Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı

Mehmet Cem Öz

YÜKSEK LİSANS

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2023

A Solution Approach for A Dock-Door Assignment Problem

Mehmet Cem Öz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

October 2023

Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı

Mehmet Cem ÖZ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Feriştah Özçelik
İkinci Danışman: Doç. Dr. Tuğba Saraç

Ekim 2023

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim ve Servis Sitemleri Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Mehmet Cem Öz**'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Feriştah Özçelik

İkinci Danışman : Doç. Dr. Tuğba Saraç

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Feriştah Özçelik

Üye: Doç. Dr. Şerafettin Alpay

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emine Akyol Özer

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……..…….. tarih ve ……..…… sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma Tümsek

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Feriştah Özçelik ve Doç. Dr. Tuğba Saraç danışmanlığında hazırlamış olduğum "Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 06/10/2023

Mehmet Cem Öz

İmza

ÖZET

Çapraz sevkiyatta kapı atama problemlerindeki önemli performans ölçütlerinden biri de boşaltma ve yükleme süreleridir. Literatürdeki çapraz sevkiyatta kapı atama problemine dair yapılan çalışmalar incelendiğinde bu sürelerin önceden bilindiği varsayılmaktadır. Ancak kapılara atanan işçi sayısına bağlı olarak boşaltma ve yükleme süreleri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada çapraz sevkiyatta kamyonların kapılara atanması problemi, her kapıya kaç işçi atanacağının 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 (ÇSKA-S1 ve ÇSKA-S2) 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 amaç fonksiyonunun değerini ortalama Senaryo-1 için %3,14 ve Senaryo-2 için %4,02 oranında iyileştirebildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca toplam işçi sayısının amaç fonksiyonuna etkisini inceleyebilmek için farklı boyutta test problemleri farklı sayıda işçilere izin verilecek şekilde çözülmüş ve işçi sayısını arttırmanın katkısı analiz edilmiştir. Çizilen katkı grafikleri karar vericiye toplam işçi sayısını belirleme yönünde önemli bilgiler sunar niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz sevkiyat, kapı atama problemi, işçi sayısına bağlı yükleme ve boşaltma süreleri.

SUMMARY

One of the most important performance criteria in door assignment problems in cross docking is unloading and loading times. In the literature related to the door assignment problem in the cross docking, it is assumed that these times are known in advance. However, depending on the number of workers assigned to the doors, the unloading and loading times also vary. 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 mixed integer linear mathematical model has been developed for the problem in question. The proposed model was compared with two different scenarios (ÇSKA-S1 and ÇSKA-S2) where a fixed number of workers were assigned to the doors. The performance of the model is demonstrated 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. In addition, in order to examine the effect of the total number of workers on the objective function, test problems of different sizes were solved with different numbers of workers and the contribution of increasing the number of workers was analyzed. The contribution graphs drawn provide important information to the decision maker in determining the total number of workers.

Keywords: Cross docking, Door assignment problem, Number of workers dependent loading and unloading times

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstererek sabır ve özveriyle beni yönlendiren ve büyük emekleri olan değerli danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Feriştah Özçelik'e ve Sayın Doç. Dr. Tuğba Saraç'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez savunması sırasında kıymetli görüşlerini sunan hocalarım Sayın Doç. Dr. Şerafettin Alpay ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emine Akyol Özer'e teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam boyunca her zaman beni destekleyen, moral ve motivasyonumu artıran ve her daim yanımda olan annem Ayşe Şule Genelioğlu'na teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**

SUMMARY ..... **vii**

TEŞEKKÜR ..... **viii**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiv**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. ÇAPRAZ SEVKİYAT SİSTEMİ **4**

2.1. Çapraz Sevkiyat Sistemi Kavramı 4

2.2. Geleneksel Dağıtım Sistemleri ile Çapraz Sevkiyat Sistemi Arasındaki Farklar 10

2.3. Çapraz Sevkiyatın Avantajları ve Dezavantajları 15

2.4. Çapraz Sevkiyatın Özellikleri 19

2.4.1. Stratejik Seviye Özellikler 20

2.4.2. Taktiksel Seviye Özellikler 21

2.4.3. Operasyonel Seviye Özellikler 23

2.4.4. Çapraz Sevkiyat Sisteminde Performans Ölçütleri 26

2.5. Çapraz Sevkiyat Sisteminde Kararlar 28

2.6. Kapı Atama Problemi 30

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **35**

4. MATERYAL VE YÖNTEM **59**

4.1. Önerilen Matematiksel Model 59

5. BULGULAR VE TARTIŞMA **65**

5.1. Test Problemleri 65

5.2. Önerilen Model ile Elde Edilen Sonuçların Senaryo-1 ve Senaryo-2'nin Sonuçları ile Karşılaştırılması 66

5.3. Toplam İşçi Sayısını Arttırmanın Katkısı 69

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 84
KAYNAKLAR DİZİNİ 86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Tipik bir çapraz sevkiyatta malzeme taşıma 6
2.2. Ürünlerin yükleme kapısına karşılık gelen bölgelerde yüklendiği tek kademeli bir çapraz sevkiyat 7
2.3. Ürünlerin boşaltma ve yükleme kapılarına karşılık gelen bölgelere yerleştirildiği ve aralarında sınıflandırıldığı çift kademeli bir çapraz sevkiyat 7
2.4. Çapraz sevkiyat sisteminin çerçevesi 9
2.5. Geleneksel dağıtım sisteminin süreçleri 11
2.6. Geleneksel lojistik dağıtım süreci 12
2.7. Çapraz sevkiyat dağıtım süreci 12
2.8. Çapraz sevkiyat sistemindeki yerleşim çeşitleri 21
4.1. Örnek problem için elde edilen çözüm 64
5.1. 8x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 70
5.2. 8x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği 70
5.3. 9x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 71
5.4. 9x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği 72
5.5. 10x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 73
5.6. 10x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği 73
5.7. 10x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 74
5.8. 10x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği 75
5.9. 11x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 76
5.10. 11x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği 76
5.11. 12x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 77
5.12. 12x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği 78
5.13. 12x6s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 79
5.14. 12x6s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği 79
5.15. 15x6s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 80
5.16. 15x6s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği 81
5.17. 15x7s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

5.18. 15x7s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği..... 82
5.19. 20x10s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği..... 83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Çapraz sevkiyat sisteminin tercih edilmesini gösteren faktörler 15
2.2. Farklı operasyonel çapraz sevkiyat problemlerinin özeti 30
3.1. Çapraz sevkiyatta kapı atama probleminin dikkate alındığı çalışmalar 57
4.1. tij parametresi 63
4.2. wmn parametresi 63
5.1. Test problemlerinin boyutları 65
5.2. Test sonuçları 67
5.3. Test problemleri için iyileşme sonuçları 68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
CDAP	Çapraz sevkiyatta kapı atama problemi
ÇSİKA	Çapraz sevkiyatta işçi sayılarına bağlı kapı atama
ÇSKA	Çapraz sevkiyatta kapı atama
LTL	Tam kamyon yükünden daha az yük
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde ekonominin ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok endüstri dönüşüm ve gelişim içerisindedir. Giderek daha fazla işletme, e-ticaret yapmaya ve kendi tedarik zinciri yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Aynı zamanda, e-ticaretin gelişmesi nedeniyle üretimin gecikmesiz gerçekleştirilmesi ve ürünlerin müşterilere zamanında ulaştırılması çok önemli hale gelmiştir. Pratik açıdan bakıldığında, artan ürün talebiyle birlikte, lojistiğin operasyonel verimliliği daha yüksek gereksinimler ortaya koymakta ve bu da giderek daha fazla işletmenin yeni lojistik stratejileri geliştirme çabası içerisine girmesine neden olmaktadır (Li, 2019).

Günümüzde dağıtım merkezleri, stoğu enküçüklemeyi ve sevkiyatı zamanında yaparak maliyetleri azaltmayı amaçlamaktadır (Wisittipanich ve Hengmeechai, 2015). Bu nedenle birçok endüstride işletmelerin çoğu kar elde edebilmek ve rekabet avantajı sağlayabilmek amacıyla tedarik zincirinde çapraz sevkiyat sistemini kendi sistemlerine entegre etmektedirler.

Küresel anlamda en çok tanınan ve en çok rağbet gören tedarik zinciri stratejilerinden biri çapraz sevkiyattır. İmalat endüstrisinden perakendeciliğe kadar pek çok farklı sektördeki şirketler, çapraz sevkiyat stratejisi uygulayarak lojistik operasyonlarının verimliliğini artırmaya odaklanmışlardır (Enderer, 2017).

Çapraz sevkiyat, bir tedarik zincirinde tedarikçiler ve perakendeciler arasındaki yüksek düzeyde ve sürekli olarak talep edilen ürünlerin hareketini hızlandırmak için tasarlanmış bir lojistik stratejisidir. Böylelikle; daha iyi bir hizmet düzeyi, tedarik zincirinde daha düşük maliyetler ve daha hızlı yanıt verme düzeyi elde edilmektedir. Ayrıca çapraz sevkiyatta, herhangi bir depodaki büyük maliyetli operasyonlar olarak bilinen depolama ve sipariş toplamayı da azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amaçlanmaktadır. Bu strateji; perakendecilik, üretim ve otomotiv gibi birçok farklı endüstri dalında başarıyla uygulanmıştır (Nassief, 2018). Küçükoğlu ve Öztürk (2016)'ün tanımına göre ise çapraz sevkiyat sistemleri; depolama maliyetlerini, sipariş toplama maliyetlerini, taşıma

maliyetlerini ve teslimat sürelerini enküçüklemeyi amaçlayan bir malzeme taşıma ve dağıtım stratejisidir.

Geleneksel lojistik dağıtım sistemlerinden farklı olarak, çapraz sevkiyat dağıtım sistemleri depolama amaçlarına hizmet etmemektedir. Verimli bir çapraz sevkiyat dağıtım sistemi, terminalde çok az stok tutarak veya hiç depolama yapmayarak ve ürünlerin bir araya getirilmesi için gerekli uyumu sağlayarak depolama ve malzeme taşıma maliyetlerini azaltmayı veya ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Dağıtım şirketleri ve tedarikçiler; tedarik zincirindeki dalgalanmalara anında müdahale ederken, depolamayı azaltmak gibi faaliyetleri içeren çapraz sevkiyat tesislerinden yararlanmaktadırlar. Bu tarz tesisler, ürünlerin hareketliliğini ve depolama gibi daha az önemli birçok işlemi ortadan kaldırarak ya da enküçükleyerek tedarik zincirinin verimliliğini ve ürünlerin dağıtım yönetimini geliştirmektedir. Günümüzde çapraz sevkiyat, küçük ölçekli işletmelerden büyük tedarikçilere ve lojistik sağlayıcılara kadar pek çok sektörde verimli bir şekilde uygulanarak yönetilmektedir (Enderer, 2017).

Çapraz sevkiyat operasyonlarında karşılaşılan kritik sorunlardan bir tanesi, ürünlerin gelen kamyonlardan giden kamyonlara taşınması sırasında ortaya çıkan işçilik maliyetini veya makine maliyetini büyük ölçüde etkileyen teslim alma ve kamyonların kapılara atanması adımıdır (Zhang, 2019). Çapraz sevkiyatta önemli problemlerden birisi kamyonların kapılara atanması problemidir. Eğer atama iyi yapılırsa çapraz sevkiyatın üretkenliği artacağı gibi taşıma maliyetleri de azalacaktır (Van Belle, 2012). Bu açıdan çapraz sevkiyatta kapı atama problemi, işletmelere kar, avantaj ve müşteri memnuniyeti sağlayacağından işletmelerin üzerinde durması ve incelemesi gereken önemli problemlerden birisidir.

Literatürde çapraz sevkiyatta kapı atama problemlerini ele alan çalışmalar incelendiği zaman çoğu çalışmada hem boşaltma hem de yükleme kapılarındaki işçi sayılarının boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerine etkisi göz ardı edilmiştir. Ayrıca hem yükleme ve boşaltma kapılarına kamyonların atanması problemini hem de her kapıya atanacak işçi sayılarının belirlenmesi problemini birlikte ele alan çalışmaya rastlanmamaktadır. Fakat kapılara atanacak işçi sayıları, çapraz sevkiyatta önemli bir etkiye

sahiptir. O nedenle işçi sayılarının boşaltma ve yükleme sürelerine olan etkisi dikkate alınarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, çapraz sevkiyatta işçi sayılarına bağlı yükleme ve boşaltma sürelerinin olduğu kapı atama (ÇSİKA) problemi ilk kez ele alınmıştır. Bu problemde, kamyonlar ve işçilerin kapılara ataması gerçekleştirilmekte, boşaltma ve yükleme süreleri incelenmekte ve çapraz sevkiyat sistemi üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, kapılara atanan toplam işçi sayısının artırılmasının çapraz sevkiyata etkisi ve katkısı da araştırılmaktadır.

Çalışmada; işçi-kapı atamaları, kamyon-kapı atamaları ve boşaltma ve yükleme süreleri açısından en verimli çapraz sevkiyat sisteminin elde edilmesi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen modelin performansı literatürden alınan test problemleri kullanılarak test edilmiştir.

Bu tez çalışması, altı bölümden oluşmaktadır. İzleyen bölümde, çapraz sevkiyat kavramı ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, çapraz sevkiyatta kapı atama problemi hakkında literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Dördüncü bölümde, çapraz sevkiyatta işçi sayılarına bağlı kapı atama problemi tanımlanmış ve problemin çözümü için önerilen matematiksel model sunulmuştur. Beşinci bölümde, modelin çözümünden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Son bölümde ise tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar önerilmiştir.

2. ÇAPRAZ SEVKİYAT SİSTEMİ

2.1. Çapraz Sevkiyat Sistemi Kavramı

Çapraz sevkiyat; bir tedarikçiden birkaç varış noktası için ürün alan ve bir varış noktasına ortak bir nihai teslimat için bu ürünleri, diğer tedarikçilerin ürünleriyle birleştiren bir aktarma platformu olarak tanımlanmaktadır (Kinnear, 1997).

Bartholdi ve Gue (2004) çapraz sevkiyat tanımını, ürünlerin gelen kamyonlardan giden kamyonlara depolama olmaksızın taşındığı bir formülü zaman kısıtı ile ele almaktadırlar. Boysen ve Fliedner (2010) ise çapraz sevkiyatı tanımlarken birleştirme ilkesini esas almışlardır. Çapraz sevkiyatı; kamyonların tam yüklü olacak şekilde birden çok küçük hacimli sevkiyatların birleştirildiği bir ağ üzerinde ekonomik olarak dağıtılmasını amaçlayan bir birleştirme yeri olarak tanımlamışlardır. Bir çapraz sevkiyat sisteminde işlemlerin gerçekleştirildiği merkeze Çapraz Sevkiyat Merkezi adı verilmektedir.

Çapraz sevkiyat, Amerika Malzeme Aktarma Endüstrisi (Material Handling Industry of America-MHIA) tarafından "hareket halindeki ürünlerin depolanmadan kabul sahasından sevkiyat sahasına yönlendirilmesi süreci" olarak tanımlanmıştır (http://www.mhia.org/learning/glossary). Bu tanım, stok bulundurmaya değil ürünlerin taşınmasına dikkat çekmektedir. Bu durum gelen ve giden kamyonların eş zamanlı olmasının gerekliliğini ve önemini göstermektedir. Ancak bu eş zamanlılığa ulaşmak uygulamada oldukça zordur (Özden, 2016).

Küresel rekabetin baskısı altında şirketler, dağıtım da dahil olmak üzere operasyonlarının her adımında envanteri azaltarak maliyetlerini düşürmektedirler (Yu ve Egbelu, 2008). Bu nedenle şirketler çapraz sevkiyat sistemini benimsemektedirler. Çapraz sevkiyat, lojistikte nispeten yeni bir depolama stratejisidir. Çapraz sevkiyat işlemi, tedarikçinin yükleri çapraz sevkiyat alanına taşımasını ve geçici depolama alanında kısa bir süre kaldıktan sonra doğrudan ilgili giden kamyona yüklenmesini ifade etmektedir. Ardından yükler hemen terminal müşterisine taşınmaktadır.

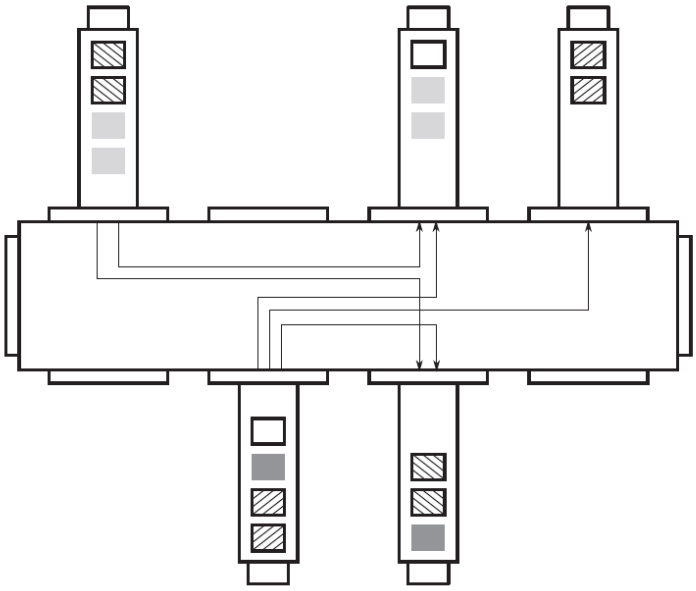
İlk çapraz sevkiyat terminalleri 1930'lara kadar uzanmaktadır ve ABD kamyon taşımacılığı endüstrisi tarafından ve daha sonra 1950'lerde ABD ordusu tarafından tanıtılmıştır (Arnaout vd., 2010). Walmart, 1980'lerde çapraz sevkiyatı benimsediğinde, perakende sektöründe büyük bir başarı elde etmiştir ve bu stratejinin nasıl verimli bir şekilde uygulanacağının bir örneğini göstermiştir. Çapraz sevkiyat uygulamalarının, tedarik zinciri yönetimindeki lojistik stratejinin en verimli uygulamalarından biri olduğu bilinmektedir (Chandran, 2003).

Çapraz sevkiyat günümüzde ise paket teslimat sağlayıcıları, hava taşımacılığı, otomobil endüstrisi ve tam kamyon yükünden daha az yük (LTL) sağlayıcıları gibi imalat ve perakende sektörlerinde yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Paket teslimatı durumunda, şirketler gelen ürünleri çapraz kapılardan almakta, paketleri ayırmakta ve mümkün olan en kısa sürede sevk etmektedir. Hizmet süresi garantisinin yüksek standartları göz önüne alındığında, ürünler ağda hızla hareket etmekte ve bir çapraz bağlantıda birkaç saatten fazla harcama yapmamaktadırlar. Toyota, Walmart, Federal Express, United Postal Services ve US Postal Service, çapraz sevkiyat stratejisini başarı ile entegre etmişlerdir (Apte ve Viswanathan, 2000, Zhen, 2011).

Çapraz sevkiyatın ilk ortaya çıkış amacı, aynı anda küçük hacimli ürünlerin doğru ve zamanında teslim edilmesini talep eden müşterilerin ihtiyacını karşılamaktır (Wisittipanich ve Hengmeechai, 2015). Yu vd. (2008) ise, çapraz sevkiyatın amacının depolama ve malzemelerin fazla kullanımını ortadan kaldırmak olduğunu belirtmişlerdir. Liu ve Takakuwa (2009), bu amaca ek olarak müşteri hizmet seviyelerini koruyarak, fazla taşıma miktarlarını ortadan kaldırmayı, ürünlerin teslim süresine uygunluğu ve taşıma ve depolama maliyetlerini enküçüklemeyi de eklemişlerdir.

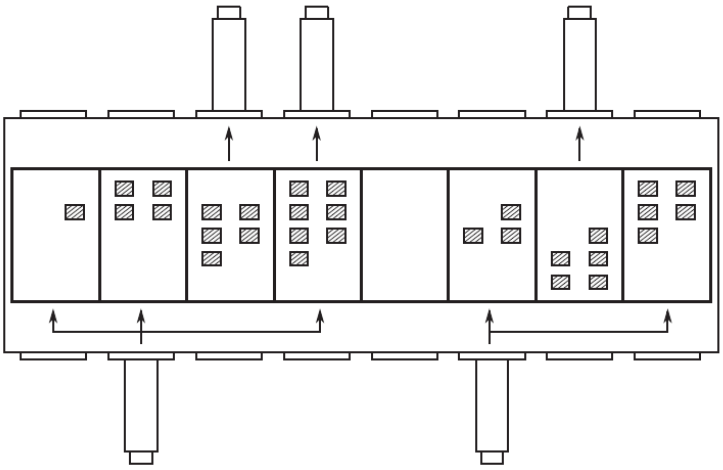
Şekil 2.1, 10 kapılı I şeklinde bir çapraz sevkiyat istasyonunda malzeme taşıma işlemlerinin şematik bir temsilini sunmaktadır. Gelen kamyonlar ya doğrudan bir boşaltma kapısına atanmaktadır ya da atanana kadar kuyrukta beklemek zorunda kalmaktadır. Kapıya yanaştıktan sonra, gelen kamyonun yükü (örneğin paletler, paketler veya kutular) boşaltılmakta ve varış yeri belirlenmektedir (örneğin ürünlerdeki barkodlar taranarak). Daha sonra ürünler, forklift veya konveyör bant sistemi gibi malzeme taşıma sistemleri ile belirlenen yükleme kapısına taşınmaktadır. Orada ürünler, belirlenen varış noktasına hizmet

eden giden bir kamyona yüklenmektedir. Gelen bir kamyon tamamen boşaltıldığında veya giden bir kamyon tamamen yüklendiğinde, kamyon kapıdan ayrılmaktadır (Van Belle, 2012).

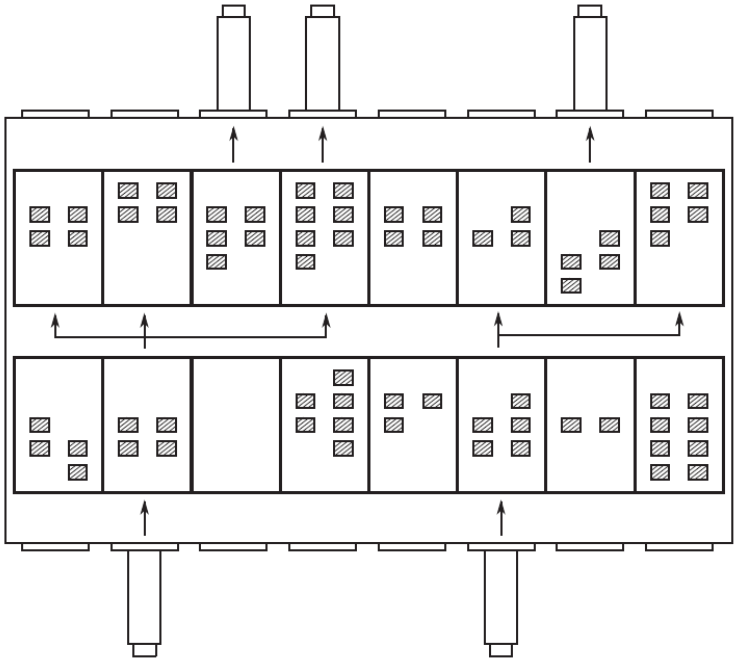


Şekil 2.1. Tipik bir çapraz sevkiyatta malzeme taşıma (Van Belle, 2012)

Çapraz sevkiyat, elleçleme (Boysen ve Fliedner, 2010) veya aşama (Gue ve Kang, 2001) sayısına göre sınıflandırılabilir. Tek elleçlemeli çapraz sevkiyatta, ürünler doğrudan bir giden kamyona alınıp yüklendiğinden, ürünler yalnızca bir kez elleçlenmektedir. Bu duruma, saf çapraz sevkiyat da denmektedir (Apte ve Viswanathan, 2000; Specter, 2004). İki kez elleçlemeli veya tek kademeli çapraz sevkiyatta, ürünler teslim alınmakta ve giden nakliye için yüklenene kadar kapıda hazırlanmaktadır. Genellikle ürünler, boşaltma veya yükleme kapısına karşılık gelen bölgelere konmaktadır (Şekil 2.2, Gue ve Kang, 2001; Van Belle vd. 2012). Çoklu elleçleme veya çift kademeli çapraz sevkiyat durumunda, ürünler teslim alınmakta ve kapıda düzenlenmektedir. Daha sonra sevkiyat için yeniden yapılandırılmakta ve giden kamyonlara yüklenmektedir. Tipik bir konfigürasyonda, gelen ürünler ilk olarak boşaltma kapılarına karşılık gelen bölgelere konmakta ve daha sonra boşaltma kapılarına karşılık gelen bölgelere ayrılmaktadır (Şekil 2.3, Gue ve Kang, 2001; Van Belle vd. 2012).



Şekil 2.2. Ürünlerin yükleme kapısına karşılık gelen bölgelerde yüklendiği tek kademeli bir çapraz sevkiyat (Gue ve Kang, 2001; Van Belle vd. 2012)



Şekil 2.3. Ürünlerin boşaltma ve yükleme kapılarına karşılık gelen bölgelere yerleştirildiği ve aralarında sınıflandırıldığı çift kademeli bir çapraz sevkiyat (Gue ve Kang, 2001; Van Belle vd. 2012)

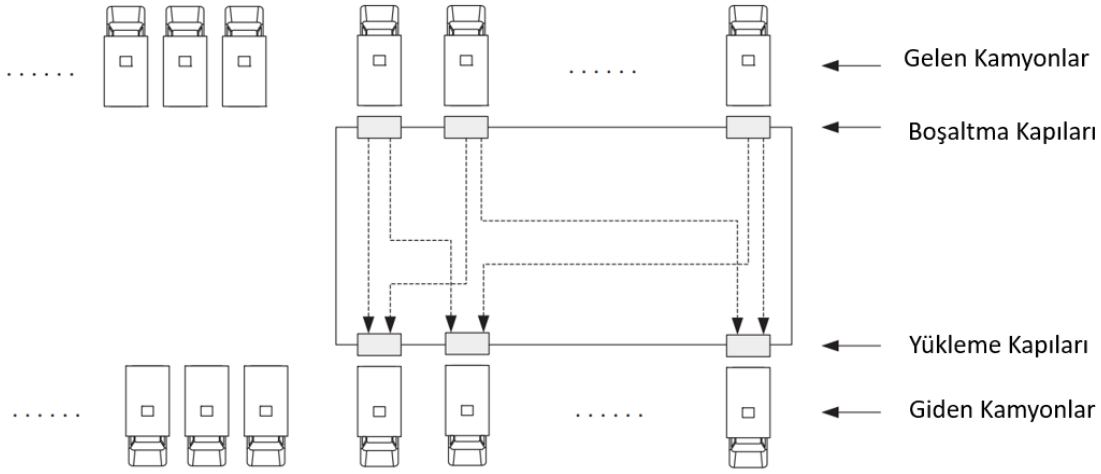
Başka bir ayrım da ürünün, müşteriye ne zaman atandığına göre yapılabilmektedir (Yan vd., 2009). Dağıtım öncesi çapraz sevkiyatta; ürünler sevkiyat, hazırlık (örneğin etiketleme ve fiyatlandırma) ve ayrıştırma aşamalarıyla ilgilenen tedarikçiden ayrılmadan önce müşterilere atanmaktadır. Bu durum, çapraz sevkiyatta daha hızlı elleçleme imkanı

sağlamaktadır. Diğer yandan, dağıtım sonrası çapraz sevkiyatta, ürünlerin müşterilere tahsisi çapraz sevkiyat sırasında yapılmaktadır.

Başka bazı ayrımlar da mümkündür. Örneğin Alman süpermarket perakendecisi Metro-AG çapraz sevkiyatı, tedarikçilere ve müşterilere yakınlığına göre çapraz sevkiyat terminallerinin konumunu dikkate alarak kaynak odaklı ve hedef odaklı çapraz sevkiyat olarak ayırmaktadır (Kumar, 2008).

