.

Test Problemi	I	O	R	S	W	Amaç Fonksiyonu Değeri		Çözüm Süresi (sn.)	
						CPLEX	TB	CPLEX	TB
1	4	4	1	2	1450	960	960	0.678	21
2	4	4	2	1	1450	795	795	0.647	19
3	4	5	2	2	1100	960	960	0.654	24
4	4	5	2	3	1300	1000	1000	0.208	28
5	5	4	2	1	1300	770	770	1.707	20
6	5	4	2	2	1200	1130	1130	0.395	24
7	4	6	3	2	1050	995	995	3.471	23
8	4	6	2	2	1150	1030	1030	26.245	26
9	5	5	2	3	900	690	690	14.777	32
10	5	5	3	2	1000	1025	1025	5.644	24
11	6	4	2	2	900	760	760	3.278	20
12	6	4	3	2	900	1000	1000	0.507	19
13	5	6	3	2	1100	1165	1165	11.491	27
14	5	6	2	3	1200	1315	1315	0.607	35
15	6	5	2	3	1000	945	945	6.302	35
16	6	5	3	2	1000	1075	1075	2.995	26
17	6	6	2	2	1250	1300	1300	50.5	30
18	6	6	3	2	1000	1135	1135	22.231	28
19	6	7	2	2	1000	895	895	6308.2	32
20	7	7	2	3	1200	1390	1330	*	36
Ort.								26.45	

Tablo 1'de 7 gelen, 7 giden kamyon ve daha az sayıda kamyonu ilişkin çözüm sonuçları bulunmaktadır. 6 gelen ve 6 giden kamyon sayısı aşıldığında matematiksel modelin çözüm süresinin belirgin bir şekilde arttığı gösterilmiştir. TB'nin çözüm sonuçları ve çözüm süresi incelendiğinde makul sürede uygun çözümler verdiği görülmektedir. 7 gelen ve 7 giden kamyonun kullanıldığı test problemlerinde çözüm süresinin CPLEX çözücüsüyle üç saati aştığı gözlemlenmiştir. Lee ve diğ. (2012) çalışmasında 6 gelen ve 6 giden kamyonun üzerindeki test problemleri için optimizasyon programlarıyla makul sürede çözüm bulmanın mümkün olmadığını belirtmiştir.

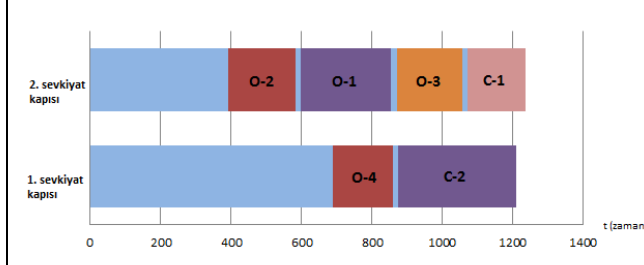
Çözüm süresiyle ilgili gözlenen değerler ilgili çalışmayı destekleyen niteliktedir. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri ve TB algoritmasının amaç fonksiyonu değeri ilgili problem türü için aynı bulunmuştur. Bu durum küçük boyutlu problemlerde başarısı ispatlanan algoritmanın büyük boyutlu problemlerin çözümünde de kullanılabileceğini göstermektedir.

Şekil 4'te 17. test problemine ilişkin veriler kullanılarak gelen (I) ve gelen-giden (C) kamyonlara ilişkin bir çizelge verilmiştir.



Şekil 4: Gelen kamyonların çizelgesi.

Çizelgede, birinci kabul kapısında sırasıyla 4, 3 ve 1 No.lu gelen kamyonun; ikinci kabul kapısında 2, 1 No.lu gelen-giden ve 2 No.lu gelen kamyonun boşaltılacağı gösterilmektedir. Mavi renkle gösterilen yerler kamyon değişim süresini belirtmektedir. Kamyonların ürün boşaltma işlemine başlama ve bitirme zamanları çizelge üzerinden takip edilebilmektedir. Benzer şekilde giden (O) ve gelen-giden (C) kamyonların çizelgesi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Giden kamyonların çizelgesi.

Çizelgede, birinci sevkiyat kapısında sırasıyla 4 No.lu giden, 2 No.lu gelen-giden kamyonun; ikinci sevkiyat kapısında 2, 1, 3 No.lu giden ve 1 No.lu gelen-giden kamyonun yükleneceği gösterilmiştir. Kamyonların yükleme işlemine başlama ve yüklemeyi bitirme zamanları çizelge üzerinden takip edilebilmektedir.