Genellikle çapraz sevkiyatta depolama süresi 24 saatten azdır, ancak bazı durumlarda bu süre bir saatin altına bile düşebilmektedir (Wen vd., 2009). Bu nedenle çapraz sevkiyatta en çok kullanılması gereken ürünler hızlı hareket eden ürünlerdir. Gönderilen ürünlerin 24 saatten daha az sürede taşınması durumu, Napolitano (2000) ve Gue (2001) tarafından tam zamanında dağıtım olarak tanımlanmıştır.

Şekil 2.4, çapraz sevkiyat sisteminin genel bir çerçevesini sunmaktadır. Bir veya birkaç tedarikçiden alınan ürünler, gelen kamyon olarak tanımlanan kamyonlar tarafından çapraz sevkiyat terminaline getirilmektedirler. Daha sonra gelen kamyonun atandığı boşaltma kapısı müsaitse işleme başlanmakta, ancak müsait değilse boşaltma kapısı müsait olana kadar kuyrukta beklemek zorundadır. Ayrıca bu bekleme sırasında yüksek önceliğe sahip bir kamyon gelirse aynı boşaltma kapısında hemen işleme alınmakta ve sırada beklemek zorunda değildir. İşleme alınan gelen kamyondaki ürünler boşaltılmakta ve kapıdan ayrılmaktadır. Kapıya atanmış sırada bekleyen bir sonraki gelen kamyon, boşaltılan kamyonun yerini almaktadır. Kamyonlardan boşaltılan ürünler, varış noktalarına yani müşterilere göre yükleme kapılarına atanmakta ve aktarılmaktadır. Aynı gelen kamyonlarda olduğu gibi eğer giden kamyonların atandıkları yükleme kapıları müsait değilse ya da yüksek önceliğe sahip giden kamyonlar varsa kamyonlar beklemek zorundadır, ancak müsaitse işlem görmektedirler. İşleme alınan giden kamyonlara ürünler yüklenmekte ve kapıdan ayrılmaktadır. Kapıya atanmış sırada bekleyen bir sonraki giden kamyon, yüklenen kamyonun yerini almaktadır. Ürünlerin hepsinin giden kamyonlara yüklenmesi tamamlanana kadar işlemler aynı şekilde devam etmektedir (Kuo, 2013).



Şekil 2.4. Çapraz sevkiyat sisteminin çerçevesi (Kuo, 2013)

Çapraz sevkiyatta dolaylı ve doğrudan olmak üzere iki tür akış vardır. Boşaltma kapılarından yükleme kapılarına olan akışlar doğrudan akışlar olarak adlandırılmaktadır. Boşaltma kapısından depolama alanına ve depolama alanından boşaltma kapısına doğru olan akışlar ise dolaylı akışlar olarak adlandırılmaktadır. Dolaylı akışlarda depolama maliyetleri ve ek maliyetlerden kaynaklı taşıma maliyetleri artmaktadır (Karabulut, 2019).

Tedarik zincirinde çapraz sevkiyatı etkileyen faktörler vardır ve bu faktörler birbirleriyle ilişkilidirler. Bu faktörler sistemin uzun vadeli olmasını sağlamaktadır. Vogt (2010) göre sistemi etkileyen dokuz faktör şunlardır:

- Uygun ürünler
- Güvenilir tedarikçiler
- Güvenilir hizmet sağlayıcıları
- Süreç iyileştirme ve problem çözme yeteneği
- Yetenekli yönetim ve işçiler
- Kaliteli bilgisayar sistemleri
- İş dengeleme ve en aza indirgeme
- Etkin terminal tasarımı ve düzeni
- Tedarik zincirlerinde çapraz sevkiyatın anlaşılma biçimi

Schaffer (2000), çapraz sevkiyatın verimli çalışabilmesi için yerine getirilmesi gereken şartları altı adımda incelemiştir:

1. Dağıtım ağındaki diğer paydaşlarla iş birliği içinde olmak. (Örneğin paydaşların tamamı çapraz sevkiyat sistemine geçmediğinde, geçmeyen paydaşlar için maliyetleri artırmamak için planlama ve iş birliği içerisinde olmak önemlidir.)
2. Ürünlerin ulaşılabilir ve kaliteli olması. (Çapraz sevkiyat gerçek zamanlı ve kesintisiz bir sistem olduğu için ürünlerin gereken kalitede ve mevcut durumda hazır olması önemlidir.)
3. Paydaşlar arasındaki iletişim. (Çapraz sevkiyattaki her bilginin paydaşlar arasından hızlı bir şekilde iletilmesi önemlidir.)
4. Çapraz sevkiyat içerisindeki iletişim ve kontrol. (Gelen ürünlerin terminal içerisinde beklemeden, en kısa sürede ilgili yerlere ulaştırılması önemlidir.)
5. İşçiler, malzemeler ve tesisler. (Terminale gelen ürünlerin hareketi için önceden belirlenmiş kaynak tahsisinin yapılmış olması önemlidir.)
6. Taktiksel yönetim. (Bazı durumlarda ek kaynaklara ihtiyaç duyulduğu için bu ek kaynakların bulunması önemlidir.)

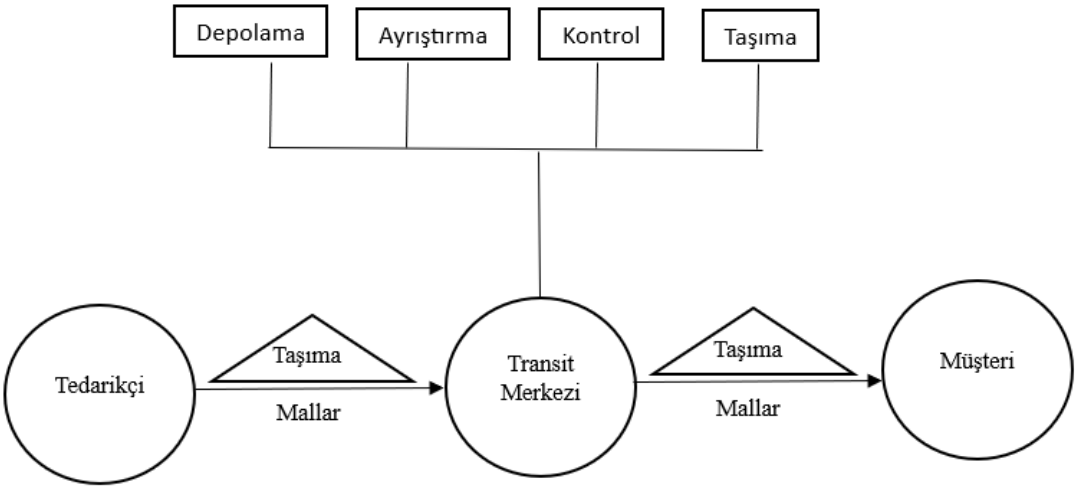
Bunlara ek olarak çapraz sevkiyatın uygulanabilirliği için tedarikçiler ve müşteriler arasındaki mesafeye (örneğin uzun mesafe, siparişlerin birleştirilmesinde yardımcıdır) ve bölgenin iş hacmine de dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.2. Geleneksel Dağıtım Sistemleri ile Çapraz Sevkiyat Sistemi Arasındaki Farklar

Geleneksek dağıtım sistemleri; giriş aşamasında ürünlerin alındığı, depolandığı ve müşterilere taşındığı olmak üzere üç ana süreçten oluşmaktadır. Bu sistem, taşıma aşamasındaki depolama ve verimsiz maliyetler sebebiyle tedarik zincirinde çok fazla masraflara sebebiyet vermektedir. Bu maliyetlerden kurtulmak için tedarik zincirinde çapraz sevkiyat sistemi benimsenmiştir (Karabulut, 2019). Geleneksel dağıtım sistemlerinde, ürünler tedarikçilerden alınmakta ve daha sonra depolanmaktadır. Depolanan ürünler, sipariş geldiği zaman müşteriye gönderilmektedir. Çapraz sevkiyat sistemlerinde ise depolama enküçüklendiğinden ve etkili taşıma enbüyüklendiğinden geleneksel taşımaya göre daha çok tercih edilmektedir (Kulwiec, 2004).

Geleneksel dağıtım sistemi süreçleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Geleneksel dağıtım sistemi sürecinde, ilk olarak tedarikçi ürünleri transit merkezine teslim etmektedir. Burada ürünler sipariş durumuna göre ayrılmakta ve müşteriye teslim edilmektedir. Ancak ürün talebinin ölçeği büyüdükçe, geleneksel dağıtım sistemi modelinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu dört sorun aşağıda verilmektedir (Li, 2019):

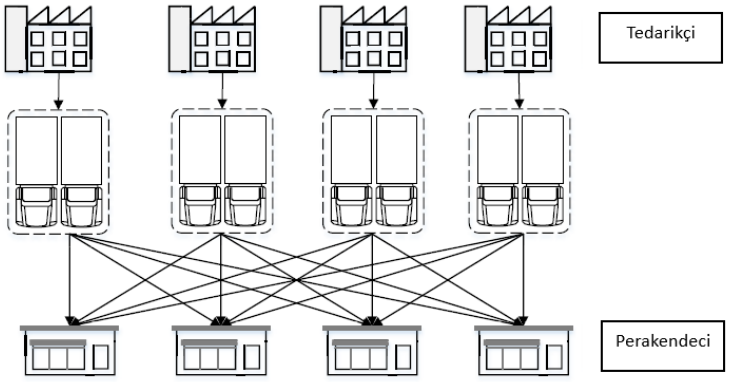
- Dağıtım maliyeti çok yüksektir ve ekonomik fayda sıkıştırılmıştır.
- Dağıtımın etkinliğinin düşük olması sebebiyle zamanındalık gerekliliklerinin karşılanması zorlaşmaktadır.
- Bağlantıların hepsi dağınıktır. Bu nedenle bu bağlantıların hepsinin merkezden yönetilmesi zor olmaktadır.
- Düşük düzeyde profesyonellik ve bilişimden kaynaklanmaktadır.



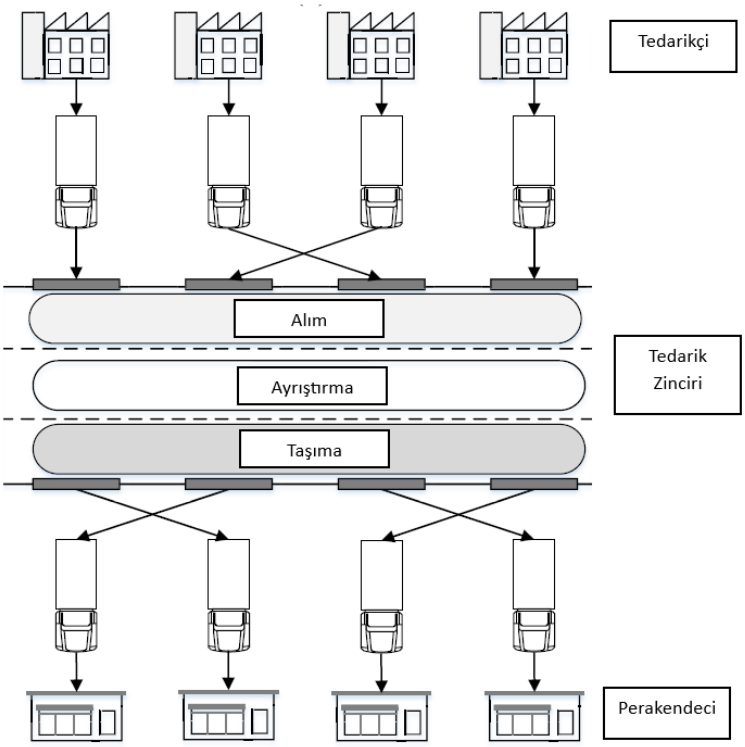
Şekil 2.5. Geleneksel dağıtım sisteminin süreçleri (Li, 2019)

Şekil 2.6'da ürünlerin siparişlere göre her bir tedarikçiden her bir perakendeciye ayrı ayrı olarak aktarıldığı geleneksel dağıtım sistemi gösterilmektedir. Şekil 2.7'de ise siparişlerin işlenmek için dağıtım merkezine geldiği bir çapraz sevkiyat sistemi gösterilmektedir (Zhnag, 2019). Şekil 2.6, kamyonların tam dolu olmamasından dolayı tedarikçinin fiyatta daha yüksek bir artışla karşılaşacağı durumu göstermektedir. Şekil 2.7'de ise farklı tedarikçilerden gelen ürünlerin varış noktalarına göre sıralandığı, tam yüklü bir

kamyonda konsolide edildiği ve daha sonra müşteriye taşındığı ve bu şekilde ölçek ekonomisine ulaşan bir aktarma merkezini göstermektedir (Tarhini, 2016).



Şekil 2.6. Geleneksel lojistik dağıtım süreci (Zhang, 2019)



Şekil 2.7. Çapraz sevkiyat dağıtım süreci (Zhang, 2019)

Geleneksel bir dağıtım sisteminde beş temel işlev yerine getirilmektedir (Küçükoğlu ve Öztürk, 2016):

- Alma (Toplama)
- Ayrıştırma
- Depolama (Stok Tutma)
- Geri Alma (Sipariş Toplama)
- Dağıtım

Geleneksel dağıtım sistemlerinden farklı olarak çapraz sevkiyat sistemleri, depolama ve geri alma işlemlerini ortadan kaldırmakta, toplam maliyetleri düşürmekte ve tedarik zinciri boyunca verimliliği artırmaktadır. Asıl amaçlarından biri tedarikçilerden müşterilere ürünlerin hızlı bir şekilde taşınması olan rekabet ortamındaki lojistik şirketlerinin, maliyetleri azaltabilmeleri ve müşteri ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde karşılık verebilmeleri için yeni stratejiler geliştirmeleri gerekmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi geleneksel dağıtım sisteminin işlevlerinden depolama ve geri alma adımları diğer adımlara göre daha fazla zaman alan adımlardır. Çoğu şirket, bu pahalı depolama ve geri alma adımlarını ortadan kaldırmak için çapraz sevkiyatı benimsemektedir (Van Belle vd., 2012).

Çapraz sevkiyatın ana fikri, gelen ürünlerin 24 saatten daha kısa bir süre içerisinde depolama işlemi gerçekleştirilmeden işlem görerek tedarikçiden müşteriye ulaştırılmasıdır. Çapraz sevkiyat sistemleri, ayrıca düşük maliyetli taşımacılığı gerçekleştirebilmek için kamyonlar tam yüklü olacak şekilde aynı varış noktasına sahip farklı büyüklükteki ürünlerin konsolide edilmesine imkan vermektedir. Bu sayede çapraz sevkiyat, malzemelerin akışını hızlandırmakta, bazı önemli depolama işlemlerini ortadan kaldırmakta, envanter seviyesini azaltmakta ve şirketlere önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır (Heragu vd., 2005; Yan ve Tang, 2009; Choy vd., 2012; Shiguemoto vd., 2014; Küçükoğlu ve Öztürk, 2016).

Geleneksel dağıtım sisteminin beş işlevden depolama ve geri alma adımlarında emek yoğun olarak kullanıldığı için oldukça maliyetlidir. Depolama maliyetleri, stok bulundurma maliyetlerinden ortaya çıkmakta ve geri alma (sipariş toplama) maliyetleri ise işçilik maliyetlerinden ortaya çıkmaktadır. Maliyetleri azaltmak için bu beş işlevden bir veya daha fazlası gerçekleştirilebilmekte ya da işlevlerin birbirleriyle etkileşimine göre

düzenlenebilmektedir (Schaffer, 2000; Bartoldi ve Gue, 2004). Geleneksel dağıtım sisteminden farklı olarak çapraz sevkiyat sisteminde, bu maliyetlerden kurtulmak, tedarik zincirindeki verimliliği ve etkinliği artırmak için depolama ve geri alma işlevleri ortadan kaldırılmaktadır. Bu yüzden çapraz sevkiyat sistemi, depolama ve doğrudan teslimat işlevlerini en iyi şekilde sağladığı için uygulamada popüler bir dağıtım stratejisi olarak kullanılmaktadır (Rijal, 2019).

Çapraz sevkiyat sistemi, ürünlerin tedarikçiden müşteriye ulaşana kadarki geçen sürede herhangi bir ek depolama işlemini ortadan kaldırdığı için stokta bulundurma maliyetinin azalmasını sağlamaktadır. Alma (toplama) ve dağıtım adımlarına ait olan malzemelerin taşınması işlemleri, ürünlerin fiziksel akışını temsil etmektedir. Bu fiziksel akışla alakalı olan ve ürünlerin çapraz sevkiyattaki hareketine ait bir bilgi akışı da bulunmaktadır. Ürünlerin hacminin ve çeşitliliğinin artması ile bilgi akışının yönetilmesi çapraz sevkiyat sisteminin başarısındaki önemli faktörlerdendir (Apte ve Viswanathan, 2000).

Geleneksel dağıtım sisteminin aksine, çapraz sevkiyat sisteminde ek bir ürünün işlem görmesi dağıtım sistemini yavaşlatmakta ve taşıma miktarında artışa sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak, gelen ve giden kamyonların aynı anda işlem gördüğü yerlerde etkin bir aktarmanın yapılması gerekmektedir. Bu şekilde terminal içerisindeki ara depolama azaltılmakta ve siparişlerin zamanında teslim edilmesi sağlanmaktadır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Geleneksel dağıtım sistemi, tüketici talebinin artmasından ve bu talepleri karışlamaya çalışmaktan zorlanmaktadır. Bu sistemlerin karşılaştığı zorluklar şirketlerdeki depolama ve dağıtım sistemlerini de olumsuz yönde etkilemektedir (14iv d., 2008). Geleneksel dağıtım sisteminden farklı olarak çapraz sevkiyat sisteminde ürünler en az bekleme ile hızlı bir şekilde ve stokta ya hiç bulundurulmadan ya da en az süre ile bulundurulacak şekilde dağıtılmaktadır. Ürünler eğer depolama alanına girmiyorsa stok olarak kabul edilmemektedir (Apte ve Viswanathan, 2000).

Çizelge 2.1’de çapraz sevkiyat sisteminin tercih edilme durumu gösterilmiştir. Çizelgeye göre çapraz sevkiyat sisteminin daha çok yüksek hacimli ürünler için uygun

olduğu görülmektedir (Apte ve Wiswanathan, 2000). Çapraz sevkiyat sisteminin düzgün çalışabilmesi için sistemin ihtiyacı olan tüm elemanların iyi düşünülmesi ve planlanması gerekmektedir. Sistemin düzgün çalışabilmesi için ürünlerin taşınma yolu ve kamyonların sıraları hakkında bilgiye sahip olunmalıdır (Karabulut, 2019).

Çizelge 2.1. Çapraz sevkiyat sisteminin tercih edilmesini gösteren faktörler (Apte ve Wiswanathan, 2000)

		Ürün talep oranı	
		İstikrarlı ve sabit	Dengesiz ve dalgalı
Ürün birim yok satma maliyeti	Yüksek	Çapraz sevkiyat, uygun sistemler ve planlama araçları ile uygulanabilir.	Geleneksel dağıtım tercih edilir.
	Düşük	Çapraz sevkiyat tercih edilir.	Çapraz sevkiyat, uygun sistemler ve planlama araçları ile uygulanabilir.

Çoğu endüstride şirketler, geleneksel dağıtım sistemi ve çapraz sevkiyat sistemini bir arada kullanmaktadır. Çünkü ikisinin de kendine göre üstünlükleri bulunmaktadır (Apte ve Viswanathan, 2000). Şirketler çapraz sevkiyat sistemi için uygun bulmadıkları ürünleri geleneksel dağıtım sistemini kullanarak taşımaya devam etmektedirler.

2.3. Çapraz Sevkiyatın Avantajları ve Dezavantajları

Tedarik zincirindeki diğer dağıtım sistemlerinde görüldüğü gibi çapraz sevkiyat sisteminin de avantajları ve dezavantajları vardır. Çapraz sevkiyat sisteminin şirket için uygun olup olmadığı yöneticiler tarafından sisteminin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurarak değerlendirilmelidir. Çapraz sevkiyat sisteminin avantajlarının dezavantajlarına kıyasla daha çok olduğu görülmektedir.

Günümüzdeki dağıtım stratejilerinin amacı, üretici ve müşterinin uyum içerisinde hareket etmesini sağlamaktır (Kulwiec, 2004). Çapraz sevkiyat sistemini benimseyen tedarik zincirlerinde, ürünlerin üreticiden müşteriye kadarki geçen süreçte hızlı ve az maliyetli bir şekilde taşınması sağlanmaktadır. Uygun çapraz sevkiyat sisteminin uygun stratejilerle

benimsenmesi gerekmektedir. Çünkü çapraz sevkiyat sistemi arz ve talep arasında denge görevi görmektedir (Karabulut, 2019).

Çapraz sevkiyat sisteminde etkinliğin artması için üst yönetimin bu alana daha çok önem vermesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat sistemi benimsendiği zaman gecikmeli teslimattan doğan ceza maliyetleri, stok bulundurma maliyetleri ve envanter depolanması için gerekli alanların kullanımı önemli miktarda azaltılabilmektedir. Çapraz sevkiyat sisteminin avantajları yalın bir tedarik zinciri ile aynı özelliklere sahiptir (Karabulut, 2019).

Çapraz sevkiyat sisteminde ürünlerin depolama alanına yönlendirilmesi, daha sonrasında tespit edilmesi ve kapılara tekrar atanması gibi işlemler ortadan kaldırıldığı için envanter konusunda tasarruf sağlamaktadır (Kulwiec, 2004).

Çapraz sevkiyat sistemi, ürünleri kullanıcı dostu ve son teslimat noktası siparişine çevirmektedir. Çapraz sevkiyat sisteminin kullanılmasına teşvik eden temel işlemler aşağıda verilmektedir (Kinnear, 1997):

- Stok akışının artması
- Stok tutmanın azalması
- Gelişmiş kaynakların kullanımı
- Teslimat zamanlarının azalması

Çapraz sevkiyat sisteminin bir başka avantajı ise arz ve talep arasındaki eşleşmeyi iyi bir şekilde yönetebilmesidir. Çapraz sevkiyat sistemi, geleneksel dağıtım sistemine göre daha etkin ve daha esnektir. Bu nedenle süreç boyunca meydana gelebilecek değişimlere ve dalgalanmalara karşı daha iyi tahminler yürütebilmektedir. Bu şekilde arz ve talep için daha iyi bir eşleşmeden söz edilebilmektedir. Bunun yanında, esneklik sürekli geliştirilmesi gereken bir durumdur. Müşterilerin talebinde ani bir artış olduğu durumlarda aynı kapılara daha fazla kamyonların atanması, kapı sayılarının artırılması veya çapraz sevkiyat terminalinin farklı bir biçimde düzenlenmesi veya planlanması adına verilecek tüm kararlar bu esnekliğe örnek olarak gösterilebilmektedir (Van Belle vd., 2012). Bu esnekliğin iyi yönetilmesi çapraz sevkiyat sistemindeki olası olumsuzlukların önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır.

Çapraz sevkiyat sistemi, yalın tedarik zinciri yönetiminin hedefleriyle örtüşmektedir: daha küçük hacimli ve daha görünür envanterler, daha hızlı ve daha sık teslim edilmektedir (Cook vd., 2005). Literatürde, geleneksel dağıtım merkezleri ve noktadan noktaya teslimatlara kıyasla çapraz sevkiyat sisteminin diğer (muhtemelen birleşik) birçok avantajından söz edilmektedir. Geleneksel lojistik dağıtım sistemiyle karşılaştırıldığında, yalnızca iyi bir müşteri hizmeti sağlamakla kalmaz aynı zamanda çapraz sevkiyat sistemi aşağıdaki avantajları da sağlamaktadır (Apte & Viswanathan, 2000; Cook vd., 2005; Li, 2019):

- Stok tutma maliyetini azaltmaktadır.
- Nakliye maliyetlerini azaltmaktadır.
- Diğer maliyetleri azaltmaktadır. (Depolama, envanter tutma, elleçleme, işçilik)
- Genel lojistik dağıtım sisteminin verimliliğini artırmakta ve terminal müşterisinin memnuniyetini artırmaktadır.
- Daha hızlı envanter hareketi sağlamaktadır.
- Sipariş çevrim süresinde azalma sağlamaktadır.
- Hızlandırılmış nakit akışı sağlamaktadır.
- Kayıp ve hasar riskini azaltmaktadır.

Noktadan noktaya teslimat sistemine kıyasla çapraz sevkiyat sisteminin bazı avantajları ise şunlardır (Van Belle vd. 2012):

- Maliyetleri azaltmaktadır. (Ulaşım maliyetleri, işçilik maliyetleri)
- Gönderilerin konsolidasyonunu sağlamaktadır.
- Geliştirilmiş kaynak kullanımını sağlamaktadır. (Örneğin, tam kamyon yükleri)
- Sevkiyat miktarları ve gerçek talep arasında daha iyi bir eşleşme sağlamaktadır.

Bu avantajlar, çapraz sevkiyat sistemini benimseyen şirketleri önemli rekabet avantajları sağlayabilecek bir lojistik stratejisine sahip şirket haline getirmektedir. WalMart çapraz sevkiyat sistemini kullanan iyi bilinen örneklerden birisidir (Cook vd., 2005). Eastman Kodak Co. (Cook vd., 2005), Goodyear GB Ltd. (Kinnear, 1997), Dots, LLC

(Napolitano, 2011) ve Toyota (Witt, 1998) şirketlerinde de çapraz sevkiyat sisteminin başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir (Van Belle vd. 2012).

Çapraz sevkiyat sistemi, geleneksel lojistik dağıtım sistemine göre perakende şirketlerine ve nakliye hizmet sağlayıcılarına pek çok fayda sağlamaktadır. Kamyonların kat ettiği toplam mesafeyi büyük ölçüde azaltmaktadır. Bunun sonucunda dağıtım maliyetlerinden tasarruf elde edilmektedir. Ürünlerin konsolide edilmesi sayesinde, ürünler tam dolu kamyon yükü ile teslim edilmektedir. Bu şekilde, dağıtım için gerekli olan kaynak kullanım oranları iyileşmektedir. Ürünler, çapraz sevkiyat terminallerinde çok az bir süre harcamaktadırlar. Böylelikle depolama maliyetleri azalmakta veya ortadan kalkmaktadır. Depolama özelliği de teslimat süresini kısaltmakta ve ürünler müşterilere daha hızlı bir şekilde ulaşmaktadır. Çapraz sevkiyat sistemi, yalnızca dağıtım ve envanter bulundurma maliyetlerinde azalma sağlamakla kalmamakta ayrıca dağıtım hizmetlerinin kalitesini de artırmaktadır (Zhang, 2019).

Çapraz sevkiyat sisteminin dezavantajlarından söz etmek gerekirse etkili bir çapraz sevkiyat sistemi için çok yönlü bir planlama yapılmasına, uygulanabilirliği için zamana ve sermayeye ihtiyaç vardır. Ayrıca çapraz sevkiyat sisteminin etkili bir seviyeye ulaştığından söz etmek için ürünlerin akış miktarının çok yüksek olması ve doğru dağıtımın yapılabilmesi için ise yeterli miktarda kamyon gerekmektedir (Schaffer, 2000).

Çapraz sevkiyat terminalinde bazı ürünlerin taşınması çapraz sevkiyat sistemi ile doğrudan olmaktayken, bazı ürünler ise ürün mülkiyeti, kullanıcı talebi ve tesis kapasitesine göre depolamaya girerek taşınmaktadır. Aynı tür ürünler için bile ürünlerin bazıları çapraz sevkiyatla doğrudan giderken geri kalanı ise depolanarak taşınabilmektedir. Bu durum taşınacak ürünlerin hepsinin çapraz sevkiyat sistemine uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Ürünlerin dağıtımı, çapraz sevkiyat sistemine uygun olsa bile lojistik yöneticilerinin güvenlik stoğu bulundurmak istemelerinden veya yeterli çapraz taşıma kapasitesini bulundurmama fikrini benimseyememelerinden kaynaklanmaktadır (18iv d., 2008).

Bir çapraz sevkiyat terminali, kamyonlardaki ürünlerin aktarıldığı bir dağıtım ağındaki ara noktadır (Boysen ve Fliedner, 2010). Çapraz sevkiyat merkezi ya da dağıtım

merkezi, genel olarak çapraz iskele ve deponun birleşiminden oluşmaktadır. Ürünler özelliklerine, müşteri taleplerine ve terminalin kapasitesine göre ya depolamaya gitmekte ya da direkt çapraz sevkiyat aracılığıyla müşteriye ulaştırılmaktadır. Aynı ürünlerin bazıları direkt çapraz sevkiyata giderken bazıları ise depolamaya gidebilmektedir. Bu durum, ürünlerin hepsinin çapraz sevkiyat için elverişli olmamasından ya da uygun olsa dahi yöneticilerin güvenlik stoğu bulundurmaya alışık olmalarından kaynaklanmaktadır. Bir diğer sebep ise terminalin yeterli taşıma kapasitesine sahip olmamasıdır. Ürünlerin dağıtımı için ürünlerin hacmine, değerine, yaşam döngüsüne ve terminalin alan kısıtlarına dikkat edilmesi gerekmektedir (19iv d., 2008).

Bir diğer dezavantajı ise stok taşıma maliyetinin yüksek olması nedeniyle ürünlerin hepsinin depolanmasının mümkün olmaması durumudur. Üreticilerden ürünler doğrudan taşındığında tedarik zincirinde depolama ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Ancak bu durum müşteri için nakliye masraflarını artırarak birden fazla teslimata sebebiyet vermektedir (19iv d., 2008).

2.4. Çapraz Sevkiyatın Özellikleri

Bu bölümde çapraz sevkiyat platformunu ve performans göstergelerini belirleyen çapraz sevkiyatın özellikleri açıklanmaktadır. Bu özellikler, günlük ve haftalık olarak alınan iç operasyon kararlarının belirlenmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Bu kararlar, operasyonlar üzerindeki uzun ve orta vadeli kararları da önemli bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle, uzun vadeli yani stratejik kararlar ve orta vadeli yani taktik kararlar da dikkate alınmalıdır.

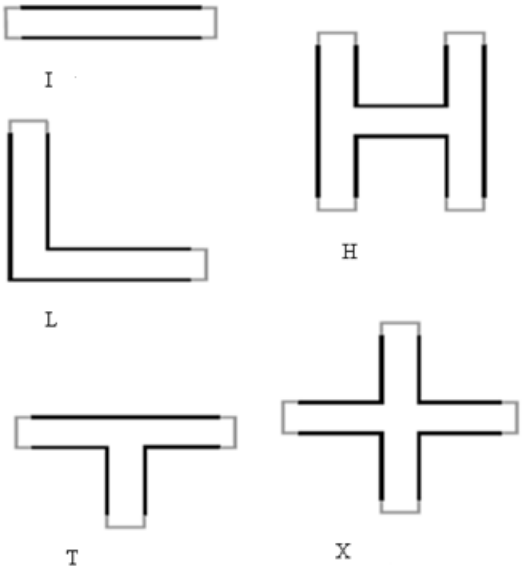
Stratejik karar problemleri, en uygun yerleşim düzenini ve çapraz sevkiyat yerlerini belirleme ile ilgilenirken; taktiksel karar problemleri, ürünlerin bir çapraz sevkiyat ağı üzerindeki akışını optimize etmeyi ele almaktadır. Operasyonel karar problemleri ise çok sayıda karşımıza çıkmaktadır. Bu karar problemleri; kamyon çizelgeleme, kapı atama, araç rotalama, işgücü tahsisi ve geçici depolama alanındaki ürünlerin yeri gibi farklı durumlarla ortaya çıkmaktadır. Bu kararların çoğu birbirleriyle ilişkili ve birbirlerini etkileyen kararlar olmasına rağmen yapılan çalışmalarda çoğunlukla ayrı ayrı incelenmiştir (Enderer vd., 2017).

Çapraz sevkiyat sisteminin özellikleri, yapılan araştırmalar sonucunda ilk olarak Boysen ve Fliedner (2010) tarafından sınıflandırılmıştır. Daha sonra Van Belle vd. (2012) çapraz sevkiyat sisteminin özelliklerinin tanımını fiziksel, operasyonel ve akış özelliklerine göre ayırmaktadırlar. Bu sınıflandırma çok yaygın olmadığı için bu özellikleri Ladier ve Alpan (2016); stratejik, taktik ve operasyonel seviye özellikler olarak sınıflandırmışlardır. Torbalı ve Alpan (2022)'ın en son ki yaptığı literatür taraması çalışması da dikkate alınarak çapraz sevkiyat sisteminin özellikleri aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

2.4.1. Stratejik Seviye Özellikler

Planlama yaparken dikkat edilmesi gereken ilk kararlar stratejik kararlardır. Bu kararlar, çapraz sevkiyatın alanının neresi olmalı gerektiği ve en iyi çapraz sevkiyat düzeninin nasıl olması gerektiği sorularına cevap vermektedir (Van Belle vd., 2012). Ayrıca çapraz sevkiyat sisteminin ömrünü etkileyen uzun vadeli kararlar olarak kabul edilmektedirler. Bu kararlar, yönetim kurulunun sorumluluğundadır (Karabulut, 2019). Fiziksel özellikler, bu seviye özelliklerin içerisine dahil edilmektedir ve oldukça uzun bir süre sabit olması gereken özelliklerdir (Van Belle vd. 2012). Çapraz sevkiyat sisteminin stratejik seviye kararlarına ait özellikler aşağıda verilmiştir:

Şekil: Bartholdi ve Gue (2000)'e göre çapraz sevkiyat sisteminin çeşitli şekilleri vardır. Yerleşimin şekli, şekle karşılık gelen harf ile tanımlanmaktadır: E, H, I, L, T, U, vb. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları I, L ve T'dir.



Şekil 2.8. Çapraz sevkiyat sistemindeki yerleşim çeşitleri (Bartholdi ve Gue, 2000)

Kapı sayısı: Bir çapraz sevkiyat sistemi, sahip olduğu kapı sayısı ile karakterize edilmektedir. Uygulamalarda kapıların sayısı 6 ile 8'den başlayıp 200'den fazla kapıya kadar değişkenlik göstermektedir. Hatta 500'den fazla kapıya sahip bir çapraz sevkiyat sistemi de mevcuttur (Gue, 1999).

Çapraz sevkiyat sistemi içerisinde taşıma: İki türlü taşıma vardır. Bunlardan biri elle taşıma (örneğin forkliftle taşıma), diğeri ise bir taşıma bandı (örneğin konveyör bantları ağı) ile yapılan otomatik taşımadır. Her ikisi de tek tek kullanılabileceği gibi ikisinin kombinasyonu da mümkündür. Hangi taşıma türünün kullanılacağı ürünlerin tipine göre belirlenmektedir.

2.4.2. Taktiksel Seviye Özellikler

Taktiksel seviye kararlar veya politikalar da çapraz sevkiyatı sınıflandırmak için önemlidir (Ladier ve Alpan, 2016). Bu kararların özellikleri, çapraz sevkiyat sisteminin işleyişini etkileyebilmektedir. Bu kararlar da yönetim kurulunun sorumluluğundadır (Karabulut, 2019). Taktiksel seviye kararlar orta vadeli kararlardır (Torbalı ve Alpan, 2022). Taktiksel seviye kararlar, arzın talebi karşılamasını sağlarken maliyetleri en aza indirgemek

için ağ boyunca ürünlerin akışının nasıl olacağına karar vermektedir (Van Belle vd., 2012). Çapraz sevkiyat sisteminin taktiksel seviye kararlarına ait özellikler aşağıda verilmiştir:

Servis modu: Boysen ve Fliedner (2010)'e göre, bir çapraz sevkiyat sisteminin servis modu, gelen ve giden kamyonların kapılara atanmasındaki serbestlik derecelerini belirlemektedir. Özel bir hizmet modunda, her bir kapı, yalnızca gelen veya giden kamyonlara özel olarak tahsis edilmektedir. Bu hizmet modu kullanılırsa, çapraz sevkiyat terminalinin çoğunlukla bir tarafı gelen kamyonlara ve diğer tarafı ise giden kamyonlara atanmaktadır. Bir diğer mod ise karma moddur. Bu modda, gelen ve giden kamyonlar tüm kapılarda işlenebilmektedir. Karma mod ile özel mod da birleştirilebilmektedir. Bu kombinasyon modunda, kapıların bir kısmı özel modda çalıştırılırken diğer kapılar karma modda çalıştırılabilmektedir.

İş bölünmesi: İş bölünmesine izin verilirse, bir kamyonun yüklenmesi veya boşaltılması kesintiye uğrayabilmektedir. Bir kamyon, bir kapıya atandıktan sonra kapıdan kaldırılmakta ve yerine başka bir kamyon gelmektedir. Bitmemiş kamyon, gelen kamyonun işlemi bitene kadar beklemekte ve yükleme veya boşaltma işlemini tamamlamak için daha sonra aynı kapıda veya başka bir kapıda yeniden işleme alınmaktadır.

Geçici depolama: Yalnızca çapraz sevkiyat sisteminde, gelen ürünler doğrudan giden kamyonlara taşınmaktadır, bu nedenle depolamaya ihtiyaç yoktur. Fakat uygulamada bu durum çok da mümkün değildir. Genel olarak, ürünler geçici olarak çapraz sevkiyat terminalinde (örneğin boşaltma kapılarının önünde) veya hatta (küçük) bir depoda depolanmaktadır. Bir kamyon boşaltıldığı zaman yeterli bir depolama alanı mevcut değilse bu alan sınırlı kapasiteye sahip demektir. Aksi halde alan sınırsız kapasiteli olarak kabul edilmektedir. Ancak soğutulmuş ürünlerin soğutma deposu bulunmuyorsa ve bir terminalde çapraz sevkiyatı gerekiyorsa, bu ürünlerin doğrudan soğutulmuş bir girişten soğutulmuş bir giden kamyona taşınması gerekmektedir. Bu gibi örneklerde ürünlerin depolanmasına izin verilmemektedir. Bu tarz durumlarda ise kapasite sıfır olarak kabul edilmektedir.

Dahili kaynak kapasitesi: Kaynakların kapasitesini ele alan özelliktir. Taşıma ister elle (işçi sayısı/kapasitesi) yapılsın ister otomatik bir bant (konveyör ağının kapasitesi) üzerinde olsun kaynakların kapasitesi sınırlı veya sınırsız olarak kabul edilmektedir.

2.4.3. Operasyonel Seviye Özellikler

Operasyonel seviye kararlar bir çapraz sevkiyat sistemindeki günlük işlemleri etkilemektedir (Torbalı ve Alpan, 2022). Bazı operasyonel seviye kararları, sadece yönetici tarafından değil aynı zamanda paydaşlarla (müşteriler veya ulaşım sağlayıcıları) birlikte uygulanmaktadır. Bu karakteristik özellikler günlük işlemlerde önemli bir rol oynamasına rağmen, gerektiğinde paydaşlarla görüşmeler yapılsa bile yöneticinin kolayca değiştirebileceği bir karar değişkeni değildirler (Ladier ve Alpan, 2016). Bu kararlar arasında araç rotalama, kapı ataması, kamyon çizelgeleme ve geçici depolama faaliyetleri vardır. Çapraz sevkiyat sistemi tarafından işlenmesi gereken ürünlerin akışının özellikleri çok farklı olabilmektedir ve bu durum operasyonel seviye kararları da etkilemektedir (Van Belle, 2012). Çapraz sevkiyatta operasyonel seviye kararlarının özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

Varış zamanı: Ürünlerin çapraz sevkiyat alanına varış zamanları, gelen kamyonların alana varış zamanlarına göre belirlenmektedir. Genellikle, kamyonların varış zamanları sıfır olarak kabul edilmektedir. Eğer varış zamanında kısıtlamalar varsa (yani kamyonlar gelmeden önce başka atamaları varsa) o zaman varış zamanları gelen kamyon başına belirlenmektedir. Birden fazla gelen kamyon çapraz sevkiyat alanına aynı varış zamanında gelebilmektedirler. Bu durumda varış zamanı bir veya birden fazla zaman aralığında yoğunlaştırılabilmektedir. Buna örnek olarak LTL endüstrisi verilmektedir. Bu endüstride belirli bir coğrafi alana hizmet eden bir çapraz sevkiyat için ürün alımı iki zaman aralığına ayrılmaktadır. Bir alandan başka bir alana taşınacak olan ürünler gün içerisinde alınmakta ve kamyonların tamamı için çapraz yükleme işlemi akşam gerçekleştirilmektedir. Ürünlerin sınıflandırılması gece yapılmakta, giden kamyonlara yüklenmekte ve sabah da yola çıkarılmaktadır. Bazı çalışmalar, gelen kamyonların sıfır anında geldiğini ve birlikte geldiğini varsayarak bu problemi basitleştirmiştir. Diğer yandan; bölge dışından fakat o bölgeye gönderilen kamyonlar, sabah erken saatlerde gelmekte ve gün içerisinde ise dağıtıma çıkarılmaktadır. Varış zamanının dağınık olarak ele alınması ise bir başka olasılıktır. Bu durumda gelen kamyonlar günün farklı zamanlarında çapraz sevkiyat alanına ulaşmaktadır.

Van Belle vd. (2012)'a göre, varış zamanları bir çapraz sevkiyat sistemi içindeki tıkanıklık, işçi ve kaynak planlaması üzerinde bir etkiye sahiptir. Varış zamanlarının, günün belirli bir zaman diliminde örneğin akşamları ve geceleri olarak dağıtılabileceği gibi; gün içerisinde yani gelen kamyonların her gün farklı zamanlarda gelmesi şeklinde de dağıtılabilmektedir. Gün içerisinde dağıtılması durumunda planlama karmaşıklaşmaktadır, ancak bu şekilde daha gerçekçi bir yaklaşım elde edilmektedir.

Kalkış zamanı: Kamyonlar için kalkış saatlerinde bir kısıtlama yapılabileceği gibi hiçbir kısıtlama durumu söz konusu olmayabilmektedir. Çoğu zaman herhangi bir kısıtlama uygulanmamaktadır. Kamyonlar, ürünlerin hepsi yüklendikten veya ürünlerin hepsi boşaltıldıktan sonra çapraz sevkiyat terminalinden ayrılmaktadırlar. Ancak başka bir nakliye görevi söz konusu ise kamyonların belirli bir zamandan önce ayrılmaları gerekebilmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğu zaman sadece gelen kamyonlar için bir kısıtlama getirilmekte ve kamyonların zamanında boşaltılması gerekmektedir. Bu durum aynı şekilde giden kamyonlar için de geçerlidir. Giden kamyonlar da çapraz sevkiyat terminalinden belirlenen zamandan önce ayrılabilmektedir. Örnek olarak koli teslimatında, giden kamyonlar çoğu zaman belirlenen bir zaman içerisinde hareket etmektedirler. Teslimatlarda gecikme olması durumunda kamyonlar, aynı varış noktası için hareket edecek olan başka bir kamyonun ayrılmasını beklemek zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda hem gelen hem de giden kamyonlar için kalkış zamanlarında kısıtlamaların olması mümkündür.

Gerek gerçek dünyada gerekse akademik çalışmalarda olsun kalkış zamanları çoğu durum için sınırlandırılmıştır. Tüm ürünlerin yüklenmesi veya boşaltılması durumunda kamyonların hareket ettiği düşünülmektedir (Van Belle vd., 2012). Gelen kamyonların zamanında boşaltılması ceza almalarını önleyeceği gibi kalkış zamanındaki kısıtlamanın da azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak bu durum kargo endüstrisi için farklıdır. Kargo endüstrisinde bir miktar navlunun gecikmesi, diğer teslimatların hepsini engelleyeceği için giden kamyon tam dolu olmadan çapraz sevkiyat alanından hareket etmektedir (Van Belle vd., 2012). Servis modlarının seçiminde bu sınırlandırıcı sürelerin de etkisi vardır. Sabit kalkış zamanlarını ele alan karma modlar için problemler daha karmaşık hale gelmektedir.

Ürün değiştirilebilirliği: Bir çapraz sevkiyat sisteminde taşınan ürünler çoğunlukla birbirinin yerine geçememektedirler. Eğer ürünler değiştirilebilirse aynı türde ürünler olması

gerekmektedir. Eğer ürünler değiştirilebilirse, ortaya iki durum çıkmaktadır: tüm ürünler belirli bir varış noktasına veya belirli bir giden kamyona (dağıtım öncesi) tahsis edilmektedir. Varış noktası veya tahsisli kamyonla ilgili bilgiler, ürünler çapraz sevkiyat terminaline varmadan önce bilinmektedir. Her iki durumda operasyonel seviye karar gerektirmektedir. Bununla birlikte, ürünlerin değiştirilebilirliğine (dağıtım sonrası) izin verilmesi de mümkündür. Bu durumda sadece giden kamyonlara yüklenecek ürünlerin cinsi ve buna karşılık gelen miktar bilinmektedir. Ürünler değiştirilebilir olduğunda, genellikle bazı katma değerli faaliyetlerin (örneğin etiketleme) gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Eğer ürünlerin değiştirilebilirliğinden söz edilemiyorsa, her ürün için belirli bir giden kamyon tahsis edilmektedir, bu nedenle nakliye bilgisi gönderen tedarikçiden alınmaktadır. Buna dağıtım öncesi (ön dağıtım) denmektedir. Yan ve Tang (2009) ve Tang ve Yan (2010) dağıtım öncesi ve dağıtım sonrası için karşılaştırmalı çalışmalar yapmışlardır.

Kamyon dolumu: Tüm kamyonlar çapraz sevkiyat alanından ayrılmadan önce boşaltılmalıdırlar. Fakat giden kamyonlar son teslim tarihine yetişebilmek için belirlenen zamandan önce sevkiyat alanından hareket edebilmektedirler. Bu durum, ancak LTL ile harekete izin verildiği zaman gerçekleşmektedir. Aksi takdirde, kamyonlar dolmadan çapraz sevkiyat alanını terk edememektedirler.

İşlem süresi: Kamyonların ürünleri boşaltma ve yükleme sırasında harcadıkları süreler işlem süresi olarak alınmaktadır. Bazı çalışmalar, kamyonların hepsinin işlem sürelerini aynı kabul etmektedir. Bu durumlarda ürünlerin da aynı büyüklükte olduğu kabul edilmektedir (Boysen ve Fliedner, 2010).

Son teslim tarihi: Gelen kamyonların ve giden kamyonların kalkış zamanlarındaki kısıtlamalar son teslim tarihini etkilemektedir. Son teslim tarihine yetişebilmek için bir kamyonun belirli bir süre öncesinde çapraz sevkiyat alanından hareket etmesine izin verilebilmektedir. Aynı şekilde, gelen kamyonların çapraz sevkiyat alanında boşaltma yapılmadan önce bekletilmesi de mümkündür (Boysen ve Fliedner, 2010; Belle vd., 2012).

Atama kısıtlamaları: Gelen ve giden kamyonların kapılara atanmasındaki serbestlik derecesi ile ilgilenen kısıttır. Eğer kamyonların kapılara atanmasında herhangi bir kısıtlama getirilmemişse kamyonlar herhangi bir boş kapıya atanabilmektedir (Boysen vd., 2008).

Transfer süresi: Gelen kamyonun kapıda boşaltıldıktan sonra yükleme kapısına kadarki zamanda işlem gördüğü süreyi ifade etmektedir (Shakeri vd, 2008). Çalışmaların bazıları bu süreyi sabit alarak problemleri basitleştirmeyi amaçlamaktadır (Boysen ve Fliedner, 2010).

2.4.4. Çapraz Sevkiyat Sisteminde Performans Ölçütleri

Çapraz sevkiyat sistemlerinde kullanılan performans ölçütlerinden bazıları aşağıda verilmektedir.

Envanter düzeyi: Envanterin en az seviyede kullanımı çapraz sevkiyatın önemli amaçlarından biridir. Bu nedenle planlamada toplam ürün sayısı veya depolanan en fazla ürün sayısı envanter düzeyinde takip edilmelidir.

Çalışma saatleri: İnsan gücü, işlemlerin elle yapıldığı bir çapraz sevkiyat terminalinde ilk maliyet kalemidir. Bu bağlamda çalışma saatleri işlemlerin tamamlanabiliriliği için önemli bir parametredir.

Dengeli iş yükü: İş yükünü nicel olarak ölçmek zordur. Bu nedenle çalışma saatleri üzerinden ele alınmaktadır. Bunun da adil bir şekilde bölüştürülmesi gerekmektedir.

Seyahat mesafesi: Çapraz sevkiyat içerisindeki tüm ürünlerin ve işçilerin kat etmesi gereken mesafelerin toplamını ifade eden bir parametredir. Mesafe artması işçinin görevini tamamlama süresini de artırmaktadır.

Tıkanıklık: Ürünlerin ve işçilerin seyahat mesafesi en aza indirildiği zaman boşaltma ve yükleme işlemleri aynı ana denk gelebilmektedir. Bu durumda işlemler üst üste geleceğinden tıkanıklığa sebebiyet vererek işlemlerin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle tıkanıklık performansı etkileyen önemli parametrelerden biridir. Tıkanıklığı ölçmek zordur.

Toplam ürün kalış süresi: Eğer problemin veya işletmenin ana amacı ürün akış devrinden en fazla verimi elde etmekse tüm ürünlerin çapraz sevkiyat içerisindeki toplam harcadığı süreyi incelemek en önemli parametredir.

Toplam yükleme veya boşaltma süresi: Giden kamyonlar tarafından yükleme kapılarında harcanan toplam sürenin en aza indirilmesi de olası bir başka amaçtır. Benzer şekilde, boşaltma kapısının kullanım oranı yüksekse, gelen kamyonların boşaltma kapılarında geçirdiği toplam süre takip edilmesi gereken önemli bir başka parametredir.

Kamyon işleme süresi sapması: Kamyonların varış zamanı veya son tarihleri belirlendiğinde, gelen veya giden kamyonların erken veya geç varması, ayrılması, boşaltılması veya yüklenmesini ele alan bir parametreyle bunların karşılandığına emin olunmalıdır. Bu durum sadece ulaşım sağlayıcının dakik olması ile alakalı değildir. Bu durum çok önemlidir ancak operasyonel yönetimle doğrudan alakalı da değildir. Bu parametrede kamyonlar boşaltılma veya yüklenme işlemlerini zamanında tamamlayamadıklarından belirlenen zamandan daha erken gelmekte ya da daha geç ayrılmak zorunda kalmaktadır.

Kapı kullanımı: Boşaltma ve yükleme sürelerinin toplamıyla alakalı olan bu parametre, boşaltma kapsının veya yükleme kapısının kullanımını göstermektedir. Bu kullanım ile hangi kapıda tıkanıklık olup olmadığı gözlemlenebilmektedir.

Yüklenmeyen ürünler: Bir başka parametre ise yüklenemeyen ürünlerin sayısıdır. Bunlar da kaçırılan siparişlerin sayısını göstermektedir. Bu durumun gerçekleşmesi, kar kaybına sebebiyet vermektedir.

Çizelge uzunluğu veya süre: İşlemlerin en kısa sürede bitirilmesinin önemli bir amaç olarak kabul edildiği bir çapraz sevkiyat sisteminde toplam çizelge uzunluğu veya süresi izlenmelidir. Bu süre son işlemin (son kamyonun yüklenmesinin) tamamlandığı süre ile ilk işlemin başladığı süre arasındaki farkı ifade etmektedir.

Ön alım maliyetleri: Eğer ön alım söz konusuysa, kamyonların belirlenen kapılardan çapraz sevkiyat alanının arkasına veya avluya taşınması için gereken maliyetler de hesaplanmalıdır.

Elleçleme sayısı: Eğer gelen ürün, gelen kamyondan giden kamyona kadar depolanmadan taşınıyorsa bir kez elleçlendiği varsayılmaktadır. Ancak herhangi bir şekilde depolanma faaliyeti gerçekleştiyse gelen kamyondan depolamaya, depolamadan da giden kamyona taşındığı için iki kez elleçlendiği varsayılmaktadır. Daha karmaşık süreçlerde ise daha fazla elleçlemelerden söz edilebilmektedir. Her elleçleme, insan gücü olduğu için fazladan maliyet demektir. Bu nedenle ortalama elleçleme sayısı veya toplam elleçleme sayısı önemli bir parametredir.

2.5. Çapraz Sevkiyat Sisteminde Kararlar

Çapraz sevkiyat sistemini uygulayabilmek ve kullanabilmek için uygulayıcılar birçok karar almaktadırlar. Bu kararlar çapraz sevkiyatın verimliliğini önemli bir ölçüde etkilediği için dikkatli bir şekilde alınmalıdır. Uygulayıcıların verecekleri kararlardan ilki, çapraz sevkiyatın yerinin ve düzeninin belirlenmesidir. Daha sonrasında ise kamyonların rotalarına karar verilmektedir. Bir diğer karar ise kamyonlar vardıktan sonra kapılara atanması durumunu ele almaktadır. Son olarak ise çapraz sevkiyat içerisindeki kaynakların planlanması ve depolama alanlarının belirlenmesidir (Daquin, 2021). Çapraz sevkiyat sistemindeki kararlar ana başlık olarak şu şekilde sıralanmaktadır (Karabulut, 2019):

- Kısa vadeli karar problemleri (operasyonel)
- Orta vadeli karar problemleri
- Uzun vadeli karar problemleri (stratejik ve taktiksel)

Çapraz sevkiyat sisteminin etkin çalışabilmesini ve yönetilmesini kısa vadeli kararlar belirlemektedir. Bu kararlar günlük ve haftalık kararları ve planlamaları içermektedir. Kısa vadeli karar problemlerinden bazıları aşağıda verilmektedir (Karabulut, 2019):

- Kamyon çizelgeleme problemi
- Kapı atama problemi
- Araç rotalama problemi
- Geçici depolama alanı problemi
- Yüklerin birleştirilmesinden sonra birden fazla hedefe teslim edilmesi problemi

Çapraz sevkiyat sistemindeki diğer problemlerden (orta vadeli karar problemleri) bazıları ise aşağıda verilmektedir (Karabulut, 2019):

- Ürün tahsisi
- Ulaştırma problemi
- Kaynak planlaması
- Ürünlerin yüklenme ve boşaltılma stratejileri

Uzun vadeli kararlardan biri ise çapraz sevkiyat yerleşim düzeninin tasarımının üzerinde durmaktadır. Çapraz sevkiyat, tedarik zincirinde tek bir bağlantıdan oluşabileceği gibi birden fazla bağlantının birleşiminden de oluşabilmektedir (Karabulut, 2019).

Çapraz sevkiyat sistemi ile ilgili bazı önemli problemler ve kapsamları Çizelge 2.2'de verilmiştir (Ladier ve Alpan, 2016):

- Kamyondan Kapıya Sıralama Problemi
- Kamyon Çizelgeleme Problemi
- Kamyon Sıralama Problemi
- Kapı Atama Problemi
- Kamyondan Kapıya Çizelgeleme Problemi

Çizelge 2.2. Çapraz sevkiyat sistemi ile ilgili bazı önemli problemler ve kapsamları (Ladier ve Alpan, 2016)

	Kapı	Zaman	Sıra
Kapı Atama Problemi	X	-	-
Kamyondan Kapıya Sıralama Problemi	X	-	X
Kamyondan Kapıya Çizelgeleme Problemi	X	X	-
Kamyon Sıralama Problemi	-	-	X
Kamyon Çizelgeleme Problemi	-	X	-

Bu çalışmada kapı atama problemi dikkate alınmıştır.