5 Sonuç ve öneriler

Çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen, giden ürün akışını senkronize edebilmek ve müşteriye zamanında ürün gönderebilmek için ele alınması gereken en temel problemlerden biri kamyon çizelgeleme problemidir. Çalışmada, çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde kamyon çizelgeleme problemi, belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının en büyüklüğüne amacına göre ele alınmıştır. İlgili problemde, gerçek hayat problemlerinde olduğu gibi kamyonların çapraz sevkiyat merkezine farklı zamanlarda ulaştığı kabul edilmiştir. Ayrıca kamyon çizelgeleme problemlerinde yer alan gelen ve giden kamyonlar dışında, ürün boşaltmak için merkeze gelen ve boşaltma işlemi bittikten sonra sevkiyat sahasına geçerek yükleme yapan "gelen-giden"

kamyonlar da probleme dâhil edilmiştir. Ele alınan problemin matematiksel modeli kurulmuş, türetilen test problemleri için GAMS CPLEX çözücüsü kullanılarak en iyi çözümler elde edilmiştir. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmak üzere kodlanan SA algoritması ile matematiksel modelin çözüm sonuçları kıyaslanmıştır. Çapraz sevkiyat konusundaki çalışmalar dikkate alındığında ele alınan kamyon çizelgeleme problemi için yapılan çalışma çapraz sevkiyat merkezleri için uygulamaya dönük bir sistem ortaya koymaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda problem farklı özellik, kısıt ve amaçlar doğrultusunda ele alınarak incelenebilir. Ayrıca çapraz sevkiyat merkezi içindeki kabul ve sevkiyat kapıları arasındaki mesafeler de dikkate alınarak ürünlerin merkez içerisinde izlediği yolu en küçükleyecek şekilde aktarım gerçekleştirilebilir. Belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının en büyüklüğüne amacının dışında diğer amaçlar da dikkate alınarak birden fazla amacı eniyileyecek şekilde çok amaçlı bir yapı oluşturulabilir.

6 Teşekkür

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2015-734 kodlu "Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme" başlıklı proje ile desteklenmiştir.

7 Kaynaklar

- [1] Lee K, Kim BS, Joo CM. "Genetic algorithms for door-assigning and sequencing of trucks at distribution centers for the improvement of operational performance". *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12975-12983, 2012.
- [2] McWilliams DL, Stanfield PM, Geiger CD. "The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach". *Computers & Industrial Engineering*, 49, 393-412, 2005.
- [3] Yu W, Egbelu PJ. "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage". *European Journal of Operational Research*. 184, 377-396, 2008.
- [4] Van Belle J, Valckenaers P, Cattrysse D. "Cross-docking: State of the art". *Omega*, 40, 827-846, 2012.
- [5] Vahdani B, Zandieh M. "Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics". *Computers & Industrial Engineering*. 58, 12-24, 2010.
- [6] Boloori Arabani AR, Fatemi Ghomi SMT, Zandieh M. "A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 741-756, 2010.
- [7] Larbi R, Alpan G, Baptiste P, Penz B. "Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals". *Computers and Operations Research*, 38(6), 889-900, 2011.
- [8] Boloori Arabani AR, Fatemi Ghomi SMT, Zandieh M. "Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage". *Expert Systems with Applications*, 38, 1964-1979, 2011.
- [9] Boloori Arabani A R, Zandieh, M, Fatemi Ghomi SMT. "A cross-docking scheduling problem with sub-population multi-objective algorithms". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 741-761, 2012.
- [10] Mohtashami A. "Scheduling trucks in cross docking systems with temporary storage and repetitive pattern for shipping trucks". *Applied Soft Computing*, 36, 468-486, 2015.

- [11] Amini A, Tavakkoli-Moghaddam R. "A bi-objective truck scheduling problem in a cross-docking center with probability of breakdown for trucks". *Computers and Industrial Engineering*, 96, 181-190, 2016.
- [12] McWilliams DL, Stanfield PM, Geiger CD. "Minimizing the completion time of the transfer operations in a central parcel consolidation terminal with unequal-batch-size inbound trailers". *Computers & Industrial Engineering*, 54(4),709-720, 2008.
- [13] Alpan G, Larbi R, Penz B. "A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform". *Computers and Industrial Engineering*, 60, 385-396, 2011.
- [14] Boysen N, Briskorn D, Tschöke M. "Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departure". *OR Spectrum*, 35, 479-504, 2013.
- [15] Konur D, Golias MM. "Cost-stable truck scheduling at a cross-dock facility with unknown truck arrivals: A meta-heuristic approach". *Transportation Research Part E*, 49, 71-91, 2013.
- [16] Liao TW, Egbelu PJ, Chang PC. "Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi door cross docking operations". *International Journal of Production Economics*, 141, 212-229, 2013.
- [17] Boysen N. "Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals". *Computers & Operations Research*, 37, 32-41, 2010.
- [18] Joo CM, Kim BS. "Scheduling compound trucks in multi-door crossdocking terminals". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64, 977-988, 2013.
- [19] Van Belle J, Valckenaers P, Berghe GV, Cattrysse D. "A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows". *Computers and Industrial Engineering*, 66, 818-826, 2013.
- [20] Kuo Y. "Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system". *Expert Systems with Applications*, 40, 5532-5541, 2013.
- [21] Wisittipanich W, Hengmeechai P. "Truck scheduling in multi-door cross docking terminal by modified particle swarm optimization". *Computers & Industrial Engineering*, 113, 793-802, 2017.
- [22] Chen F, Lee CY. "Minimizing the makespan in two-machine cross-docking flow shop problem". *European Journal of Operational Research*, 193, 59-72, 2009.
- [23] Boysen N, Flidner M. "Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda". *Omega*, 38, 413-422, 2010.
- [24] Saricicek I, Celik C, "Two meta-heuristics for parallel machine scheduling with job splitting to minimize total tardiness". *Applied Mathematical Modelling*, 35, 4117-4126, 2011.
- [25] Pinedo M. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. 2nd ed. New York, USA, Prentice Hall, 2002.