2.6. Kapı Atama Problemi

Çapraz sevkiyat, sevkiyatların doğrudan gelen bir kamyondan giden bir kamyona taşındığı bir lojistik uygulamadır. Bu alanda bilinen bir problem; kamyonların kapılara, kapılar arasında taşıma mesafesini enküçükleyecek şekilde atanmasıdır. Bu problem, Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama Problemi (CDAP) olarak tanımlanmaktadır (Tarhini ve Makki, 2014).

Operasyonel maliyetlerinin azalması, yanıt sürelerindeki iyileşmeler ve teslimat süresi, çapraz sevkiyatı nakliye ve diğer benzer endüstriler için arzu edilen bir uygulama haline getirmiştir. Fakat artan rekabet ortamı ve düşük kar marjları nedeniyle çapraz sevkiyat yöneticileri, etkinlik ve verimliliği daha da artırmak için farklı karar seviyelerini uygulamaktadırlar. Bu kararlardan bir tanesi deterministik olmayan bir NP- tam zaman çapraz sevkiyatta kapı atama problemidir. Bu tür problemler, kesin çözüm noktalarını bulmak için hesaplaması yoğun problemlerdir (Tarhini ve Makki, 2014; Tarhini, 2016).

Çapraz sevkiyat sisteminde ilk olarak gelen ve giden kamyonların etkin bir şekilde boşaltılması ve yüklenmesi amaçlanmaktadır. Gelen siparişin hacmi arttığında veya ürünlerin teslimatı kontrol edilmediğinde, terminal içerisindeki ürünlerin miktarının artması çapraz sevkiyatın doğru bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemleri çapraz sevkiyat sistemlerindeki en önemli operasyonel problemlerdendir (Özden, 2016).

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, tam yüklü 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, 2019). Yükleme kapılarında yüklenen kamyonlar, varış noktalarına yükleri teslim etmek için çapraz sevkiyat terminalinden ayrılmaktadırlar.

Bir çapraz sevkiyat terminalinde kapı atama probleminin adımları (Miao vd., 2019):

- Gelen kamyonlar, ürünleri bir kapıya taşımaktadırlar.
- Eğer gelen kamyonların atandıkları kapılar meşgulse, gelen kamyonlar işlem görmek için beklemektedirler.
- Ürünler sınıflandırılmakta, tekrar paketlenmekte ve çapraz sevkiyat içerisinde yönlendirilmektedirler.
- Ürünler, müsait olan kapılara önceden atanmış olan giden kamyonlara yüklenmek için beklemektedir.

Kapı atama problemleri literatürde İngilizce olarak şu isimlerle de bulunmaktadır (Van Belle vd., 2012):

- Door assignment
- Truck dock assignment
- Dock door assignment
- Dock assignment
- Truck-to-door assignment
- Trailer to door assignment

Kapı atama problemi bazı çalışmalarda ise *saha yönetimi* (*yard management*) olarak adlandırılmış (Bartz-Beielstein vd., 2006; Tesch vd., 2011; Clausen vd., 2012) ve kamyonların belirli bir zamanda kapılara atanmasını içermektedir. Kapı atama problemi

uzaysal boyutla ilgilenmektedir. Bu nedenle de çapraz sevkiyatı modelleme de kullanılan şekil önemli bir varsayımdır. Yapılan çalışmaların çoğunluğu çapraz sevkiyatın şeklinin I-şeklinde olduğunu varsaymaktadır.

Çapraz sevkiyatta kapılar; gelen kamyonların, başka tedarikçilerden gelen kamyonlardaki ürünler ile bir araya getirildiği, bir araya getirilen ürünlerin birleştirildiği ve birleştirilen ürünlerin giden kamyonlara yüklenerek aktarma işlemlerinin gerçekleştirildiği yerlerdir. Bir çapraz sevkiyattaki son ürün, giden kamyonlardır (Luo ve Noble, 2012). Bu nedenle çapraz sevkiyatta kapıların atanmasının önemi yüksek olduğundan ve tüm süreci etkileyebileceğinden doğru ve verimli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Bir çapraz sevkiyat sisteminin ilk ve en önemli fiziksel özelliği terminaldeki toplam kapı sayısını belirlemektir (Ladier ve Alpan, 2015). Terminaldeki gerçekleşecek işlemlerin hepsi kapı sayısının miktarına göre şekillenmektedir. Örneğin işçilerin sayısı ve kamyonların sayısı, kapı sayısına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Tam tersi, tedarikçilerin ve müşterilerin sayısı da kapı sayısını belirleyebilmektedir. Bu nedenle, bu faktörlerin etkili bir şekilde görevlerini yerine getirebilmesi için kapı atamasının düzgün bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Bazı çapraz sevkiyat sistemlerinde yükleme kapılarının sayısı, kamyonların gideceği varış noktalarının sayısına eşittir. Çünkü bir terminalin kurulum maliyeti terminalin büyüklüğü ile ilişkilidir. Bir çapraz sevkiyatın boyutu ise kapı sayısı ile ilgilidir. Ancak bazı durumlarda terminalin kurulum maliyeti ve boyutunun sınırlı olmasından dolayı yükleme kapılarının sayısı varış noktalarına eşit olamamaktadır (Motaghedi-Larijani ve Aminnayeri, 2018). Genellikle uygulamada gelen ve giden kamyonların sayısı, boşaltma ve yükleme kapılarının sayısından daha fazladır. Gelen ve giden kamyonların sadece belirli bir kısmı aynı anda işlem görebilmektedirler. Geriye kalan kamyonlar beklemek zorundadır ve kuyruktaki beklemeler çapraz sevkiyatın verimliliğini etkilemektedir. Ayrıca çapraz sevkiyatta birden fazla boşaltma ve yükleme kapıları bulunmaktadır. Boşaltma ve yükleme kapıları arasındaki mesafe çok büyük olursa, ürünlerin aktarım süresi artmakta ve verimlilik azalmaktadır. Bu nedenle gelen ve giden kamyonların uygun boşaltma ve yükleme kapılarına atanması, bu mesafeyi azaltabilmekte ve verimliliği artırmaktadır (Kuo, 2013).

Bir dağıtım merkezinde üç ana bölüm bulunmaktadır: Gelen kargo alanı, depolama alanı ve giden kargo alanı. Bir çapraz sevkiyatta birden çok boşaltma ve yükleme kapısı bulunmaktadır. Başlangıç noktasından gelen kamyonların boşaltılacağı kapılar (gelen kargo alanı) ve varış noktalarına gidecek ürünlerin boş kamyonlara yükleneceği kapılar (giden kargo alanı) mevcuttur (Bartholdi ve Gue, 2000). Kapı atama problemi ile hangi kamyonların hangi kapılara atanacağı ve hatta hangi başlangıç noktalarının veya hangi varış noktalarının hangi kapılara atanacağı belirlenmektedir.

Çapraz sevkiyattaki en önemli kararlardan biri, bir gelen kamyonun ya da giden kamyonun geldiği zaman hangi yükleme ya da boşaltma kapsına atanacağına karar vermektir. Bu atama, çapraz sevkiyatta üretkenliği artırarak, işleme maliyetlerini de azaltmaktadır. Bu sebeple kapı atama problemi kapılara atanacak kamyonların en iyi atamasını bulmak için ele alınmaktadır. Kapı sayısının kamyon sayısı kadar olduğu varsayılan bir çapraz sevkiyatta, farklı kapılara farklı kamyonlar atanacağından zaman göz ardı edilmektedir. Eğer zaman göz ardı edilmezse, kapılar zamanla kıt kaynak olarak ele alınmak zorunda kalınacaktır ve planlanması gerekecektir. Bu sözde kamyon çizelgeleme problemidir. Hem kapı atama problemi hem de kamyon çizelgeleme problemi, kapı sayısını dikkate almasından ve problemin dinamik bir yapıda olmasından dolayı karmaşık problemler olmaktadırlar (Van Belle, 2012).

Çoğu çalışmada kapı atama problemi için ana performans ölçütü olarak taşıma mesafesini enküçükleme alınmıştır. Çoğu yazar, işçiler tarafından kat edilen mesafeyi azaltmanın toplam iş yükünü enküçükleyeceğine vurgu yapmaktadır (Ladier ve Alpan, 2016). Ancak bazı çalışmalar (Bartholdi ve Gue, 2000; 33iv d., 2008; Jarah vd., 2014), iş yüküyle alakalı özel performans göstergeleri oluşturmaya çalışmakta ve bu nedenle de iş yükünü açıkça modellemektedir.

Birkaç makalenin yaptığı çalışmaya göre gelen kamyonların atamasının kısa vadeli zaman diliminde yapılırken, varış noktalarının boşaltma kapılarına atandığı yani giden kamyonların orta vadeli zaman dilimde atandığı bir çapraz sevkiyat kombinasyonundan da söz edilmektedir (Van Belle, 2012). Aynı şekilde gelen kamyonlar hakkında yeterince bilgi sahibi olunduğu zaman kamyonların kapılara atanması problemi kısa vadeli zaman diliminde ele alınabilmektedir. Bu durumda kamyonlar, ürün akışlarına göre kapılara atanmaktadır.

Bunlara *yüzen iskele* denmektedir. Bu konsept, Peck (1983) tarafından ortaya atılmış ve bir LTL terminalindeki malzeme taşıma operasyonlarını incelemektedir. Bu konsept, işçilerin aynı varış noktası için görevlendirilmiş olan farklı kapılara atanmalarına ve yüklerin de doğru kamyonlara yüklenmesine dikkat etmelerine sebebiyet vermektedir. Depo yönetim sistemiyle birlikte barkod ya da RFID gibi modern bilgi teknolojilerinin kullanımı bu konsept için yararlı olmaktadır (Van Belle, 2012).

Çapraz sevkiyatta kapıların iyi bir şekilde atanması çapraz sevkiyat tesisinin performansını önemli bir şekilde etkilemektedir. Atamanın iyi yapılması terminal içerisindeki gecikmeleri azaltabilmekte, gelen ürünlerin giden kamyonlara taşınması için gerekli zamanı enküçüklemekte ve operasyonel ve dağıtım maliyetlerini de kontrol edilebilmektedir. Kapı atama probleminin asıl amacı, çapraz sevkiyat boyunca malzemelerin taşındığı toplam mesafenin enküçüklenmesi için boşaltma ve yükleme kapılarının en uygun şekilde düzenlenmesinin ve kamyonların bu kapılara en etkin şekilde atamasının yapılmasıdır (Gue, 1999). Kapı atama problemi kısa vadeli zaman diliminde olabileceği gibi orta vadeli zaman diliminde de yapılabilmektedir (Boysen ve Fliedner, 2010). Orta vadeli zaman dilimindeki atamada, başlangıç ve varış noktaları kapılara daha uzun bir süre için atanmaktadırlar. Örnek olarak 6 aylık bir süre için aynı başlangıç noktasından gelen veya aynı varış noktasına giden tüm kamyonların aynı kapıda işlem görecek şekilde ataması yapılmaktadır. Orta vadeli zaman diliminde yapılan atamalar, terminaldeki esnekliği sınırlandırmaktadır, fakat hangi kapılara ürünlerin taşınacağı tam olarak bilindiği için iş yükünde kolaylık sağlamaktadır. Eğer gelen kamyonlar hakkında yeterli bilgi varsa, kapıların atanması kısa vadeli zaman diliminde de yapılabilmektedir. Başlangıç ve varış noktaları bilinen kamyonların kapılara atamaları gerçek ürün akışına göre yapılmaktadır. Ancak bu, iş ortamının karmaşıklaşmasına sebebiyet verebilmektedir (Karabulut, 2019).

Kapı atama problemi, ürünlerin gelişini ve gidişini senkronize ederken kamyonlara nasıl kapı atanacağını araştırmaktadır. Böylelikle maliyet ve teslimat sağlama sürelerinin azaltılması sağlanmaktadır. Ayrıca, bu uygulama, dolu kamyonları alarak kaynak kullanımını iyileştirmektedir. Tüm bu avantajlar, çapraz sevkiyatta kapı atama problemini, birçok şirket için ilginç bir lojistik uygulama haline getirmektedir. Ancak fayda elde edilebilmesi için akışın iyi yönetilmesi gerekmektedir (Daquin, 2021).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde kapı atama problemine dair literatürdeki çalışmalar kronolojik sıralaması ile aşağıda ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Literatürde çapraz sevkiyatta kapı atama problemini ele alan ilk çalışma, Peck (1983) tarafından yapılan doktora tezidir. Peck (1983), bir LTL terminalindeki taşıma sürelerini enküçüklemek için kapı atama problemini ele almıştır. Ürünlerin kamyonlar arasındaki taşınma sürelerini, mesafenin bir fonksiyonu olarak varsaymıştır. Bu mesafe, kamyonların içeriğine ve gerekli taşıma araçlarına (iki tekerlekli, dört tekerlekli veya forklift) bağlıdır. Kapıların boşaltma veya yükleme kapısı olarak atanmasını önceden belirlemiş ve sabitlemiştir. Problem için bir tamsayılı programlama modelini geliştirmiştir. Problemi çözmek için bir benzetim modeli ve açgözlü algoritma kullanmıştır.

Kapı atama problemini ele alan ilk çalışmalardan bir diğeri ise Tsui ve Chang (1990) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, tüm ürünlerin depolama yapılmaksızın gelen kamyonlardan giden kamyonlara taşındığı bir çapraz sevkiyatta kapı atama problemini ele almışlardır. Ele aldıkları problem, başlangıç ve varış noktalarının kamyonlara değil de kapılara atanmasından dolayı orta vadeli bir problem olarak düşünülmektedir. Kapıların boşaltma ve yükleme kapıları olarak atanmasını sabit olarak ele almışlardır. Problem için çift sayılı doğrusal programlama modelini kullanmışlardır. Problemin amacı ise forkliftlerin taşıma mesafelerini enküçüklemektir. Burada forkliftlerin gerçekleştirdiği sefer sayılarının önceden bilindiği varsayılmaktadır. Çalışma sonucunda herhangi bir test sonucu sunmamışlar, fakat çözümün üst yönetim için iyi bir başlangıç noktası olduğuna karar vermişlerdir.

Tsui ve Chang (1992) daha sonrasında problem için daha gelişmiş bir yaklaşım sunmuşlardır. Çapraz sevkiyat terminalinin şeklini dikdörtgen alarak bir tarafta boşaltma kapıları, diğer tarafta da yükleme kapıları olacak şekilde sabit kapılardan oluşan bir problem üzerinde çalışmışlardır. Problemin amacı, forkliftlerin taşıma mesafesini enküçükleyerek hangi kapıların boşaltma ve hangi kapıların ise yükleme kapıları olacağını belirlemektir. Bir doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Problemi, Dal-Sınır Algoritması uygulayarak

test etmişlerdir. Problemin boyutunu arttırdıkça problemin çözüm süresinin de arttığını gözlemlemişlerdir.

Gue (1999) çalışmasında çapraz sevkiyatta malzeme akışındaki ve çapraz sevkiyat terminalinin yerleşimindeki ileriye dönük planlama sisteminin etkilerini kapı atama problemi ile incelemiştir. En düşük işçi maliyeti sağlayan yerleşimi planlamak için yazar, bir Yerel Arama Algoritması (kamyon çiftlerini değiştiren) ile tüm yerleşimdeki çözüm alanlarını aramayı önermiştir. Bu yerleşim düzeni için, eğer boşaltma kapılarından gelecek malzeme akışı biliniyorsa (sadece taşıma masraflarının düşünüldüğü, tıkanıklık maliyetlerinin ele alınmadığı) işçi maliyetleri belirlenebilmektedir. Bu akışı modellemek için, bir doğrusal programlama problemini çözerek yanlı römorkları oluşturmuşlardır. Böyle bir römork, atandığı boşaltma kapısına en yakın olan varış noktasına doğru gitme ihtimali olan ürünleri taşımaktadır. Çalışmanın amaç fonksiyonu ise taşıma mesafesinin enküçüklenmesidir. Yazar, benzetim kullanarak sonuçları test etmek için özel bir ileriye dönük algoritma önermektedir. Benzetim sonuçları, gelen kamyonlar için ileriye dönük planlama politikası kullanıldığı zaman işçi maliyetlerinde %15-20 oranında kar elde edilebileceğini göstermektedir. Değişken akışlara (örneğin gelen kamyon başına ortalama varış nokta sayısı düşükse) bağlı olarak terminal yerleşimi oluşturularak da ekstra maliyetlerden tasarruf edilebilmektedir.

Bartholdi ve Gue (2000), çapraz sevkiyat yerleşimi problemini kapı atama problemi ile dikkate alarak bir model üzerinde çalışmışlardır. Çapraz sevkiyat yerleşimi için kapıların boşaltma ve yükleme kapıları olarak belirtilmesi, ürünlerin kapılara istif olarak atanması ve gelen kamyonların geliş önceliğine göre boşaltılmasını varsaymışlardır. Gelen kamyonların atamalarını kısa vadeli zaman dilimi içerisinde ve varış noktalarının atamalarını ise orta vadeli zaman dilimi içerisinde ele almışlardır. Taşıma mesafesinin optimal yerleşim için uygun bir ölçüt olmadığını, o nedenle de işçilik maliyetlerinin optimal çözümü vereceğini düşündüklerinden taşıma mesafesini ve tıkanıklığı azaltarak işçilik maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Problem için bir tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Modelin çözümü için Tavlama Benzetimi Algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen önemli sonuçlardan biri, yüksek akışlı boşaltma kapılarının yükleme kapılarıyla kümelenmesinin önerisidir. Bu şekilde taşıma mesafesini azaltmak ve tıkanıklığı azaltmak için küme içerisinde akışın dağıtılması sağlanmaktadır.

Bermudez ve Cole (2001), Tsui ve Chang (1992)'ın çalışmalarına benzer bir çalışma yapmışlardır, ancak onlardan farklı olarak kapılar için boşaltma ya da yükleme kapısı gibi sabit tanımlamaların yapılmadığı bir durumu ele almışlar ve tüm kapılara bir başlangıç noktası ya da bir varış noktası atamışlardır. Böylelikle Tsui ve Chang (1992)'ın modelini bu duruma göre uyarlamışlardır. Problemin amaç fonksiyonu, gelen ve giden kamyonların boşaltma ve yükleme kapılarına özel olarak atanmadığı bir çapraz sevkiyatta toplam ağırlıklı taşıma mesafesini enküçüklemekdir. Problemin çözümü için Genetik Algoritma kullanmışlardır. Yazarlar, bir LTL taşıyıcısından aldıkları verilerin farklı Genetik Algoritma parametreleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve çıkan sonuçları da iki değişim tekniği kullanarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucu Genetik Algoritma ile elde edilen sonuçların daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Brown (2003), çalışmasında kamyonları kapıya atama problemini ve gelen kamyonların nasıl boşaltılacağı (ürünlerin sıralanması problemi) durumunu ele almıştır. Bu atama problemi için amaç fonksiyonu, ana performans ölçütleri olan toplam taşıma mesafesini, toplam işçilik sürelerini ve darboğaz sürelerini enküçüklemektir. Bir yarı-kalıcı yerleşim düzenini iki aşamada kurmuştur. İlk aşamada kapıların boşaltma ve yükleme kapısı olarak belirlenmesinden ve varış noktalarının yükleme kapılarına atanmasından oluşmaktadır. İlk atamadan itibaren, nihai bir çözüm üretmek için ikili kamyon değişimleriyle yerel bir arama gerçekleştirilmektedir. İkinci aşamada, gelen kamyonlar boşaltma kapılarına atanmaktadır. Gelen kamyonların ilk atamasını geliştirmek için ikili kamyon değişimlerini kullanılmıştır. Yazar hem gelen kamyonların hem de giden kamyonların kısa vadeli zaman diliminde atandığı dinamik bir yerleşim düzenini varsaymaktadır. Her iki yerleşim düzenini değerlendirmek için benzetim modeli yöntemini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dinamik yerleşim düzeninin yarı-kalıcı yerleşim düzenine kıyasla toplam taşıma mesafesinde, toplam işçilik sürelerinde ve darboğaz sürelerinde daha iyi sonuçlar verdiği ve azalmalar sağladığı görülmüştür.

Aickelin ve Adewunmi (2008), çapraz sevkiyatta kapı atama problemini iki aşamada çözmüşlerdir. İlk aşamada benzetim ile çapraz sevkiyatın yerleşim şeklini, boşaltma ve yükleme kapılarının sayısını, römorkların planlanmasını ve ürün akışını dikkate alan kontrollü bir ortamdaki çapraz sevkiyatın gerçek performansını tahmin etmeye

çalışmışlardır. İkinci aşamada ise benzetim modeli kullanılmıştır. Modelin amacı, elleçleme araçlarının taşıma mesafesini enküçüklemektir.

Bartz-Beielstein vd. (2006) çalışmalarında, bir LTL terminalindeki taşıma hacmini ve kamyonların hangi kapılara atanacağını belirlemeyi amaçlayan kapı atama problemini ele almışlardır. Bu amaçla geçen süreyi enküçüklemek için 2-amaçlı bir optimizasyon problemi ve evrimsel çözüm yaklaşımını geliştirmişlerdir. Müşterilerin taleplerinin 1 ile 10 palet arasında değişmekte olduğunu ve bir kamyonun bu talepleri karşılayacak kapasiteye sahip olmadığını varsaymışlardır. Bir terminal için boyutlarına bağlı olarak 20 ile 100 kapıya sahip olan bir transfer istasyonu asıl eleman olarak kabul edilmektedir. Müşteri taleplerinin, kamyonlar aracılığıyla günlük olarak toplanmakta olduğunu ve kamyonların öğleden sonra, önceden belirlenmiş bir çizelgeye uyarak en erken varış saatine göre uygun bir şekilde terminale gelmekte olduğunu varsaymışlardır. Kamyonların kapılara ve zaman aralıklarına atanması, boşaltma kapıları ile yükleme kapıları arasındaki tüm yük birimlerinin taşınması için oluşan mesafeyi ve açık depo yönetimini etkilemektedir. Bu nedenle, birinci amaç, toplam mesafeyi ve operasyonlarda kullanılan kaynak sayısını enküçükleyen en uygun bir yerleşim düzenini oluşturmayı amaçlamaktadır. İkinci amaç ise bekleme sürelerini enküçüklemektir. Modelde 25 kapıdan oluşan dikdörtgen bir terminal ve kapılara atanacak 50 kamyon kullanılmıştır. Kamyonlar 15:00-18:00 saatleri arasında bir kapıya atanmış ve her bir kamyon her 5 farklı yükleme kapısı için 10 palet taşımaktadır. Evrimsel çözümde, rastgele mutasyon ve hızlı mutasyon verilerine bakılmak istenmiştir. Pareto analizleri ile uygun seçimler belirlenmiş ve 300.000 fonksiyon değerlendirmesi ile her çalışma 50 kez tekrarlanmıştır. Mutasyonlar için modelin ortalaması, standart sapması, maksimum ve minimum değerleri bulunmuş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sonuçlara göre kullanılan evrimsel algoritmanın, uzun mesafe kat eden kamyonlara farklı kapılar atayabildiği görülmüştür ve bu durum oluşturulan Gannt şemaları ile gösterilmiştir.

Lim vd. (2006) çapraz sevkiyat kapasitesini ve zaman pencerelerini dikkate alan bir kapı atama problemi üzerinde çalışmışlardır. Problemin amacı taşıma mesafesini enküçüklemektir. Problem için tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Modelin çözümü için ise Genetik Algoritma ve Tabu Arama Algoritması kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre hem küçük boyutlu hem de büyük boyutlu test problemleri için Genetik

Algoritmanın ve Tabu Arama Algoritmasının CPLEX çözücüden daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Oh vd. (2006), çalışmalarında farklı kapıların ve bu kapılarla ilişkili olan varış noktalarının gruplar halinde kümelendiği bir posta dağıtım merkezindeki çapraz sevkiyat kapı atama problemi ile ilgilenmişlerdir. Her grup, yükleme kapılarının merkezinde yer alan bir taşıma alanına sahiptir. Gelen ürünler; gelen kamyonlardan bu taşıma alanına taşınmakta, varış noktalarına göre sınıflandırılmakta ve giden kamyonlara yüklenmektedir. Fazla miktardaki ürünlerin bir varış noktasına taşınması gerektiğinde, bu varış noktası birçok yükleme kapısına atanabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, toplam taşıma mesafesini enküçükleyen varış noktalarının kümelenmesinin ve yükleme kapılarına atanmasının bulunmasıdır. Boşaltma kapılarının atanması dikkate alınmamıştır. Yükleme kapılarının atanması ise orta vadeli zaman diliminde ele alınmıştır. Yazarlar, problem için bir doğrusal olmayan programlama modeli tasarlamışlardır. Problemin çözümü için Genetik Algoritma ve Ayrışma Buluşsal Yöntemini kullanmışlardır. Posta dağıtım merkezinden alınan veriler dikkate alındığında, hesaplanan sonuçlara göre iki buluşsal yöntemin şu anki durumla kıyaslandığında taşıma mesafesinde azalmaya yardımcı olduğu bulunmuştur. Ayrışma Buluşsal Yöntemi için %13 iyileşme ve Genetik Algoritma için ise %9 iyileşme elde edildiği bulunmuştur.

Bozer ve Carlo (2008), Bartholdi ve Gue (2000)'nun çalışmalarını geliştirerek gelen kamyonların boşaltma kapılarına ve giden kamyonların yükleme kapılarına atanması problemini ele almışlardır. Gelen kamyonların veya giden kamyonların boşaltma kapısı ya da yükleme kapısı kadar olduğunu ve ayrıca kamyonların sabit değil dinamik olduğunu varsaymışlardır. Tüm kamyonların sıfır başlangıç zamanında hazır bir şekilde bulunduğunu varsaymışlardır. Bu şekilde hem amaç fonksiyonu olan malzemelerin taşınmasındaki iş yükünü enküçüklemiş hem de tıkanıklık sorunu çözmüşlerdir. Bu kapı atama problemi için karma tamsayılı programlama modelini ve karesel atama programlama modelini tasarlamışlardır. Problemin çözümü için Benzetilmiş Tavlama algoritmasını kullanmışalardır. Dinamik bir yerleşimin mevcut yerleşim düzeninden %35 daha optimal sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Cohen ve Keren (2009), Tsui ve Chang (1992)'ın çalıştıkları kapı atama problemini geliştirmişlerdir. Tsui ve Chang (1990)'ın modelindeki çok sayıda başlangıç veya varış noktasına atanmış olan kapıların kullanılmaması durumunu ele almışlardır. Ayrıca bu çalışmada hem gelen kamyonların hem de boşaltma ve yükleme kapılarının kapasitelerini de ele almışlardır. Kamyonların hepsinin, tüm varış noktaları için belirli bir miktar ürün taşıdığını varsaymışlardır. Bunun amacı, boşaltma kapılarına ve yükleme kapılarına ürünleri taşımak için gelen tüm römorkları atanmasını sağlamaktır. Gelen kamyonların atanmalarını kısa vadeli zaman dilimi için, varış noktalarının atanmalarını ise orta vadeli zaman dilimi için ele almışlardır. Ayrıca I şekilli çapraz sevkiyat terminalinin bir tarafında boşaltma kapılarının, diğer tarafında ise yükleme kapılarının olduğunu da varsaymaktadırlar. Yazarlar hatta bu çalışmaya giden kamyonların kapasitelerini de eklemişlerdir. Problem için karesel atama programlama modelini kullanmışlardır. Yeni modelin çözümü için sezgisel bir algoritma önermişler ve çıkan sonuçları Tsui ve Chang (1990)'ın çalışmaları ile kıyaslamışlardır. Yazarların yaptığı çalışmalar sonucunda taşıma mesafesinde %5'lik bir iyileşmeden söz edilmektedir.

Shakeri vd. (2008) çalışmalarında, kamyon çizelgeleme ve kapı atama problemlerinin çözümü için bir karma tamsayılı programlama yaklaşımı kullanarak bir matematiksel model önermişlerdir. Ayrıca problem, hızlı tüketim ürünlerinin çapraz sevkiyatı konusunu ele almayı düşünen çalışmalar için karmaşık modellemelerin geliştirilmesine temel olması için ele alınmıştır. Problemin amacı, ilk gelen kamyonun ürünlerinin depolama alanına boşaltıldığı andan son giden kamyonun ürünlerinin depolama alınandan yüklendiği ana kadarki geçen toplam çalışma süresinin enküçüklenmesidir. Önerilen modeli; istenilen miktarda kapı, kamyon, ürün türü ve farklı taşıma sürelerinde örneklendirilebilecek seviyede geliştirmişlerdir.

Yu vd. (2008) geçici bir çapraz sevkiyat yerleşim düzeninde kapı atama problemini ele almışlardır. Çalışmanın amacı, toplam taşıma süresini enküçüklemektir. Gelen kamyonların kısa vadeli zaman dilimindeki atamalarını belirlemek için, gelen kamyonları gerçek zamanlı olarak atayan bir *hat üzerinde politikasını* önermişlerdir (ilk gelen ilk servis alır politikasından farklı olarak). Bu politika, uzun vadeli değildir. Çünkü sadece ele alınan gelen kamyonların işlem sürelerini enküçüklemeyi garanti etmektedir, ancak bu durum daha sonrasında gelecek olan kamyonların işlem sürelerini daha da kötüleştirebilmektedir.

Boşaltma ve yükleme kapısı olarak kapıların tanımlanmasını ve giden kamyonların orta vadeli zaman dilimindeki atamasını, varış noktası-kapı ataması problemini çözerek bulmaya çalışmışlardır. Uygulanan *hat üzerinde politikası* amaç fonksiyonu tarafından da dikkate alınmaktadır. Problem için bir doğrusal programlama modeli kullanmışlardır. Genetik Algoritma ve Yerel Arama Sezgisel Yöntemi olmak üzere iki tane sezgisel yöntemi, ele aldıkları problemi çözmek için kullanmışlardır. Gerçek veriler üzerinde yaptıkları çalışmalarını, modellenen benzetimli veriler üzerinde de gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, toplam taşıma süresi için her iki sezgisel yöntem de uygulamadan elde edilen sonuçlara göre %20 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir.

Miao vd. (2009), kamyon sayısının kapı sayısından fazla olduğu çapraz sevkiyat terminalindeki operasyonel zaman kısıtına sahip bir kapı atama problemini ele almışlardır. Problem; her kamyonun varış ve ayrılış zaman pencereleri faktörü, kapılar arasındaki ürünlerin sevkiyatı için operasyonel zaman faktörü ve çapraz sevkiyat için toplam mevcut kapasite faktörü olmak üzere üç faktörden etkilenmektedir. Problemin amacı, aynı anda gerçekleştirilmemiş taşımalardan kaynaklı ceza maliyetleri ile ürünlerin taşınmasının operasyonel maliyetlerinin birleştirildiği toplam maliyetleri enküçüklemektir. Problem için tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için CPLEX çözücü kullanmışlar ve ayrıca Tabu Arama Algoritması ve Genetik Algoritma olmak üzere iki meta-sezgisel önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmaların CPLEX çözücüden daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşler ve hatta Tabu Arama Algoritmasının da daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Rosales ve Fry (2009), Amerika'nın Kentucky eyaletinin Georgetown şehrindeki Georgetown Çapraz Sevkiyat terminalinde kapı atama problemini incelemişlerdir. Çalışmalarında Georgetown Çapraz Sevkiyat terminalindeki sabit çapraz sevkiyat yerleşkesi için gelen römorkların kapılara atanmasında iyileştirme tekniklerini uyguladıklarından bahsetmişlerdir. Önerilen modelin ana amaçları, planlama süresini azaltmak ve çapraz sevkiyatın operasyonel maliyetlerini enküçüklemektir. Operasyonel maliyetler, terminal içerisinde kullanılan forkliftlerin kullanım ve bakım maliyetlerinden ve ürünlerin boşaltılması için gerekli işgücü maliyetlerinden oluşmaktadır. İşgücü maliyetleri operasyonel maliyetler içerisinde %50'den fazla değere sahiptir. Problemin çözümü için çapraz sevkiyat terminalindeki gelen römorkların kapılara en uygun şekilde atanmasını

sağlayan karma tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Modelin çözümünden elde edilen sonuçlara göre; iş yükü dengeleme kısıtlarının dahil edilmesi sayesinde kat edilen mesafede daha az etkiye sahip olan kapıların sayısının azaldığı, gelen römorkların kapılara atanması için gereken sürede önemli bir azalma meydana geldiği, Georgetown Çapraz Sevkiyat terminalinde işleme maliyetlerinde azalma sağlandığı, ekip üyeleri arasında memnuiyetin arttığı ve yüksek miktarda gelir artışını sağlandığı görülmüştür. Genel olarak, Georgetown Çapraz Sevkiyat terminali için önemli tasarruflar ve gelişim fırsatları sağlandığı bulunmuştur.

Zhu vd. (2009), gelen kamyonları boşaltma kapılarına ve giden kamyonları yükleme kapılarına en uygun şekilde atamayı ve toplam maliyetleri enküçüklemeyi amaçlayan kapı atama problemini ele almışlardır. Tsui ve Chang (1990)'ın çalışmalarındaki problemi farklı bir açıdan ele almışlardır. Tsui ve Chang (1990)'ın çalışmalarından farklı olarak boşaltma kapıları birden fazla başlangıç noktasına ve yükleme kapıları da birden fazla varış noktasına hizmet etmektedir. Problemin çözümü için Karesel Atama Programlama yöntemini kullanmışlardır.

Stephan ve Boysen (2011), özel ve karma politika olmak üzere iki farklı kapı atama problemi için farklı çapraz sevkiyat terminal düzenlerini karşılaştırmışlar ve operasyonel maliyetleri enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Özel politikada terminal içerisinde tek yönlü ve iyi düzenlenmiş malzeme akışı vardır. Karma politika ise operasyonel planlama sırasında kapılara başlangıç ve varış noktaları atandığında taşıma mesafesinin azalacağını göstermektedir. Problem, her iki düzen politikası için sezgisel Benzetim Tavlama Yöntemi ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre karma politikanın, gelen kamyon başına az başlangıç noktası olan, az kapısı olan ve ayrıca ana yatay koridorda kısa mesafelere ve bitişik kapılar arasında uzun mesafelere sahip terminallerde avantaj sağladığı görülmüştür. Karma politikanın beklenmedik gelen ürünler dışında çoğu durumda üstünlük sağladığı görülmüştür.

Acar vd. (2012), LTL terminalleri için kapı atama problemini ele almaktadırlar. Yazarlar, kamyonların belirsiz varış zamanlarını yönetmeyi amaçlamaktadırlar. Bu nedenle, planlanmış kamyon geliş zamanları arasındaki her bir kapının boşa geçirdiği zamanları eşit bir şekilde dağıtmaya çalışmışlardır. Problemin amaç fonksiyonu, taşıma mesafesini

enküçüklemektir. Bunun için ikinci dereceden bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca bu atama problemini özel bir sezgisel yöntem ile çözmüşlerdir. Farklı problem boyutları için elde edilen değerleri gözlemlemek için ise bu özel sezgisel yöntemin performansını Arena Simülasyonu ile analiz etmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre; önerilen modelin, kamyonların gelme ve servis görme sürelerindeki değişikliklere karşı dayanıklı olduğunu ve bu nedenle de uygulanabilir olduğunu bulmuşlardır.

Guignard vd. (2012) çapraz sevkiyatta kapı atama problemini çözmek için kesin çözüm yöntemleri kullanmanın, problemin kuadratik amaç fonksiyonuna sahip olması nedeniyle zor olduğunu öne sürmüşlerdir. Çalıştıkları problemin amaç fonksiyonu, taşıma mesafesini enküçüklemektir. Problem için karma tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Önerdikleri problemin çözümü için Yerel Arama Sezgisel Yöntemini kullanmışlardır. İlk başta bu sezgisel ile her başlangıç noktası için bu noktaya atanan kapılardan rastgele herhangi bir kapı belirlenmiş, eldeki kaynaklar da bu kapıya atanarak kapının mevcut kapasitesinde azalma elde edilmeye çalışılmıştır. Eğer belirlenen kapı için yeterli kaynak ataması yapılamıyorsa, adımlar baştan tekrarlanmıştır. En iyi sonuca ulaşmak için bazı adımlar birkaç defa tekrarlanmış ve en iyi sonuç seçilmiştir. Kapı atamalarında en iyi sonucu elde etmek için 20 kapı, 20 başlangıç noktası ve 20 varış noktasından oluşan test problemleri Dış Bükey Meta-Sezgisel Algoritma ve kesin çözüm yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmış ve en iyi çözümü veren araştırılmıştır. Test probleminin boyutu arttıkça kesin çözüm yönteminde elde edilen sürelerin yükselmekte olduğu ve Dış Bükey Meta-Sezgisel Algoritmanın ise kısa vadeli zaman diliminde iyi sonuçlar gösterdiği bulunmuştur.

Lee vd. (2012), çapraz sevkiyatta kapı atama ve kamyon sıralama problemleri için yüklenen ürünlerin miktarını enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Bunun için karma tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Çözüm için ise Genetik Algoritma Yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen algoritma hem etkinlik hem de verimlilik açısından en yüksek kalitede performans sağlamıştır.

Luo ve Noble (2012); kapı atama problemini, kargo çizelgeleme problemi ve çapraz sevkiyat planlaması problemi ile bir arada ele almışlardır. Problemin amacı, boşaltma kapılarının başlangıç noktalarına atanması ve yükleme kapılarının varış noktalarına atanmasının dışında giden kamyonların kalkış zamanlarını da belirlemektedir. Problemin

amaç fonksiyonunu ise giden kamyonların kullanımından kaynaklı maliyetlerden, mesafeye bağlı maliyetlerden ve çapraz sevkiyattaki ürünlerin bekleme sürelerinin maliyetlerinden kaynaklı olan ceza maliyetlerinin toplamının ve bekleme sürelerinin enküçüklenmesi olarak belirlemişlerdir. Böylelikle kamyondan en çok yararı elde etmeyi amaçlamaktadırlar. Problem için doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için Genetik Algoritma önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, çapraz sevkiyatta kargo ayrıştırma operasyonlarının; ürünlerin akış profili, varış zamanı ve uygun zaman gibi durumlardan etkilendiğini göstermektedir.

Kuo (2013), çok kapılı bir çapraz sevkiyat sistemindeki işlem süresini enküçüklemek için hem kamyon sıralama problemini hem de kapı atama problemini birlikte ele almışlardır. Önerilen modelde, ilk gelen kamyon ilk işlem görür anlayışıyla kapılara atanmaktadır. Problemin çözümünde en iyi kamyon sıralamasını elde edebilmek için Değişken Komşu Arama yöntemini kullanmışlardır. Sonuçları karşılaştırmak için dört tane Benzetilmiş Tavlama Algoritmasını uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Değişken Komşu Arama yönteminin geleneksel yöntemlere göre %8.23-40.97 oranında daha yüksek performans ve gelişim sağladığını bulmuşlardır. Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile karşılaştırıldığında ise Değişken Komşu Arama yönteminin daha iyi çözümler vermese de daha sağlam sonuçlar sağladığını gözlemlemişlerdir.

Liao vd. (2013)'nın çalışmaları, çok kapılı bir çapraz sevkiyatta gelen kamyonların boşaltma kapılarına atanmasını ve sıralanmasını ele almaktadır. Problemin amaç fonksiyonu, toplam gecikmenin enküçüklenmesidir. Bu problemin çözümü için Tabu Arama, Benzetilmiş Tavlama, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Diferansiyel Gelişim ve iki tane de Melez Diferansiyel Gelişim Algoritmalarını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Tabu Arama Algoritması en iyi sonucu verirken, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ise en kötü sonucu vermiştir.

Jarrah vd. (2014), çalışmalarında çapraz sevkiyat kapı atama problemindeki günlük birden çok ayrıştırma gerçekleştiren paket tasnif merkezlerinin yapılandırılması problemini ele almışlardır. Problemin ilk amacı, bir tasniften diğerine varış noktası-kapı atama probleminin değişiklik sayısını enküçükleyecek şekilde ardışık kapılara varış noktaları atamaktır. İkinci amacı, kapılardaki yükleyicilerin sayısını enküçüklemektir. Üçüncü amacı

ise, her yükleyiciye atanan paketlerin hacminin eşit olarak dağıtılmasıdır. Problemin çözümü için karma tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Modelin bir özelliği de kapı atamaları için desen değişkenlerinin kullanılmasıdır. Karma tamsayılı programlama dışında, çok amaçlı programlama yaklaşımını da benimseyen yazarlar, çözümleri elde etmek için her bir amaca ait ayrı ayrı karma tamsayılı programlama serisi kullanmışlardır. Problemin amaç fonksiyonları, yükleme kapılarındaki varış noktası değişikliklerinin sayısının enküçüklenmesi, her gün için dört çeşit akışı ele alabilecek gerekli yükleyici sayısını enküçüklemek ve iş yükünü dengelemektir. Problemin çözümü için 24 test verisi, bir paket sağlayıcı tarafından elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca varış noktasından-kapıya atama ve yükleyiciden-kapıya atama alt problemlerinin karmaşık analizleri de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, %3'lük optimal fark ile tüm durumlarda yüksek kaliteli çözümler elde edilmiştir.

Miao vd. (2014), çalışmalarında Miao vd. (2009)'nın çalışmalarında sunulan kapı atama problemi ele alıp geliştirmişlerdir. Kamyon sayılarının kapı sayılarını aştığı durumlarda çapraz sevkiyat aracılığıyla bir aktarma ağındaki hem gelen hem de giden kamyonlar için zaman pencerelerini dikkate almışlardır. Problemin amacı, ürünlerin taşınmasındaki operasyonel maliyetlerini ve gerçekleştirilmeyen sevkiyatlardan kaynaklı ceza maliyetlerini kapsayan toplam maliyetleri enküçüklemektir. Modelleme için tamsayılı programlama kullanmışlardır. Bir çapraz sevkiyat terminali içerisindeki kapı atama problemini en verimli şekilde eniyilemek için Uyarlanabilir Tabu Arama Algoritmasını önermişlerdir. Hem etkinlik hem de etkililiğini ölçmek için de CPLEX çözücü kullanarak hesaplamalar yapmışlardır. Uyarlanabilir Tabu Arama Algoritmasının, CPLEX çözücüden daha iyi çözümler elde ettiği ve daha az zaman harcadığı görülmüştür. Önerilen algoritma sayesinde yanıt süresi azaltılarak müşteri memnuniyetinin arttırılabileceğini ve envanter maliyetlerinin azaltılabileceğini bulmuşlardır.

Tarhini ve Makki (2014), bir çapraz sevkiyattaki kapı atama problemini incelemişlerdir. Problemin amacı, kapılar arasındaki taşıma mesafesini enküçüklemektir. Problemin çözümü için evrimsel meta-sezgisel olan Dağınık Arama Algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen test sonuçlarını, Genetik Algoritma ile çözümden elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Bu kıyaslama sonucunda Dağınık Arama Algoritması, Genetik Algoritmadan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Wisittipanich ve Hengmeechai (2015), tam zamanında taşıma konseptine göre çoklu boşaltma ve yükleme kapısı bulunan bir çapraz sevkiyatta kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemini bir arada ele almışlardır. Problemi, karma tamsayılı programlama ile modellemişlerdir. Kamyonların toplam erken gelme ve toplam gecikme zamanlarını enküçüklemeyi amaçlayarak taşıma operasyonlarını çizelgelemeye çalışmışlardır. Problemin çözümü için Çok Amaçlı Diferansiyel Evrim Algoritması meta-sezgiselini kullanmışlardır. Çok Amaçlı Diferansiyel Evrim Algoritmasını, 15 test problemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Çok Amaçlı Diferansiyel Evrim Algoritması ile bir dizi farklı ve yüksek kaliteli baskın olmayan çözümler bulmuşlardır.

Fatthi vd. (2016), çalışmalarında çapraz sevkiyat deposunda giriş aşamasındaki işlem görme sürelerini dikkate alan kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemini ele almaktadırlar. Problemin amacı, kamyonların toplam işlem sürelerini enküçüklemektir ve böylelikle depolarda kamyonların bekleme sürelerini azaltmaktır. Bunun için karma tamsayılı programlama modelini önermişlerdir. Önerdikleri modelin mantıksal açıdan doğru olduğunu anlayabilmek için bir ön hesaplama yapmışlardır. Bu modelde kamyonların varış süreleri dinamik olarak ele alınıp varış anında bilindiği varsayılmaktadır. Bu nedenle model gerçek zamanlı bir model olarak ele alınmıştır. Modelin; gelen operasyonları yönetmede geleneksel depo, dağıtım merkezi veya üretim tesisi tarafından uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca modelin, ulaşım araçlarının depolardaki veya servis istasyonlarındaki işlen süreleri ve müşteri hizmet süreleri gibi hizmet sürelerini de enküçüklediğini söylemişlerdir.

Küçükoğlu ve Öztürk (2016), kapı atama probleminin çapraz sevkiyatta ağ tasarımı ile entegre edildiği bir taşıma problemini incelemişlerdir. Problemin amacı, tedarikçilerden müşterilere varana kadarki toplam taşıma maliyetlerini enküçüklemektir. Problem ayrıca gelen ve giden kamyonların yükleme planlarını ve çapraz sevkiyat terminalindeki ürünlerin atanmasını da incelemektedir. Problem için karma tamsayılı doğrusal programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için Genetik Algoritma önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Genetik Algoritma ile çapraz sevkiyat ağlarında malzeme akış yönetimi için kapsamlı bir plan elde etmişler ve ayrıca kısa süreli bir çözüm sürecinde etkili sonuçlar elde etmişlerdir.

Nassief vd. (2016), benzer ürünleri taşıyan hem gelen kamyonlardan ürünlerin boşaltılmasına hem de giden kamyonlara ürünlerin yüklenmesine en iyi şekilde karar vermeye çalışan bir kapı atama problemini incelemişlerdir. Böylelikle çapraz sevkiyat terminalindeki malzemelerin taşınmasının maliyeti enküçüklenecektir. Problem için doğrusal karma tam sayılı programlama modelini kullanmışlardır. Bu modelde başlangıç noktasından varış noktasına kadar ürünlerin olası güzergahlarını belirlemek için yol tabanlı değişkenler kullanmışlardır. Problemin asıl amacı, malzemelerin ve ekipmanların taşınmasından kaynaklı toplam elleçleme maliyetlerini enküçüklemektir. Problem çok fazla değişkenden ve kısıtlamadan oluştuğu için en iyi çözüm değerini belirli bir sınır değerleri arasına alabilmek için Lagrangean Gevşeme Algoritmasını kullanmışlardır. Atama problemine yönelik çözüm arayışında olan yazarlar, alt sınır optimizasyonunu kullanarak sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntem, her iterasyonda ilkel bir sezgisel yaklaşım kullanmaktadır. Farklı test boyutları için CPLEX üzerinde sezgisel yöntemini ve Lagrangean Gevşeme Algoritmasını karşılaştırmışlardır. Büyük boyutlu test problemlerini üç kümeye bölmüşler ve her biri 20 test içeren toplamda 60 test problemi kullanmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Lagrangean Gevşeme Algoritmasının küçük CPU zamanlarında bile yüksek kaliteli çözümler bulduğu ve 50 başlangıç noktası, 50 varış noktası, 30 boşaltma kapısı ve 30 yükleme kapısı için dikkate alınan test problemlerinde iyi performanslar gösterdiği görülmüştür.

Tarhini vd. (2016), Tarhini ve Makki (2014)'nin çalışmalarından farklı olarak gelen kamyonların boşaltma kapıları yerine yükleme kapılarına atandığı bir kapı atama problemini ele almışlardır. Problemin amacı, gelen kamyondan giden kamyona ürünler taşınırken taşıma gereçlerinin taşınma mesafelerini enküçüklemektir. Problemin çözümü için Dağınık Arama Algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları Genetik Algoritmadan elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Kıyaslama sonucunda, Dağınık Arama Algoritması, farklı referans setlerine sahip büyük boyutlu test problemlerinde Genetik Algoritmadan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Enderer vd. (2017), çalışmalarında çapraz sevkiyat terminalinde kapı atama problemi ile araç rotalama problemini bir arada ele almışlardır. Çalışmalarının amacı, toplam malzeme

elleçleme ve taşıma maliyetlerini birlikte ele alarak toplam taşıma maliyetlerini enküçüklemektir. Problem için iki karma tamsayılı programlama model sunmuşlar ve bu iki modeli karşılaştırmışlardır. En iyi sonuç verebilecek olan model için Sütun Oluşturma Algoritmasını kullanmışlar ve problemin optimal çözümü için alt ve üst sınırları elde etmek amacıyla üç aşamalı sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. 20 başlangıç noktası ve 50 varış noktasına kadar olan test problemlerini çözmüşler, kıyaslamışlar ve önerdikleri algoritmaların verimliliğini test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre maliyetlerde önemli tasarruflar sağlandığını bulmuşlardır.

Konur ve Golias (2017)'ın yaptığı çalışma, işçi sayılarının yükleme süreleri üzerindeki etkisini araştıran kapı atama problemini ele almaktadırlar. Yazarlar yükleme kapılarına atanan işçilerin sayısının yükleme sürelerine etkisi olup olmadığını araştırarak işçilik maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Problem için doğrusal olmayan tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Modelin karmaşıklığından dolayı iki Evrimsel Sezgisel Yöntem önermiş ve karşılaştırmışlardır. İlk evrimsel sezgisel yöntemi, kamyonların kapılara atanması için, ikinci evrimsel sezgisel yöntemi ise işçilerin kapılara atanması için geliştirmişlerdir. Evrimsel yöntem olarak Genetik Algoritmayı kullanmışlardır. Evrimsel yöntemlerin çözüm süresi açısından oldukça verimli olduğu ve işçilerin kapılara atanmasına dayalı Genetik Algoritmanın kamyonların kapılara atanmasına dayalı Genetik Algoritmaya göre daha kaliteli çözümler sunduğunu bulmuşlardır.

Nassief vd. (2018), gelen kamyonların boşaltma kapılarına ve giden kamyonların yükleme kapılarına atamasının belirli olduğu kapı atama problemini ele almışlardır. Problemin amacı, toplam elleçleme maliyetleri de dahil olmak üzere toplam maliyetleri enküçüklemektir. Daha önceden geliştirdikleri problemin modeli ile karşılaştırmak için iki yeni karma tamsayılı programlama modelini önermişlerdir. Bu modellerden birinde, doğrusal gevşemeyi çözmek için Sütun Oluşturma Algoritmasını kullanmışlardır. Modellerin performanslarını, test problemlerini kullanarak kıyaslayabilmek için hesaplamalar yapmışlardır. Ayrıca birkaç parametre için de duyarlılık analizi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Sütun Oluşturma Algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Çapraz sevkiyatta kapı atama problemi için Nassief (2018) tarafından önerilen matematiksel model (ÇSKA) ve bu modele ait indisler, parametreler, karar değişkenleri 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: r 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

Kısıtlar:

$$\sum_i x_{mi} = 1 \qquad \forall m \in M \tag{3.1}$$

$$\sum_j y_{nj} = 1 \qquad \forall n \in N \tag{3.2}$$

$$\sum_m s_m x_{mi} \leq C_i^B \qquad \forall i \in I \tag{3.3}$$

$$\sum_n r_n y_{nj} \leq C_j^Y \qquad \forall j \in J \tag{3.4}$$

$$\sum_j f_{mij} = s_m x_{mi} \qquad \forall m \in M, i \in I \tag{3.5}$$

$$\sum_i f_{mij} = \sum_n w_{mn} y_{nj} \qquad \forall m \in M, j \in J \tag{3.6}$$

$$x_{mi} \in \{0,1\} \qquad \forall m \in M, i \in I \tag{3.7}$$

$$y_{nj} \in \{0,1\} \qquad \forall n \in N, j \in J \tag{3.8}$$

$$f_{mij} \geq 0 \qquad \forall m \in M, i \in I, j \in J \tag{3.9}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$enk\ z = \sum_m \sum_i s_m u_i x_{mi} + \sum_m \sum_i \sum_j t_{ij} f_{mij} + \sum_n \sum_j r_n l_j y_{nj} \tag{3.10}$$

Denklem (3.1) her gelen kamyonun bir boşaltma kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (3.2) her giden kamyonun bir yükleme kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (3.3) ve (3.4) kapılara ait kapasite kısıtlarıdır. Denklem (3.5) ve (3.6), boşaltma ve yükleme kapıları için akış koruma kısıtlarıdır. Denklem (3.7)-(3.9) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır. Amaç fonksiyonu (3.10) boşaltma, taşıma ve yükleme süreleri toplamının enküçüklenmesidir.

Wang vd. (2018), çok kapılı bir çapraz sevkiyat terminalinde hem kamyon sıralama problemini hem de kapı atama problemini birlikte ele almışlardır. Problemin amacı, çapraz sevkiyattaki toplam işlem süresini enküçükleyerek en iyi kapı atamasını ve kamyon sıralamasını bulmaktır. Problem için karma tamsayılı doğrusal programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için Harmoni Arama Algoritması, Geliştirilmiş Harmoni Arama Algoritması ve Genetik Algoritma olmak üzere üç meta-sezgisel yöntem önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi çözüm aramada Geliştirilmiş Harmoni Arama Algoritması, Harmoni Arama Algoritmasına göre daha iyi performans göstermiştir. Genetik Algoritma ise en iyi sonuçları sağlarken, Geliştirilmiş Harmoni Arama Algoritması hesaplama süresinde daha iyi performans göstermiştir. İşlem süresi için ise Harmoni Arama Algoritması en iyi performansı göstermiştir.

Guemri vd. (2019), Zhu vd. (2009)'nın çalışmalarını başka bir açıdan ele alarak bir kapı atama problemi üzerinde çalışmışlardır. Her boşaltma ve yükleme kapısının kapasite kısıtlamasının yanı sıra her başlangıç ve varış noktasının da yalnızca bir boşaltma ya da bir yükleme kapısına atanmasını gerektiren kısıtlamayı da ekleyerek problemi ele almışlardır. Problemin amacı, toplam elleçleme maliyetlerinin enküçüklenmesidir. Problem için karma tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için Olasılık Tabu Arama Algoritmasına dayalı yeni iki sezgisel yöntem önermişlerdir. İki sezgisel yöntemi, literatürdeki 99 test problemi üzerinden değerlendirmişler ve sonuçlara göre daha az çözüm süresi elde etmişlerdir. Daha önceki çalışmalarda en iyi bilinen 45 çözüme ulaşarak ve en iyi bilinen 53 yeni çözümü keşfederek bu iki sezgisel yöntemin son teknoloji yaklaşımlarından daha iyi performanslar elde ettiğini bulmuşlardır.

Li vd. (2019), kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemlerine odaklanmışlardır. Problemin amacı çapraz sevkiyatın işlem süresini enküçüklemektir. Problemin çözümü için Genetik Algoritma ve Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonunu önermişlerdir. Bu iki algoritmanın etkinliğini üç ölçekte (küçük, orta ve büyük) değerlendirmek için en uygun tamamlanma süresini, ortalama tamamlanma süresini ve ortalama çözüm süresini faktör olarak varsaymışlardır. Daha sonrasında karma modlu kapı konseptini öne sürmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, algoritmanın güvenilirliğini test sonuçları ile doğrulamışlardır. İlk olarak Genetik Algoritma ve Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonunu çözmüşlerdir. Küçük ölçekli çapraz sevkiyatta Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun, orta ve büyük

ölçekli çapraz sevkiyatta ise Genetik Algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. İkinci olarak ise karma kapıların etkisini analiz etmişlerdir. Karma kapı oranı %13 olduğunda en uygun tamamlanma süresinin en iyi olduğunu, diğerlerinde bir değişiklik olmadığını gözlemlemişlerdir. Kapı oranı %50 olduğunda ise ortalama tamamlanma süresi, ortalama çözüm süresi ve en uygun tamamlanma süresinin artacağını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak karma kapı modu için en uygun olanın orta büyüklükteki çapraz sevkiyatların olduğuna ulaşmışlardır.

Miao vd. (2019); kamyonların kapasitesini, kamyonların zaman pencerelerini ve işlem sürelerini dikkate alan çapraz sevkiyat sisteminde kapı atama problemini ele almışlardır. Problemin amacı işlem maliyetlerinin ve ceza maliyetlerinin de dahil olduğu toplam maliyetlerin enküçüklenmesidir. Problem için tamsayılı programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için iki aşamalı Genetik Algoritma önermişlerdir ve elde edilen sonuçları CPLEX çözücüsünden elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Ele edilen sonuçlara göre, Genetik Algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır. Bu sonuçlar, uygulamada karar verme sürecini hızlandırabilmekte ve en uyguna yakın bir kapı ataması planını kısa bir süre içerisinde verebilmektedir.

Rijal vd. (2019), kamyon çizelgeleme ve kapı atama problemini birlikte ele almışlardır. Ele aldıkları problem için kapılar, U şeklindeki çapraz sevkiyat terminalinde karma bir servis modu için hizmet vermektedir (Karma servis modunda kapılar hem boşaltma hem de yükleme kapısı olabilmektedir.) Problemin amacı, gelen kamyonlardan giden kamyonlara aktarılan ürünler için taşıma maliyetlerinin, giden kamyonlara yüklenmeden önceki geçici depolamadaki ürünlerin bekleme maliyetlerinin ve giden kamyonların toplam gecikme maliyetlerinin birleşiminden oluşan toplam maliyeti enküçüklemektir. Problem için bir karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problemin çözümü için Komşu Arama Algoritması kullanmışlardır. Önerilen yaklaşım ile karma servis modundaki kapıların yerlerini ve toplam sayılarını belirlemişlerdir. Problemin çözümü sonucunda, sıralı bir yönteme kıyasla Komşu Arama Algoritmasının çapraz sevkiyat sisteminde işletme maliyetlerini %12 oranında azalttığını bulmuşlardır.

Wang ve Alidaee (2019), çok katlı bir çapraz sevkiyattaki kapı atama problemini ele almışladır. Problemin amacı boşaltma ve yükleme kapısı arasındaki yüksek hacimli

ürünlerin taşınmasındaki toplam elleçleme maliyetini enküçüklemektir. Problem için karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelini kullanmışlardır. Problemin çözümü için çok başlangıçlı, genetik rastgele anahtarlı ve çok büyük ölçekli olmak üzere üç çeşit için Komşu Arama Algoritması ve Tabu Arama Algoritmasının kombinasyonunu kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre üç çeşidi de birleştiren algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Vahdani ve Shahramfard (2019), kapıların karma servis modunda hizmet verdiği bir çapraz sevkiyat terminali için gerçek zamanlı kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Problemin amacı kamyon bekleme, depolama ve sipariş gecikme sürelerinin de dahil olduğu toplam maliyetleri enküçüklemektir. Problemin çözümü için Genetik Algoritma ve Emperyalist Rekabetçi Algoritması olmak üzere iki meta-sezgisel algoritma önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmaların farklı performans özellikleri gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Önerilen yaklaşımın gelişmiş hassasiyet göstermesine rağmen amaç fonksiyonunda artışa neden olduğunu bulmuşlardır.

Zhang vd. (2019), kapı atama problemini ele almışlardır. Problem için tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Problemin çözümü için İkili Karınca Koloni Algoritmasını kullanmışlardır. Problemin amacı olarak koloniler, taşıma maliyetlerini enküçüklemek için boşaltma ve yükleme kapılarına en uygun atamayı yapmaya çalışmaktadır. Önerilen algoritmaya, boşaltma ve yükleme kapılarının atamalarını eniyilemek için Yerel Arama Yöntemini de eklemişlerdir. Problemi, farklı test problemlerinin farklı boyutlarında test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre İkili Koloni Karınca Algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Gelareh vd. (2020), kapı atama problemi için 8 yeni karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir ve önerilen modellerle birlikte 11 modelin matematiksel eşdeğerliğini incelemişlerdir. Problemin amacı, kamyonların kapılara en iyi şekilde atanmasını sağlamaktır ve toplam taşıma maliyetinin enküçüklenmesidir. 11 model arasından en iyisini bulmak için literatürdeki test problemleri ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kendi sundukları modellerden birinin en iyi modellerden biri olduğunu bulmuşlardır.

Sayed vd. (2020), gelen kamyonların boşaltma kapılarına ve giden kamyonların da yükleme kapılarına atanmasını ve çizelgelenmesini eş zamanlı olarak belirlemek için kapı atama problemi ile kamyon çizelgeleme problemini bir arada ele almışlardır. Problemin amacı toplam işlem süresini enküçüklemektir. Elleçleme sürelerinin; kamyon yüküne ve kapıya bağlı olduğunu ve ürünlerin boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerini de içerdiğini varsaymaktadırlar. Problem için iki tane doğrusal programlama modeli kullanmışladır. Problemin çözümü için Yinelemeli Yerel Arama Algoritması ve Değişken Komşu İniş Algoritması olmak üzere iki tane meta-sezgisel önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen algoritmaların yüksek kaliteli performans gösterdiğini ve Yinelemeli Yerel Arama Algoritmasının, Değişken Komşu İniş Algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Daquin vd. (2021), kamyon sayılarının kapı sayılarını aştığı bir kapı atama problemini ele almışlardır. Problemin amacı, teslimat ceza maliyetlerinden kaçınarak çapraz sevkiyat içerisindeki ürünlerin ceza maliyetlerinin ve taşıma maliyetlerinin birleşiminden oluşan toplam maliyeti enküçüklemektir. Miao vd. (2009)'nın çalışmalarında kullandıkları modeli baz alarak bir tane tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problemin çözümü için Değişken Komşuluk Arama Algoritmasını kullanmışlardır. Çeşitli Değişken Komşuluk Arama Algoritma yapılarını karşılaştırıp hangisinin daha iyi sonuç verdiğini bulmaya çalışmışlardır.

Essghaier vd. (2021), tedarikçiler arasında yatay iş birliğine izin veren paylaşımlı bir çapraz sevkiyat terminalindeki bir kapı atama problemini ele almaktadırlar. Problemde yatay iş birliğinde amaç, operasyonel riskleri ve belirsizlikleri yöneterek maliyetlerin azaltılması ve hizmet seviyesinin artırılması gibi ortak hedeflerin gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle çalışmalarında kapı atama problemi ile yatay iş birliğini entegre ederek toplam maliyetleri azaltılmak amacıyla bir model oluşturmuşlardır. Bu maliyetler, gelen ve giden kapılar arasındaki paletlerin taşınma maliyetini, geç teslim edilen ürünler için ceza maliyetlerini ve her bir tedarikçinin terminaldeki kapıları kiralama maliyetlerini kapsamaktadır. Ayrıca terminal içerisindeki paletlerin belirsiz hareket sürelerini inceleyebilmek için bulanık üçgensel sayıları kullanmışlardır. Bulanık Şans Kısıtlı Optimizasyonunu, modeli kesin çözüm algoritması ile çözülebilmek için modelin durulaştırılması için önermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre karar verici eğer gerçekçi davranırsa, belirsizlik anında beklenmedik

değişikliklerle daha iyi başa çıkıldığını ve işbirliğinin daha fazla ekonomik kazanç sağladığını gözlemlemişlerdir.

Ghomi vd. (2022), çapraz sevkiyat terminali içerisindeki forklift kullanımını en üst düzeye çıkararak kapı atama problemlerinde performansı ve verimliliği eniyilemeyi amaçlamaktadır. Problemin çözümü için karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelini kullanmışlardır. Problemin amaç fonksiyonu, az kullanılan forkliftlerden kaynaklı ceza maliyetlerini, forkliftlerin toplam taşıma mesafelerinin maliyetlerini ve toplam ağırlıklı boşaltma, yükleme ve operatör maliyetlerini de içine alan toplam taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesidir. Problemin diğer amacı ise, çapraz sevkiyat terminalindeki kapılar arasındaki ürünlerin taşınması için gerekli toplam forkliftlerin sayısını enküçükleyerek forklift kaynaklı tıkanıklığın azaltılmasıdır. Problemin çözümü için Tabu Arama Algoritmasını ve En İyi Yerel Nokta Bulucu Algoritmasını kullanılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kullandıkları algoritmaların CPLEX çözücüden daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Çizelge 3.1'de çapraz sevkiyatta kapı atama problemi konusunda yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda amaç fonksiyonu olarak toplam maliyetin veya toplam mesafenin enküçüklenmeye çalışıldığı, kapı olarak hem boşaltma hem de yükleme kapılarının birlikte ele alındığı ve model olarak ise karma tam sayılı programlama modelinin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca erişilebilen literatür incelendiğinde işçi ile alakalı konuları doğrudan ya da dolaylı bir şekilde ele alan çalışmaların sadece 5 tane olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Gue (1999)'nun boşaltma kapısındaki en düşük işçi maliyetini elde etmek amacıyla en iyi yerleşim düzenine ulaşmayı amaçlayan çalışması
- Bartholdi ve Gue (2000)'nun hem boşaltma hem de yükleme kapılarındaki işçilik maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlayan çalışması
- Brown (2003)'un hem boşaltma hem de yükleme kapılarındaki taşıma mesafesini, darboğaz süresini ve işçilik sürelerini enküçüklemeyi amaçlayan çalışması
- Rosales ve Fry (2009)'ın boşaltma kapısındaki işgücü maliyetlerini de içerisine dahil ettiği toplam operasyonel maliyetleri enküçüklemeyi amaçlayan çalışması

- Konur ve Golias (2017)'ın yükleme kapısındaki işçi sayılarının yükleme süreleri üzerindeki etkisini araştıran çalışması

Çapraz sevkiyattaki boşaltma, taşıma ve yükleme faaliyetleri yoğun işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle sistemin genel olarak etkinliği için işçi sayılarının etkin bir şekilde dağılımı çok önemlidir. İşçilerin çapraz sevkiyattaki önemine rağmen yukarıdaki 5 çalışmadan sadece 2 tanesi; işçi sayılarının boşaltma, taşıma ve/veya yükleme sürelerine etkisi ile ilgilenmektedir (Bartholdi ve Gue, 2000; Konur ve Golias, 2017). İkisinde de işçi sayıları model tarafından belirlenmektedir.

Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyatta kapı atama probleminin dikkate alındığı çalışmalar

Çalışma	Amaç Fonksiyonu	Kapı	Çözüm Yöntemi
Essghaier vd. (2021)	Toplam Maliyet	Y, B	FCCO
Daquin vd. (2021)	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Miao vd. (2009)	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Miao vd. (2014)	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Miao vd. (2019)	Toplam Maliyet	Y, B	IP
Nassief vd. (2018)	Toplam Maliyet	Y, B	MIP
Rijal vd. (2019)	Toplam Maliyet	Y, B	MIP
Zhu vd. (2009)	Toplam Maliyet	Y, B	QAP
Vahdani ve Shahramfard (2019)	Toplam Maliyet	Y, B	-
Tsui ve Chang (1990)	Taşıma Mesafesi	Y, B	BP
Tsui ve Chang (1992)	Taşıma Mesafesi	Y, B	BP
Lim vd. (2006)	Taşıma Mesafesi	Y, B	IP
Guignard vd. (2012)	Taşıma Mesafesi	Y, B	MIP
Cohen ve Keren (2009)	Taşıma Mesafesi	Y, B	QAP
Aickelin ve Adewunmi (2008)	Taşıma Mesafesi	Y, B	SM
Bermudez ve Cole (2001)	Taşıma Mesafesi	Y, B	-
Tarhini vd. (2016)	Taşıma Mesafesi	Y, B	-
Tarhini ve Makki (2014)	Taşıma Mesafesi	Y, B	-
Zhang vd. (2019)	Taşıma Maliyeti	Y, B	IP
Enderer vd. (2017)	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Gelareh vd. (2020)	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Küçükoğlu ve Öztürk (2016)	Taşıma Maliyeti	Y, B	MIP
Sayed vd. (2020)	Toplam Süre	Y, B	LP
Shakeri vd. (2008)	Toplam Süre	Y, B	MIP
Wang vd. (2018)	Toplam Süre	Y, B	MIP
Kuo vd. (2013)	Toplam Süre	Y, B	-
Li vd. (2019)	Toplam Süre	Y, B	-
Wang ve Alidaee (2019)	Elleçleme Maliyetleri	Y, B	MINLP
Guemri vd. (2019)	Elleçleme Maliyetleri	Y, B	MIP
Nassief vd. (2016)	Elleçleme Maliyetleri	Y, B	MIP
Yu vd. (2008)	Taşıma Süresi	Y, B	LP
Peck (1983)	Taşıma Süresi	Y, B	MIP

Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyatta kapı atama probleminin dikkate alındığı çalışmalar (DEVAM)

Çalışma	Amaç Fonksiyonu	Kapı	Çözüm Yöntemi
Lee vd. (2012)	Ürün Miktarı	Y, B	MIP
Bartholdi ve Gue (2000)	İşçilik Maliyetleri	Y, B	IP
Stephan ve Boysen (2011)	Operasyonel Performans	Y, B	SM
Wisittipanich ve Hengmeechai (2015)	Toplam Gecikme, Toplam Erken Varma	Y, B	MIP
Ghomi vd. (2022)	Taşıma Maliyeti, Tıkanıklık	Y, B	MINLP
Bozer ve Carlo (2008)	Elleçleme İş Yükü, Tıkanıklık	Y, B	MIP, QAP
Luo ve Noble (2012)	Bekleme Süresi, Taşıma Maliyeti, Bekleme Maliyeti	Y, B	MINLP
Brown (2003)	Darboğaz Süresi, İşçilik Süreleri ve Taşıma Mesafesi	Y, B	SM
Fatthi vd. (2016)	Toplam Süre	B	MIP
Gue (1999)	Taşıma Mesafesi	B	LP
Acar vd. (2012)	Taşıma Süresi	B	MIQP
Rosales ve Fry (2009)	Toplam Maliyet	B	MIP
Bartz-Beielstein vd. (2006)	Taşıma Süresi, Bekleme Süreleri	B	MOP
Liao vd. (2013)	Toplam Gecikme	B	-
Oh vd. (2006)	Taşıma Mesafesi	Y	NLP
Konur ve Golias (2017)	İşçilik Maliyetleri	Y	MINLP
Jarrah vd. (2014)	Değişkenlik Sayısı, Yükleyici Sayısı, Dengeli İş Yükü	Y	MOP, MIP

Y: yükleme, B: boşaltma, LP: Doğrusal Programlama, IP: Tamsayılı Programlama, MIP: Karma Tamsayılı Programlama, NLP: Doğrusal Olmayan Programlama, SM: Benzetim Modeli, QAP: Karesel Atama Programlama, MOP: Çok Amaçlı Programlama, DP: Dinamik Programlama, MIQP: Karma Tamsayılı Karesel Programlama, MINLP: Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama, FCCO: Bulanık Şans Kısıtlı Optimizasyon, BP: Çift Sayılı Doğrusal Programlama

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Çapraz sevkiyatın başarılı olabilmesi, malzemelere ve işçi gücüne bağlıdır (Apte ve Viswanathan, 2000). Yetenekli işçi gücü, uygun malzemelerin seçimi ve yönetimi çapraz sevkiyat için önemlidir. Yani çapraz sevkiyatın amacı işçi gücünü ve malzemeleri enküçüklemek için depolama ve geri alma (sipariş toplama) işlemlerini ortadan kaldırmaktır (Vogt, 2010). Bu nedenle bu çalışmada işçilerin sayısının boşaltma ve yükleme sürelerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu konuya dair geliştirilen matematiksel model ve bu modele ait bilgiler bu bölümün alt başlıklarında ayrıntılı olarak incelenmektedir.

4.1. Önerilen Matematiksel Model

Çapraz sevkiyatta işçi sürelerini dikkate alan kapı atama problemine dair geliştirilen modelin (ÇSİKA) varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Gelen kamyonlar boşaltma kapılarında ve giden kamyonlar ise yükleme kapılarında işlem görmektedir.
- İşçilerin kapılara atanması sabit değildir.
- Kamyonlar kapılara rastgele atanmıştır.
- Gelen kamyonlarının ve giden kamyonlarının sayısının boşaltma kapılarının ve yükleme kapılarının sayısının en az 2 katı kadar olduğu kabul edilmektedir.
- Kapılara atanan kamyonların sabit olmadığı, dinamik olduğu kabul edilmektedir.
- Yükleme ve boşaltma süreleri kapılara atanan işçi sayılarına bağlıdır ve her kapıya farklı sayıda işçi atanabilmektedir.
- Bir kapıya hiç işçi atanmamış ise o kapının hiç kullanılmayacağı anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda bu kapılara kamyon da atanamamaktadır.
- Toplam işçi sayısı sabit kabul edilmektedir. Kapılara atanan işçilerin toplamı, toplam işçi sayısını geçememektedir.
- Bir işçi sadece bir kapıya atanabilmektedir.

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

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

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. $g = \left\lceil \frac{\vartheta}{2} \right\rceil (\alpha + \beta)$

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

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.

Kısıtlar:

$$\sum_i x_{mi} = 1 \qquad \forall m \in M \tag{4.1}$$

$$\sum_j y_{nj} = 1 \qquad \forall n \in N \tag{4.2}$$

$$\sum_h p_{hi} \leq 1 \qquad \forall i \in I \tag{4.3}$$

$$\sum_h q_{hj} \leq 1 \qquad \forall j \in J \tag{4.4}$$

$$x_{mi} \leq \sum_h p_{hi} \qquad \forall m \in M, \forall i \in I \tag{4.5}$$

$$y_{nj} \leq \sum_h q_{hj} \qquad \forall n \in N, \forall j \in J \tag{4.6}$$

$$\sum_j f_{mij} = s_m x_{mi} \qquad \forall m \in M, i \in I \tag{4.7}$$

$$\sum_i f_{mij} = \sum_n w_{mn} y_{nj} \qquad \forall m \in M, j \in J \tag{4.8}$$

$$\sum_h \sum_m s_m b_{hmi} \leq C_i^B \qquad \forall i \in I \tag{4.9}$$

$$\sum_h \sum_n r_n d_{hnj} \leq C_j^Y \qquad \forall j \in J \tag{4.10}$$

$$\sum_h \sum_i h p_{hi} + \sum_h \sum_j h q_{hj} \leq g \tag{4.11}$$

$$p_{hi} \leq \sum_m b_{hmi} \qquad \forall h \in H, \forall i \in I \qquad (4.12)$$

$$x_{mi} \leq \sum_h b_{hmi} \qquad \forall m \in M, \forall i \in I \qquad (4.13)$$

$$b_{hmi} \geq p_{hi} + x_{mi} - 1 \qquad \forall h \in H, \forall m \in M, \forall i \in I \qquad (4.14)$$

$$q_{hj} \leq \sum_n d_{hnj} \qquad \forall h \in H, \forall j \in J \qquad (4.15)$$

$$y_{nj} \leq \sum_h d_{hnj} \qquad \forall n \in N, \forall j \in J \qquad (4.16)$$

$$d_{hnj} \geq q_{hj} + y_{nj} - 1 \qquad \forall h \in H, \forall n \in N, \forall j \in J \qquad (4.17)$$

$$x_{mi} \in \{0,1\} \qquad \forall m \in M, i \in I \qquad (4.18)$$

$$y_{nj} \in \{0,1\} \qquad \forall n \in N, j \in J \qquad (4.19)$$

$$p_{hi} \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H, \forall i \in I \qquad (4.20)$$

$$q_{hj} \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H, \forall j \in J \qquad (4.21)$$

$$b_{hmi} \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H, \forall m \in M, \forall i \in I \qquad (4.22)$$

$$d_{hnj} \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H, \forall n \in N, \forall j \in J \qquad (4.23)$$

$$f_{mij} \geq 0 \qquad \forall m \in M, i \in I, j \in J \qquad (4.24)$$

Amaç Fonksiyonu:

$$enk\ z = \sum_m \sum_h \sum_i s_m u'_h b_{hmi} + \sum_m \sum_i \sum_j t_{ij} f_{mij} + \sum_n \sum_h \sum_j r_n l'_h d_{hnj} \qquad (4.25)$$

Denklem (4.1) her gelen kamyonun bir boşaltma kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (4.2) her giden kamyonun bir yükleme kapısına atanmasını garanti etmektedir. Denklem (4.3) ve (4.4) sırasıyla boşaltma ve yükleme kapılarına atanacak işçi sayılarını belirlemektedir. Denklem (4.5) ve (4.6) bir kapıya işçi atanmamışsa kamyon da atanmamasını sağlamaktadır. Denklem (4.7) ve (4.8), boşaltma ve yükleme kapıları için akış koruma kısıtlarıdır. Denklem (4.9) ve (4.10) kapılara ait kapasite kısıtlarıdır. Denklem (4.11) kapılara atanan toplam işçi sayısına ait kapasite kısıtıdır. Denklem (4.12)-(4.17) doğrusallaştırma kısıtlarıdır. Denklem (4.18)-(4.24) karar değişkenlerine ait işaret

kısıtlarıdır. Amaç fonksiyonu (4.25) boşaltma, taşıma ve yükleme süreleri toplamının enküçüklenmesidir.

Önerilen matematiksel modelin çalışırlığı bir örnek üzerinde test edilmiştir. Örnek problemde 4 boşaltma kapısı, 4 yükleme kapısı, 8 gelen kamyon, 8 giden kamyon vardır. Bir kapıya en fazla 5 işçi atanabilmektedir. Örnek problemin parametrelerinden olan kapılar arası taşıma süreleri Çizelge 4.1'de ve gelen ve giden kamyonlar arası taşınacak yük miktarı ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

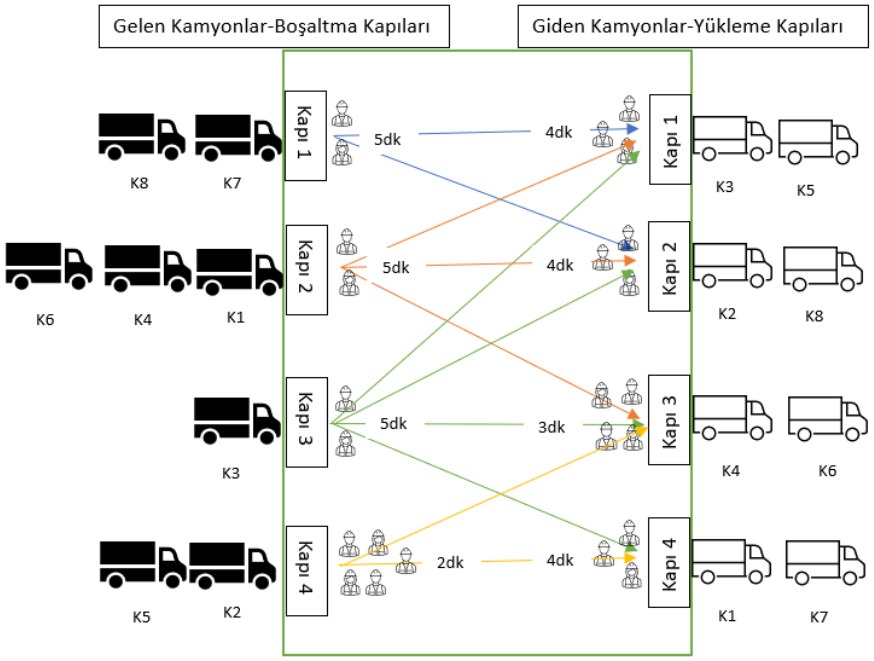
Çizelge 4.1. t_{ij} parametresi (dakika)

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

Çizelge 4.2. w_{mn} parametresi (adet)

	w_{mn}							
m/n	*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

Örnek problem önerilen matematiksel model ve GAMS 39.1.0 programı ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen modelin (ÇSİKA) amaç fonksiyonu değeri (z) 9977 dakika olarak bulunmuş ve örnek problemin eniyi çözümüne ise 5,72 saniyede ulaşılmıştır. Elde edilen çözüm Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Örnek problem için elde edilen çözüm

Şekil 4.1'den de görülebileceği gibi, yükleme sürelerinin boşaltma sürelerine kıyasla daha uzun sürmesi nedeniyle beklenildiği üzere 24 işçinin 11'i boşaltma kapılarına ve 13'ü de yükleme kapılarına atanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm kapsamında yapılan tüm testlerde, modeller, GAMS 39.1.0 ile kodlanmıştır. Ve 11th Gen Intel ® Core ™ i5-11300H @ 3.10 GHz işlemcisi 8 GB belleğe ve Windows 11 işletim sistemine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Bu bölümün ilk alt başlığında kullanılan test problemlerinin özellikleri ve nasıl türetildikleri açıklanmıştır. İzleyen alt başlıklarda ise sırasıyla, önerilen model ile farklı senaryolar için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı incelenmiştir.

5.1. Test Problemleri

Önerilen modeli test etmek için Guignard vd. (2012)'nın çalışmasından alınan 50 test problemi kullanılmıştır. Bu problemlerdeki kapı ve kamyon sayıları Çizelge 5.1'de verilmiştir. α, β, γ, δ, 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 $u'_1 \sim KDD\big(m, (m+n-3)\big)$ ve $l'_1 \sim KDD(n, (m+n-3))$ aralığında türetilmiştir. İki veya daha fazla işçi (h >1) için ise ilgili süreler sırasıyla (5.1) ve (5.2) numaralı formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$u'_h = 0{,}7\, u'_{h-1} \tag{5.1}$$

$$l'_h = 0{,}7\, l'_{h-1} \tag{5.2}$$

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

Çizelge 5.1. Test problemlerinin kapı ve kamyon sayıları

$\alpha - \gamma$	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

5.2. Önerilen Model ile Elde Edilen Sonuçların Senaryo-1 ve Senaryo-2'nin Sonuçları ile Karşılaştırılması

Kapılara atanan işçi sayılarını değişken ele almanın etkisini inceleyebilmek amacıyla işçi sayılarının sabit alındığı iki senaryo (S1 ve S2) tanımlanmıştır. S1 senaryosunda tüm kapılara 3 işçi atanırken, S2 senaryosunda boşaltma kapılarına 2, yükleme kapılarına 4 işçi atanmıştır. Önerilen modelde ise kapılara atanacak işçi sayıları model tarafından belirlenmektedir. Guignard vd. (2012)'nın çalışmasından alınan test problemleri hem Nassief (2018)'in modeli (ÇSKA) ile iki farklı senaryo için (S1 ve S2) hem de önerilen model (ÇSİKA) ile 7200 saniye süre limitiyle çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelge 5.2, dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde problem isimleri, sonraki bölümlerde ise sırasıyla her bir test probleminin ÇSKA modelinin S1 senaryosu ile, ÇSKA modelinin S2 senaryosu ile ve ÇSİKA modeli ile çözümü sonucunda elde edilen dakika cinsinden amaç fonksiyonu değeri (z), eniyi çözüme uzaklık yüzdesi (gap) ve saniye cinsinden çözüm süresi ($süre$) verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi ÇSİKA modeli ile süre limiti içinde 8x4, 9x4 ve 10x4 boyutlu problemlerinin eniyi çözümlerine, 10x5 boyutlu problemlerden ikisi ve daha büyük boyutlu problemler için ise uygun çözümlere ulaşılmıştır. İşçi sayısını sabit almayıp modelin belirlemesine izin vermenin sağladığı katkıyı gösterebilmek için, ÇSİKA modeli ile elde edilen sonuçlar ÇSKA-S1 ve ÇSKA-S2 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve iyileşme yüzdeleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelgede yer alan iyileştirme yüzdeleri ÇSKA-S1 için denklem (5.3)'de ÇSKA-S2 için denklem (5.4)'de verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\%\text{İ}yileşme\ ÇSKA-S1 = \frac{z_{ÇSKA-S1} - z_{ÇSİKA}}{z_{ÇSKA-S1}} 100 \tag{5.3}$$

$$\%\text{İ}yileşme\ ÇSKA-S2 = \frac{z_{ÇSKA-S2} - z_{ÇSİKA}}{z_{ÇSKA-S2}} 100 \tag{5.4}$$

Çizelge 5.2. Test sonuçları

	ÇSKA-S1			*ÇSKA-S2*			*ÇSİKA*		
Problem	*z*	*gap*	*süre*	*z*	*gap*	*süre*	*z*	*gap*	*süre*
8x4s5	9998.00	0.00	0.08	9998.00	0.00	0.06	9977.00	0.00	5.72
8x4s10	9993.00	0.00	0.09	9993.00	0.00	0.09	9954.00	0.00	14.52
8x4s15	9936.00	0.00	0.08	9936.00	0.00	0.08	9885.00	0.00	9.61
8x4s20	9307.00	0.00	0.09	9307.00	0.00	0.05	9214.00	0.00	14.30
8x4s30	9284.00	0.00	0.09	9284.00	0.00	0.08	9020.40	0.00	99.34
9x4s5	11631.00	0.00	0.12	11631.00	0.00	0.19	11607.00	0.00	15.66
9x4s10	12309.00	0.00	0.14	12309.00	0.00	0.12	12265.00	0.00	65.38
9x4s15	12258.00	0.00	0.12	12956.00	0.00	0.09	12258.00	0.00	95.72
9x4s20	12219.00	0.00	0.11	12219.00	0.00	0.14	12112.00	0.00	149.31
9x4s30	12186.00	0.00	0.19	12186.00	0.00	0.20	11635.20	0.00	235.41
10x4s5	13968.00	0.00	0.50	13968.00	0.00	0.59	13849.00	0.00	1179.41
10x4s10	13189.00	0.00	0.52	13934.00	0.00	0.45	13189.00	0.00	1154.20
10x4s15	13054.00	0.00	0.47	13799.00	0.00	0.53	13054.00	0.00	3972.77
10x4s20	13770.00	0.00	0.55	13770.00	0.00	0.42	13133.00	0.00	4780.86
10x4s30	13683.00	0.00	0.56	13683.00	0.00	0.36	12459.47	0.00	3905.28
10x5s5	14076.00	0.00	0.70	14076.00	0.00	0.83	14000.00	0.00	1078.88
10x5s10	13936.00	0.00	1.20	14682.00	0.00	1.53	13936.00	0.00	4654.72
10x5s15	13857.00	0.00	1.02	13857.00	0.00	1.12	13614.00	0.07	7200.00
10x5s20	13056.00	0.00	1.20	13802.00	0.00	0.89	13032.60	0.04	7200.00
10x5s30	13022.00	0.00	1.06	13768.00	0.00	1.16	12089.00	0.00	3393.86
11x5s5	17393.00	0.00	2.03	17393.00	0.00	3.53	17335.00	0.01	7200.00
11x5s10	17153.00	0.00	2.84	17153.00	0.00	2.42	16906.80	0.15	7200.00
11x5s15	17116.00	0.00	2.98	17116.00	0.00	3.03	16744.67	0.16	7200.00
11x5s20	17020.00	0.00	1.31	17020.00	0.00	1.27	16305.70	0.10	7200.00
11x5s30	17001.00	0.00	1.66	17001.00	0.00	2.12	14842.00	0.08	7200.00
12x5s5	19184.00	0.00	6.84	19184.00	0.00	4.56	19118.00	0.09	7200.00
12x5s10	19090.00	0.00	4.19	19090.00	0.00	7.31	18912.00	0.16	7200.00
12x5s15	18125.00	0.00	2.17	18125.00	0.00	4.50	17724.53	0.11	7200.00
12x5s20	18125.00	0.00	5.89	18125.00	0.00	4.95	17176.47	0.15	7200.00
12x5s30	18109.00	0.00	6.62	18109.00	0.00	6.41	15843.00	0.11	7200.00
12x6s5	23915.00	0.00	5.06	23915.00	0.00	4.77	23819.00	0.12	7200.00
12x6s10	27032.00	0.00	7.64	27032.00	0.00	7.58	26909.00	0.24	7200.00
12x6s15	24570.00	0.00	7.19	24570.00	0.00	5.61	24265.00	0.24	7200.00
12x6s20	26888.00	0.00	11.45	26888.00	0.00	9.33	26161.00	0.25	7200.00
12x6s30	25620.00	0.00	9.02	25620.00	0.00	6.83	22700.20	0.16	7200.00
15x6s5	35879.00	0.00	342.22	37447.00	0.00	241.98	36095.00	0.29	7200.00
15x6s10	37323.00	0.00	272.91	35755.00	0.00	199.92	35960.00	0.28	7200.00
15x6s15	35717.00	0.00	434.17	37285.00	0.00	587.75	35503.20	0.31	7200.00
15x6s20	37240.00	0.00	387.66	38808.00	0.00	351.59	35837.20	0.27	7200.00
15x6s30	35519.00	0.00	397.39	35519.00	0.00	314.36	31610.00	0.23	7200.00
15x7s5	39414.00	0.00	638.09	41038.00	0.00	584.53	39541.00	0.28	7200.00
15x7s10	39170.00	0.00	1300.81	37546.00	0.00	1674.00	37601.00	0.32	7200.00
15x7s15	37393.00	0.00	1162.61	37393.00	0.00	864.08	36716.83	0.30	7200.00
15x7s20	37250.00	0.00	1184.53	38874.00	0.00	569.64	35652.60	0.30	7200.00
15x7s30	38769.00	0.00	741.91	40393.00	0.00	645.70	35432.00	0.25	7200.00
20x10s5	100520.00	0.02	7200.00	100549.00	0.02	7200.00	101169.00	0.34	7200.00
20x10s10	90722.00	0.02	7200.00	87619.00	0.03	7200.00	88527.00	0.37	7200.00
20x10s15	96737.00	0.03	7200.00	96964.00	0.03	7200.00	94805.20	0.41	7200.00
20x10s20	99620.00	0.03	7200.00	99620.00	0.03	7200.00	92223.00	0.36	7200.00
20x10s30	96073.00	0.02	7200.00	96082.00	0.02	7200.00	80893.00	0.31	7200.00

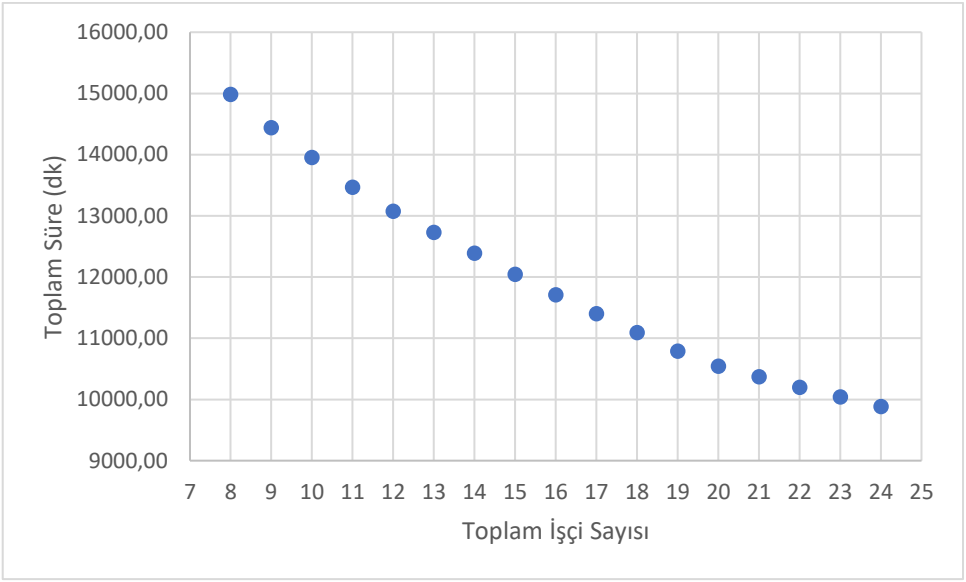
Çizelge 5.3. Test problemleri için iyileşme sonuçları

problem	*% İyileşme ÇKA-S1*	*% İyileşme ÇKA-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
Ortalama	3,14	4,02

Çizelge 5.3'ten de görülebileceği gibi, ÇSİKA ile elde edilen sonuçlar, ÇSKA-S1 ile elde edilen sonuçlara göre ortalama %3,14 ve ÇSKA-S2 ile elde edilen sonuçlara göre ise ortalama %4,02 daha başarılıdır. Enbüyük iyileşme oranı ÇSKA-S1 için %15,80 ve ÇSKA-S2 için ise %15,81 olarak gerçekleşmiştir.

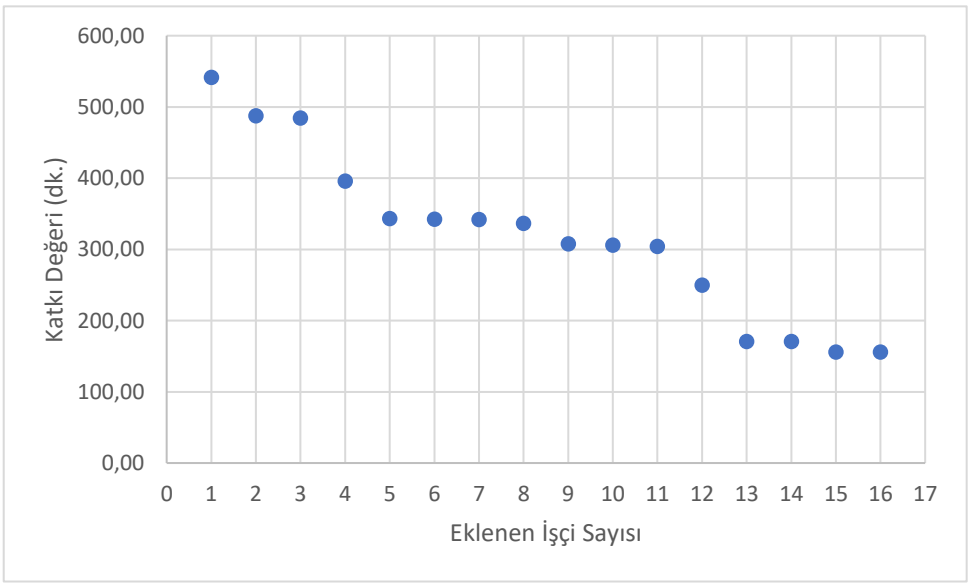
5.3. Toplam İşçi Sayısını Arttırmanın Katkısı

Toplam işçi sayısını arttırmanın katkısını inceleyebilmek amacıyla, toplam işçi sayısının değişebileceği aralık maksimum işçi sayısı üst sınır olarak ve kapı sayısı kadar işçi sayısı ise alt sınır olarak belirlenmiştir. Önerilen model bu aralıkta her tamsayı değer için çözülmüştür. Guignard vd. (2012)'nın çalışmasından alınan %15 aylaklık seviyesine sahip (s15) test problemleri önerilen model (ÇSİKA) ile çözülmüştür. Her bir test probleminden elde edilen sonuçlar ile iki grafik çizilmiştir. İlk grafiğin, yatay ekseninde toplam işçi sayısı ve dikey ekseninde ise amaç fonksiyonunun aldığı değer (toplam süre) gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar; Şekil 5.1, Şekil 5.3, Şekil 5.5, Şekil 5.7, Şekil 5.9, Şekil 5.11, Şekil 5.13, Şekil 5.15, Şekil 5.17 ve Şekil 5.19'da verilmektedir. İkinci grafikte ise yatay eksende toplam işçi sayısı ve dikey eksende bir işçi eklemenin amaç fonksiyonuna katkısı gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar; Şekil 5.2, Şekil 5.4, Şekil 5.6, Şekil 5.8, Şekil 5.10, Şekil 5.12, Şekil 5.14, Şekil 5.16, Şekil 5.18'de gösterilmektedir. 20x10s15 test problemi için, 21 işçi ve 30 işçi ile eniyi çözüme ulaşamamıştır; diğer tüm test problemlerinde eniyi çözüme ulaşılmıştır.



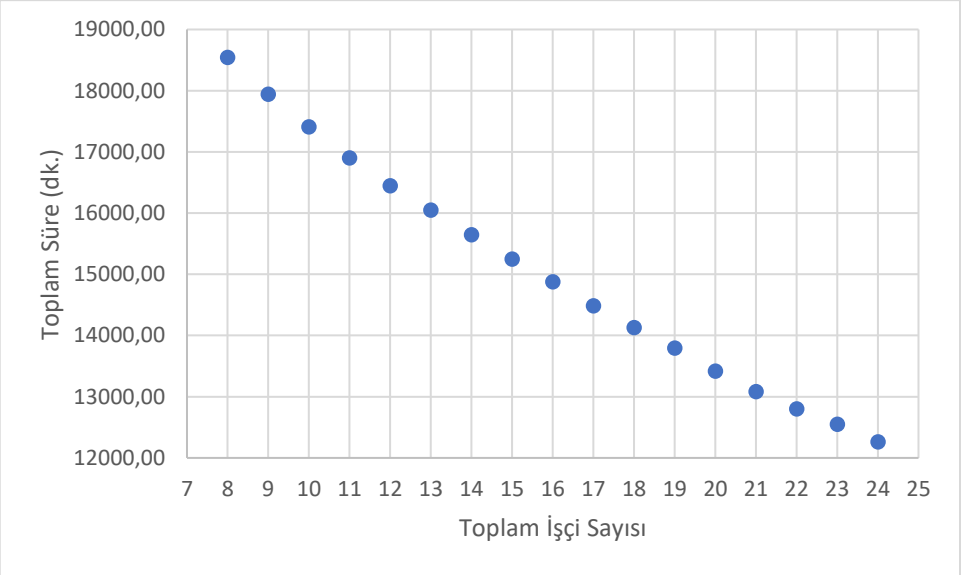
Şekil 5.1. 8x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

8x4s15 test probleminin toplam işçi sayısı 8 ile 24 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 8 iken toplam süre 14981,10 dakika olarak gerçekleşmiştir. 24 işçi ile bu değer 9885,00 dakikaya kadar düşmüştür.



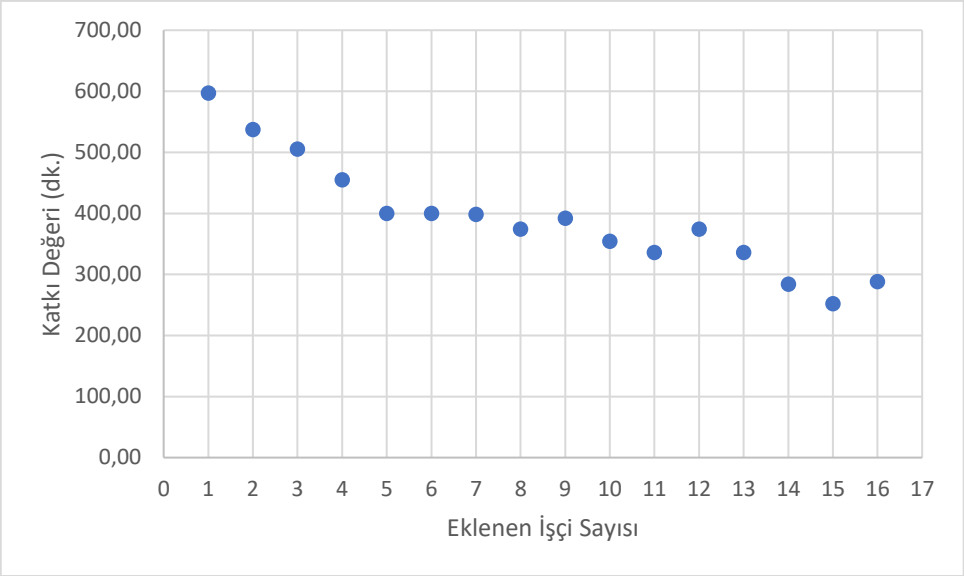
Şekil 5.2. 8x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği

8x4s15 test probleminde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.2'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 8 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkı 541,50 dakika iken, 9 işçi varken, 10. eklendiğinde bu katkı 487,67 dakikaya düşmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



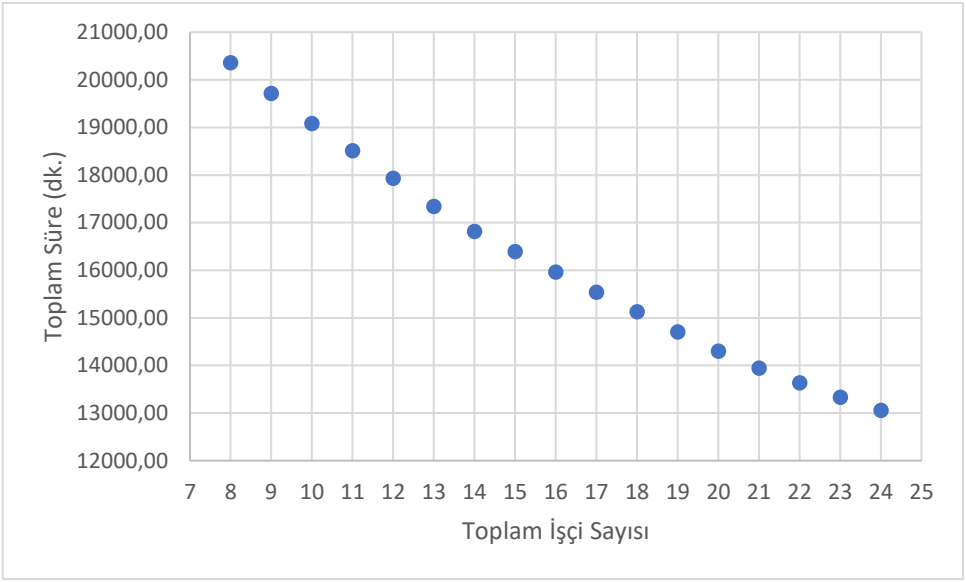
Şekil 5.3. 9x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

9x4s15 test probleminin toplam işçi sayısı 8 ile 24 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 8 iken toplam süre 18540,00 dakika olarak gerçekleşmiştir. 24 işçi ile bu değer 12258,00 dakikaya kadar düşmüştür.



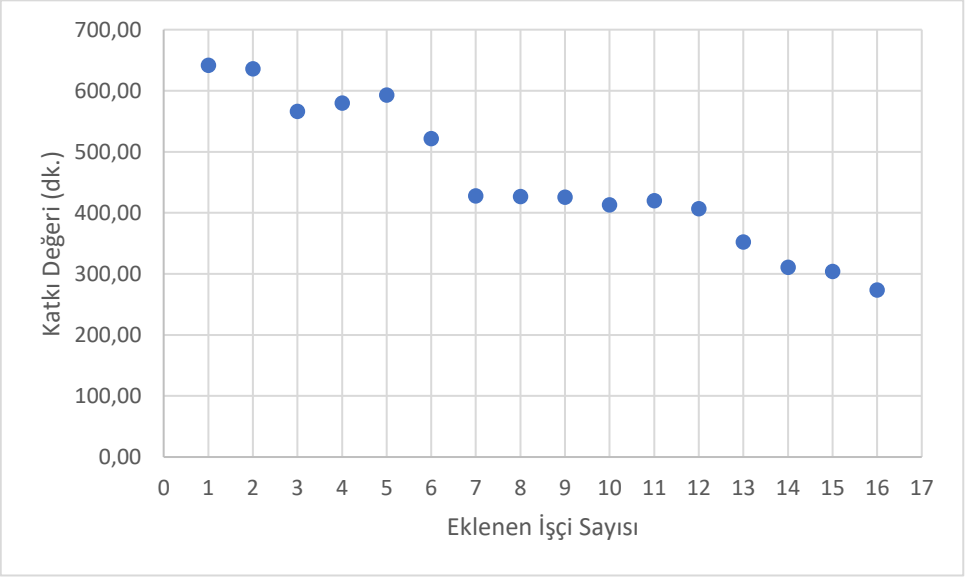
Şekil 5.4. 9x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

9x4s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.4'te verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 8 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkı 597,00 dakika iken, 9 işçi varken 10. eklendiğinde bu katkı 537,00 dakikaya düşmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi 16. işçiye bir işçi eklendiği ve 20. işçiye bir işçi eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



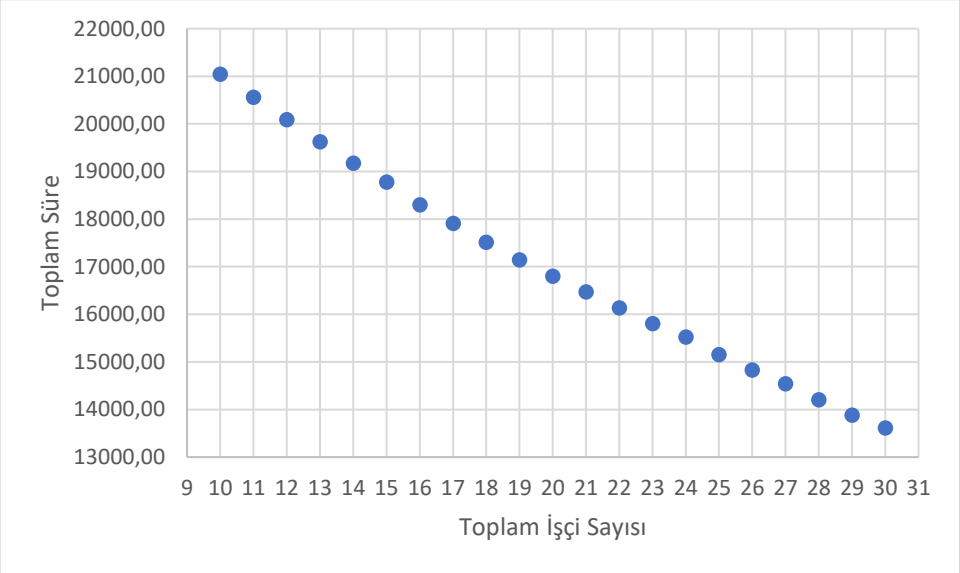
Şekil 5.5. 10x4s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

10x4s15 test probleminin toplam işçi sayısı 8 ile 24 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 8 iken toplam süre 20355,00 dakika olarak gerçekleşmiştir. 24 işçi ile bu değer 13054,00 dakikaya kadar düşmüştür.



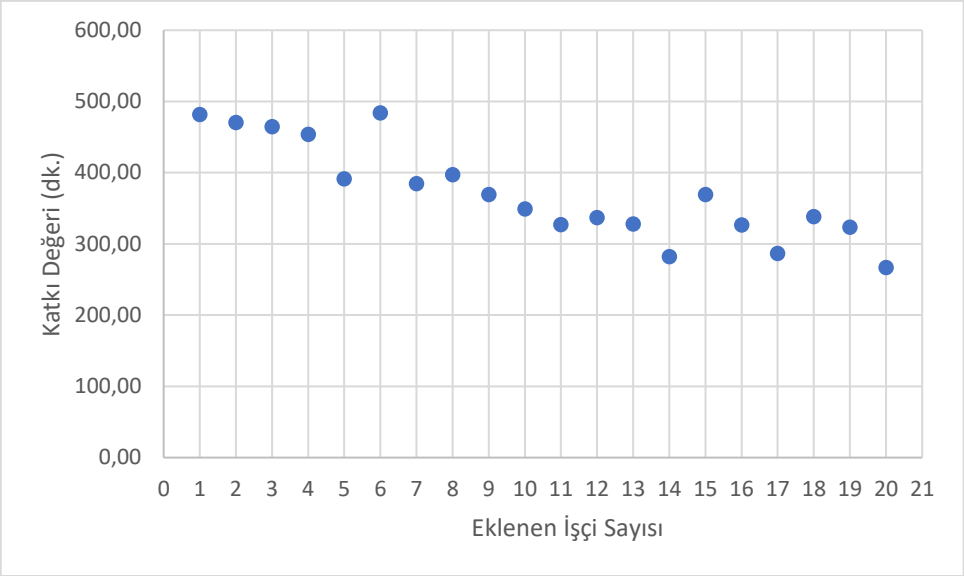
Şekil 5.6. 10x4s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği

10x4s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.6'da verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 8 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkı 642,00 dakika iken, 9 işçi varken, 10. eklendiğinde bu katkı 636,00 dakikaya düşmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi 11. işçiye bir işçi eklendiği, 12. işçiye bir işçi eklendiği ve 17. işçiye bir işçi daha eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



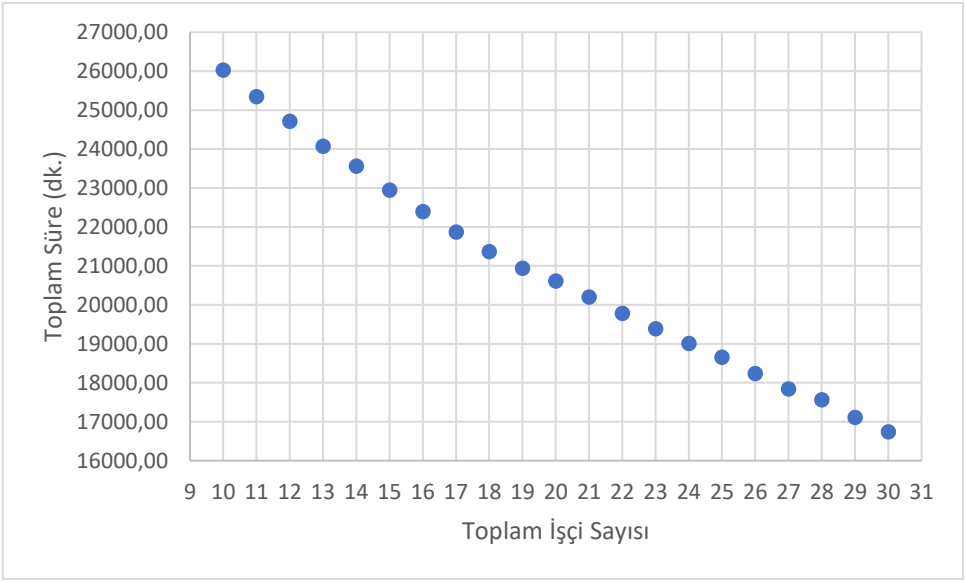
Şekil 5.7. 10x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

10x5s15 test probleminin toplam işçi sayısı 10 ile 30 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.7'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 10 iken toplam süre 21043,47 dakika olarak gerçekleşmiştir. 30 işçi ile bu değer 13614,00 dakikaya kadar düşmüştür.



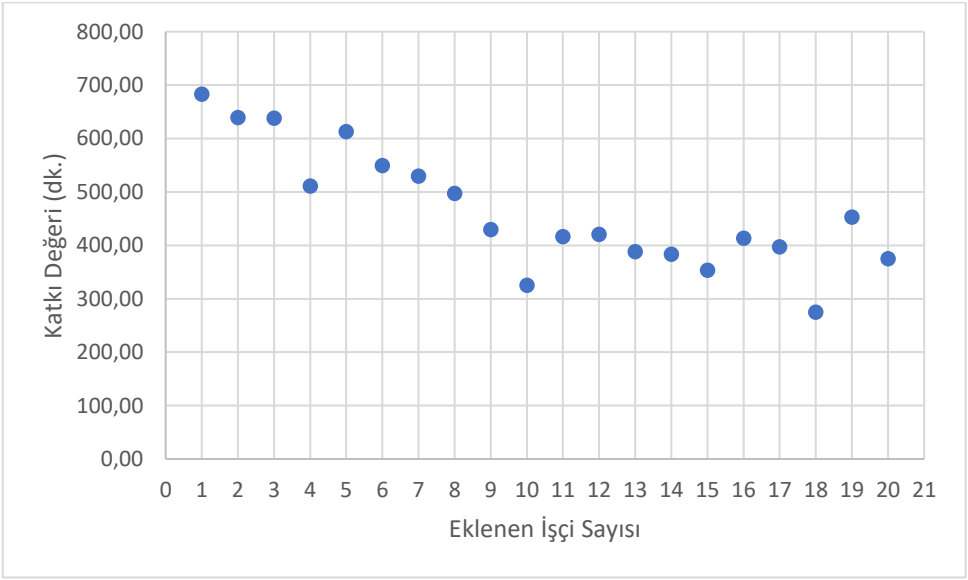
Şekil 5.8. 10x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını arttırmanın katkısı grafiği

10x5s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.8'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 10 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkının 481,67 dakika iken, 11 işçi varken, 12. eklendiğinde bu katkı 470,40 dakikaya düşmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi 15. işçiye bir işçi eklendiği, 17. işçiye bir işçi eklendiği, 21. işçiye bir işçi daha eklendiği, 24. işçiye bir işçi daha eklendiği ve 27. işçiye bir işçi daha eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



Şekil 5.9. 11x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

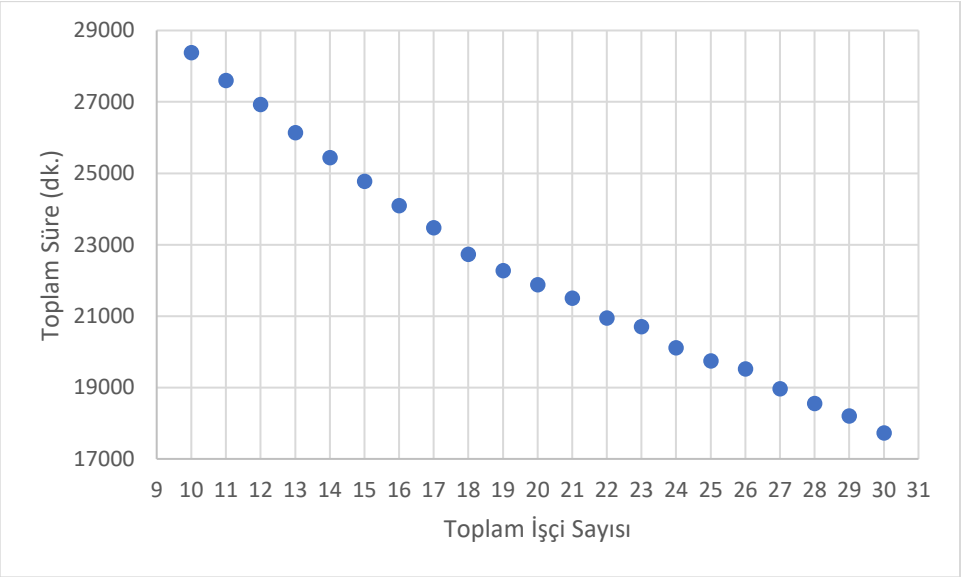
11x5s15 test probleminin toplam işçi sayısı 10 ile 30 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 10 iken toplam süre 26029,23 dakika olarak gerçekleşmiştir. 30 işçi ile bu değer 16734,67 dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.10. 11x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

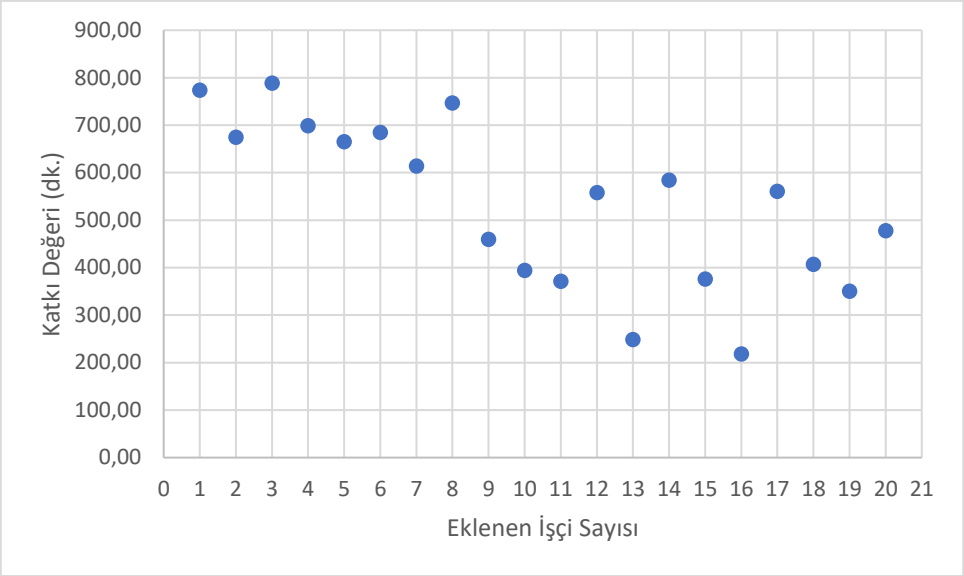
11x5s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.10'da verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 10 işçi varken

bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkının 683,40 dakika iken, 11 işçi varken, 12. eklendiğinde bu katkı 639,20 dakikaya düşmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi 14. işçiye bir işçi eklendiği, 20. işçiye bir işçi eklendiği, 25. işçiye bir işçi daha eklendiği ve 28. işçiye bir işçi daha eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



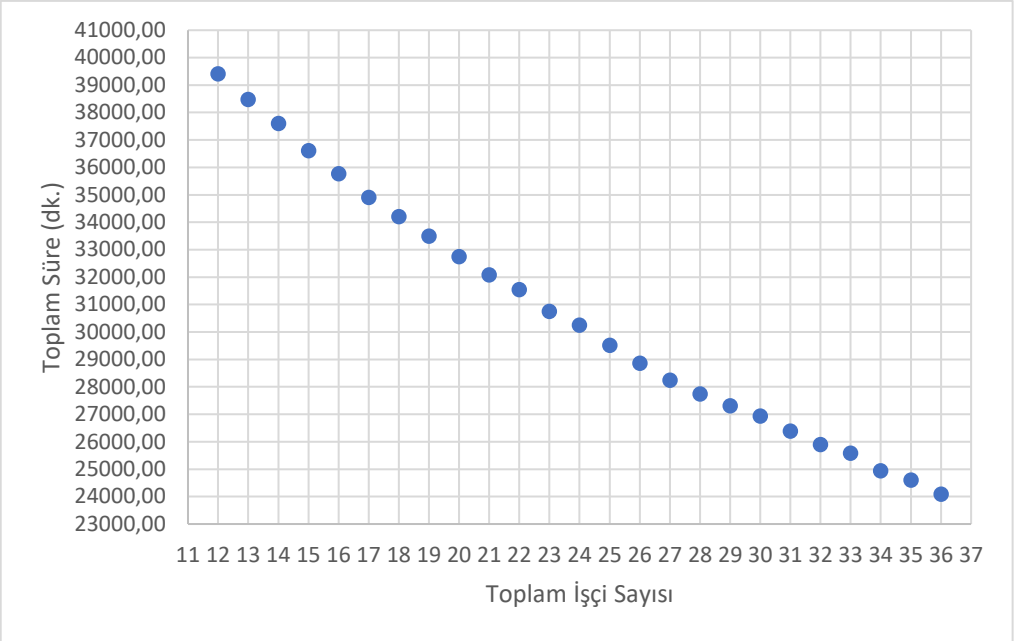
Şekil 5.11. 12x5s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

12x5s15 test probleminin toplam işçi sayısı 10 ile 30 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 10 iken toplam süre 28372,73 dakika olarak gerçekleşmiştir. 30 işçi ile bu değer 17724,53 dakikaya kadar düşmüştür.



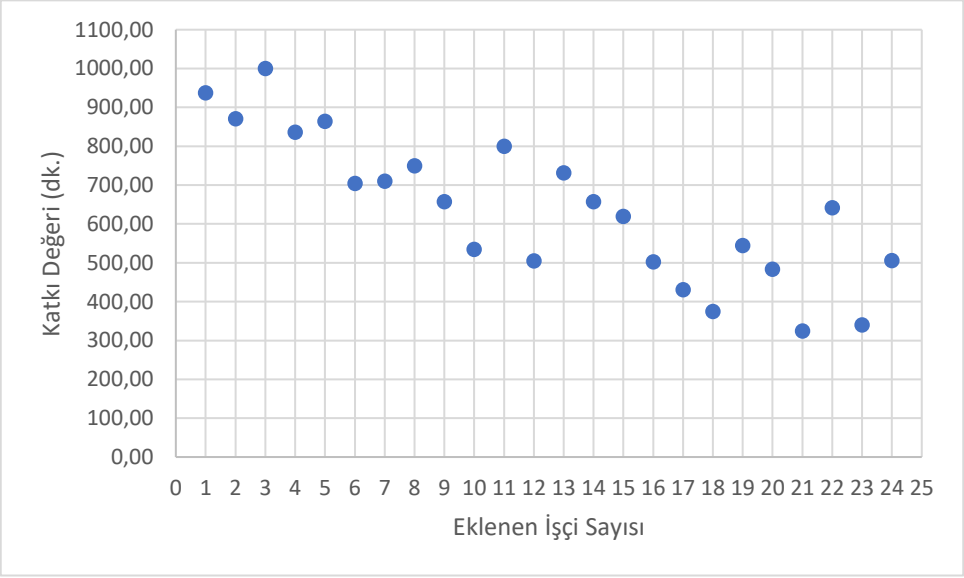
Şekil 5.12. 12x5s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

12x5s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.12'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 10 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkının 773,66 dakika iken, 11 işçi varken, 12. Eklendiğinde bu katkı 674,34 dakikaya düşmektedir. Fakat grafikten de görülebileceği gibi 12. işçiye bir işçi eklendiği, 15. işçiye bir işçi eklendiği, 17. işçiye bir işçi daha eklendiği, 21. işçiye bir işçi daha eklendiği, 23. işçiye bir işçi daha eklendiği, 26. işçiye bir işçi daha eklendiği ve 29. işçiye bir işçi daha eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



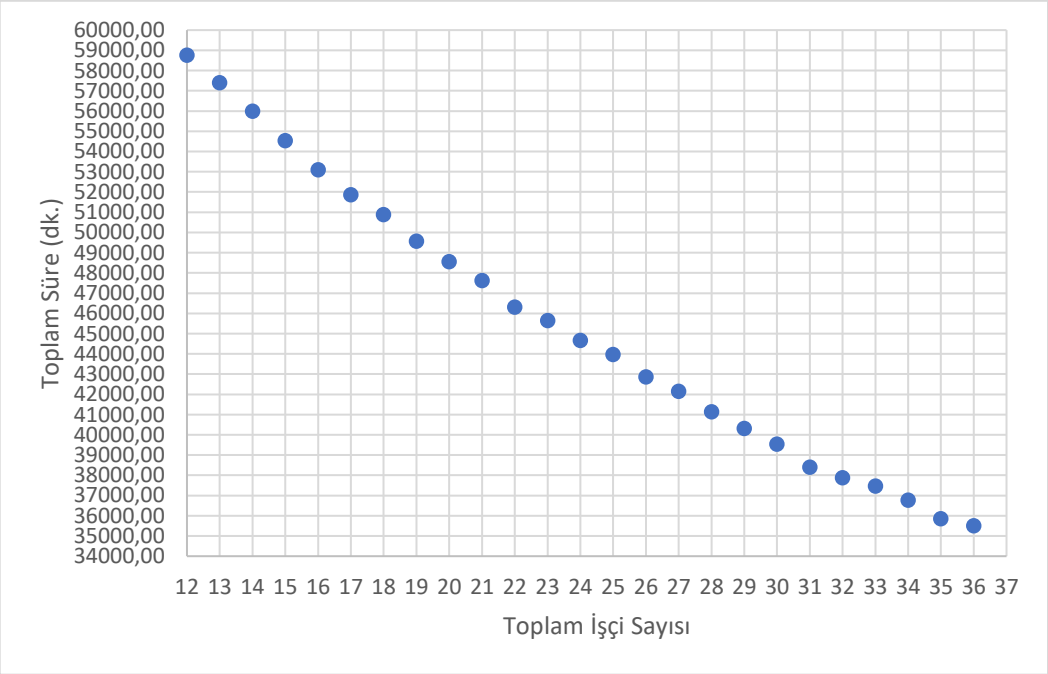
Şekil 5.13. 12x6s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

12x6s15 test probleminin toplam işçi sayısı 12 ile 36 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.13'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 12 iken toplam süre 39409,47 dakika olarak gerçekleşmiştir. 36 işçi ile bu değer 24087,40 dakikaya kadar düşmüştür.



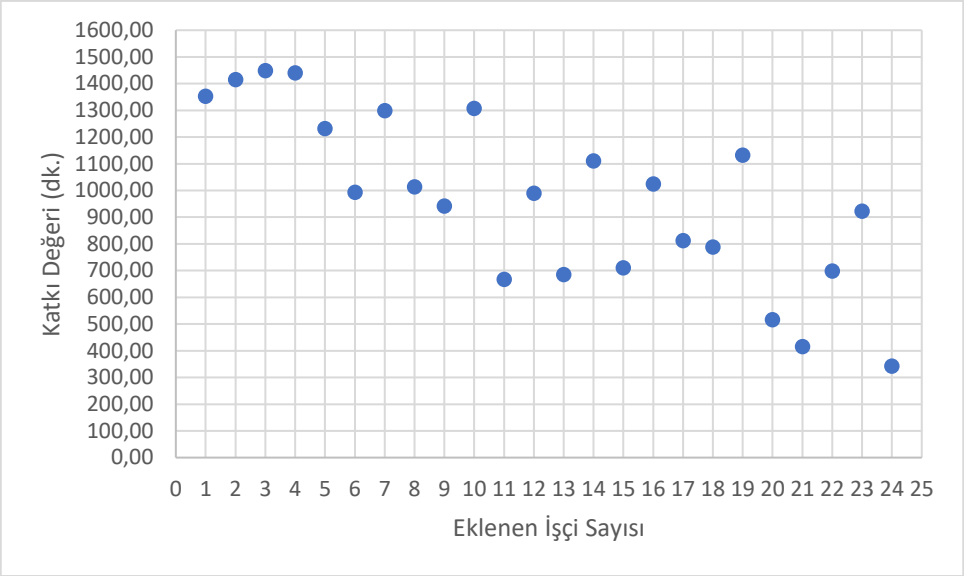
Şekil 5.14. 12x6s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

12x6s15 test problemde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.14'te verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 12 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkının 937,67 dakika iken, 13 işçi varken, 14. Eklendiğinde bu katkı 871,00 dakikaya düşmektedir. Fakat grafikten de görülebileceği gibi 14. işçiye bir işçi eklendiği, 16. işçiye bir işçi eklendiği, 19. işçiye bir işçi daha eklendiği, 22. işçiye bir işçi daha eklendiği, 24. işçiye bir işçi daha eklendiği, 30. işçiye bir işçi daha eklendiği, 33. işçiye bir işçi daha eklendiği ve 35. işçiye bir işçi daha eklendiği noktalar dışında işçi sayısı arttıkça yeni işçi eklemenin katkısı küçülmektedir.



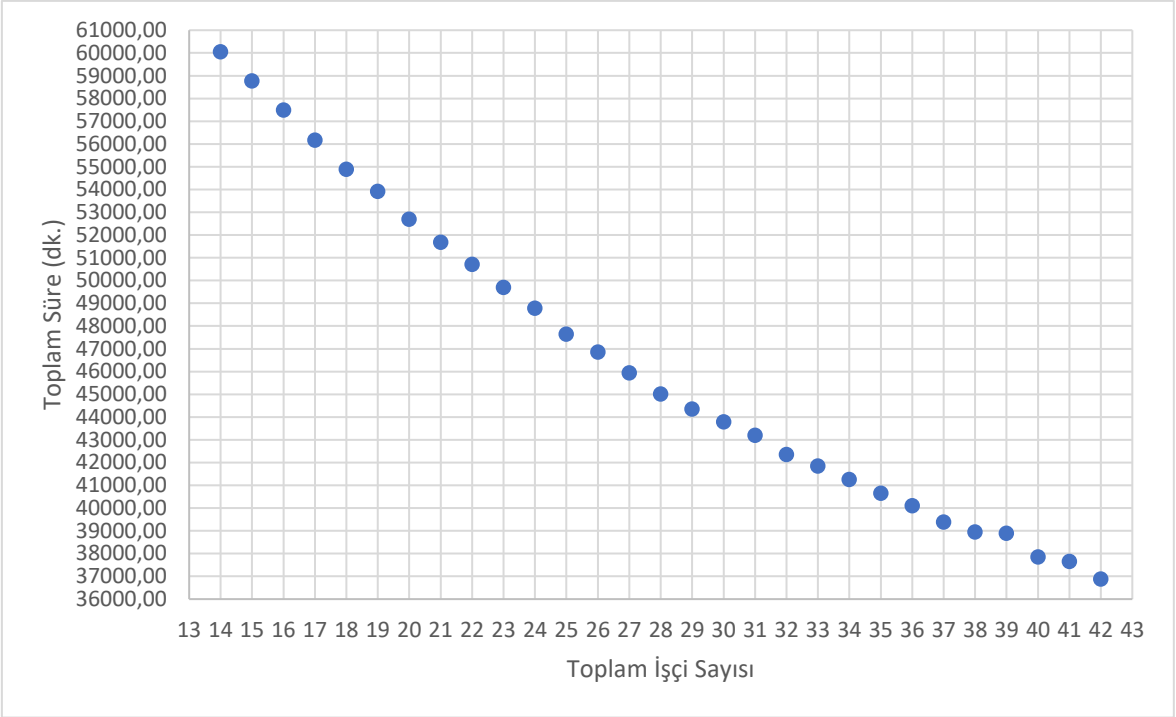
Şekil 5.15. 15x6s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

15x6s15 test probleminin toplam işçi sayısı 12 ile 36 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.15'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 12 iken toplam süre 58756,07 dakika olarak gerçekleşmiştir. 36 işçi ile bu değer 35509,20 dakikaya kadar düşmüştür.



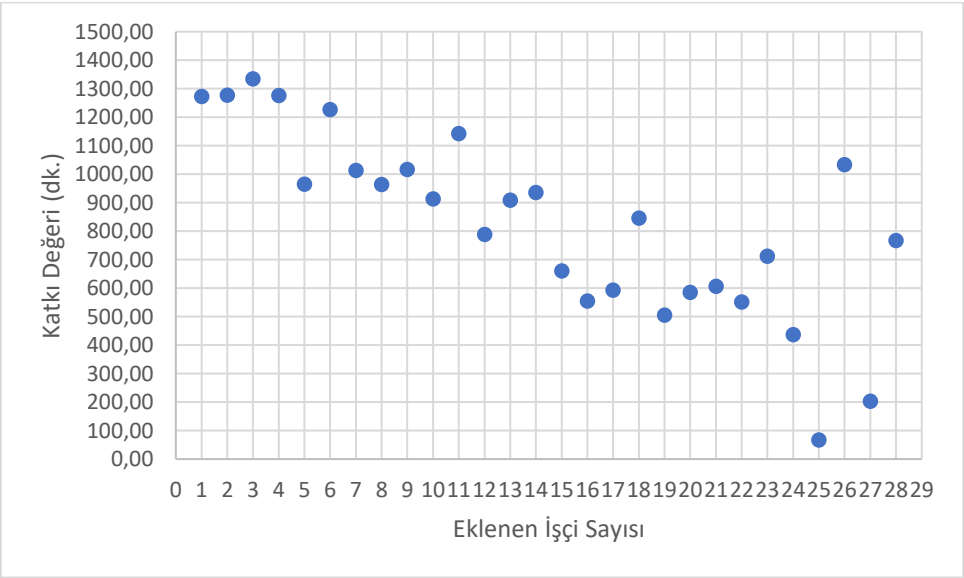
Şekil 5.16. 15x6s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

15x6s15 test probleminde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.16'da verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 12 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkının 1351,84 dakika olduğu görülmektedir. Toplam işçi sayısı artırtıldığında katkı değerleri değişmekle birlikte genel olarak azalma eğilimi göstermektedir. Fakat 35 işçi varken 36. eklendiğinde ve maksimum işçi sayısına ulaşıldığında katkının 341,47 dakikaya kadar düştüğü görülmektedir.



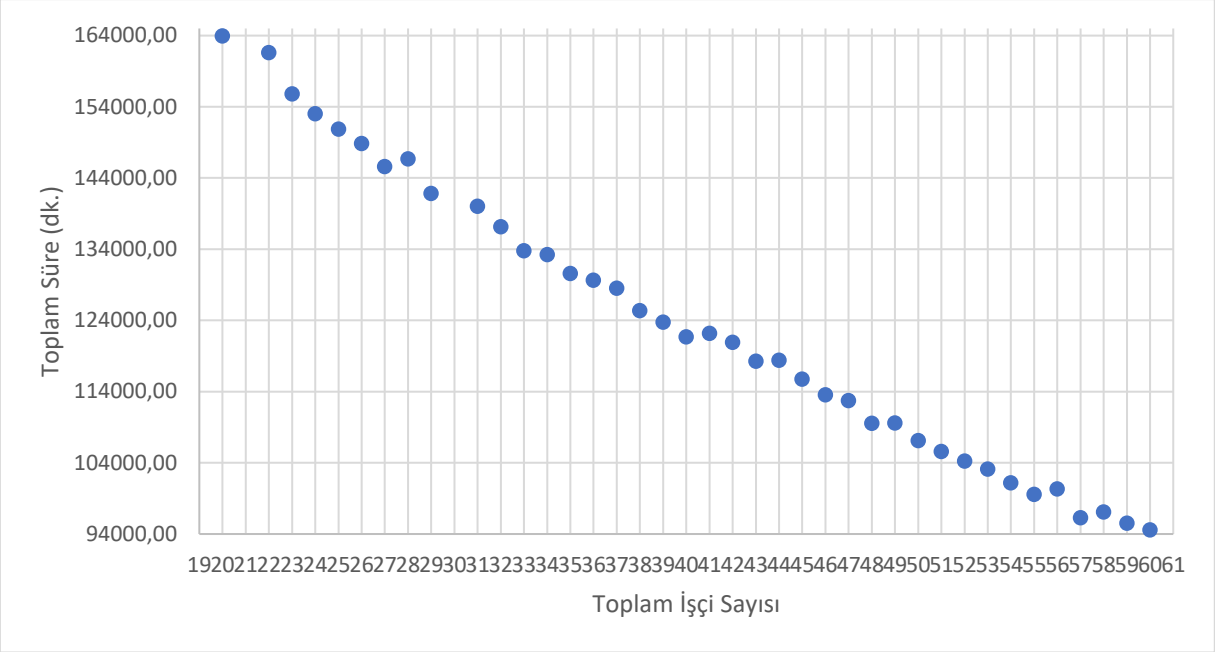
Şekil 5.17. 15x7s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

15x7s15 test probleminin toplam işçi sayısı 14 ile 42 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.17'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 14 iken toplam süre 60045,33 dakika olarak gerçekleşmiştir. 42 işçi ile bu değer 36878,83 dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.18. 15x7s15 test problemi için toplam işçi sayısını artırmanın katkısı grafiği

15x7s15 test probleminde her bir işçi eklendiğinde sağlanan katkıyı incelemek için çizilen grafik ise Şekil 5.18'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi 14 işçi varken bir işçi dahil edildiğinde elde edilen katkı 1272,83 dakika olduğu görülmektedir. Kapı sayısı kadar işçi bulunduğu durumdan maksimum işçi sayısına ulaşana kadar toplam işçi sayısının artırılması, katkı değerinde küçülmeye yol açmıştır.



Şekil 5.19. 20x10s15 test problemi için toplam işçi sayısı ve toplam süre grafiği

20x10s15 test probleminin toplam işçi sayısı 20 ile 60 arasında birer artırılarak elde edilen amaç fonksiyonu değerleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi toplam işçi sayısı 40 iken toplam süre 163918,43 dakika olarak gerçekleşmiştir. 60 işçi ile bu değer 94580,20 dakikaya kadar düşmüştür.

İncelenen tüm test problemleri dikkate alındığında, grafiklerden de görüleceği gibi kapı sayısı kadar işçi sayısı başlangıç noktası olarak alındığı zaman, bir işçi eklemenin amaç fonksiyonunda önemli değişiklikler yarattığı görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmelerin ve tedarikçilerin gelişen ve rekabetçi piyasada varlıklarını devam ettirebilmeleri ve kar elde edebilmeleri için kaynakları en etkin şekilde kullanmaları ve değişimlere hızlı bir şekilde cevap verebilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle işletmelerin verimliliği artırabilmeleri ve kar elde edebilmeleri için çapraz sevkiyat siteminin en önemli bileşenlerinden biri olan kapı atama problemini göz ardı etmemeleri gerekmektedir. Kapılardaki boşaltma ve yükleme işlemlerini gerçekleştiren işçiler ise çapraz sevkiyatta kapı atama probleminin başlıca kaynaklarındandır.

Literatürde, çapraz sevkiyatta kapı atama problemi konusunda yapılan çalışmaların büyük bir kısmında işçilerin kapılara atanması problemi göz ardı edilmiştir, az sayıda çalışmada ise işçiler dolaylı yoldan incelenmişlerdir.

Bu çalışmada çapraz sevkiyatta kapı atama probleminde kapılara atanacak işçi sayılarının model tarafından belirlendiği bir matematiksel model önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, işçi sayılarının model tarafından belirlenmesinin toplam boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerine etkisini araştırmaktır. Bunun için literatürden alınan kapılara atanan işçi sayılarının sabit varsayıldığı model ve yine literatürden alınan test problemleri kullanılmıştır. Atamaların sabit 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.

Problemin çözümü için bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model önerilmiştir. Model; kapı sayısı, kamyon sayısı, işçi sayısı, boşaltma süreleri ve yükleme süreleri kısıtlarını dikkate alarak işçi atamaları açısından boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerini enküçüklemeyi amaçlamaktadır. Önerilen modelin çözümü için GAMS Cplex kullanılmıştır.

Önerilen modeli karşılaştırmak amacıyla literatürde bulunan kapı atama problemine ait bir çalışmanın test problemleri kullanılmıştır. Test problemlerinden elde edilen sonuçlara

göre kapılara atanan işçi sayılarının sabit olarak kabul edildiği her iki senaryoya (ÇSKA-S1 ve ÇSKA-S2) kıyasla, önerilen modelin daha başarılı sonuçlar elde ettiği ve iyileşme sağladığı bulunmuştur.

Ayrıca toplam işçi sayısının amaç fonksiyonuna etkisini inceleyebilmek için farklı boyutta test problemleri farklı sayıda işçilere izin verilecek şekilde çözülmüş ve işçi sayısını arttırmanın katkısı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toplam işçi sayısını arttırmanın amaç fonksiyonuna katkısı incelendiğinde, küçük boyutlu problemlerde bir işçi eklemenin amaç fonksiyonuna katkısının değerinin maksimum işçi sayısına yaklaştıkça düştüğü, fakat doğrusal bir ilerlemede olduğu gözlemlenmiştir. Fakat büyük boyutlu problemlerde bir işçi eklemenin amaç fonksiyonuna katkısında artışların ve azalışların olduğu, fakat amaç fonksiyonunda önemli katkılar sağladığı gözlemlenmiştir. Yani kapı sayısı kadar işçiden maksimum işçi sayısına ulaşana kadar toplam işçi sayısının artırılmasının katkısının önemli ölçüde olduğu görülmektedir.

Gelecekteki çalışma önerileri olarak önerilen matematiksel model çok amaçlı olarak ele alınabilir. Ayrıca kapı atama problemi kamyon çizelgeleme problemi ile beraber ele alınabilir. Böylelikle kamyonların varış zamanları ile işçilerin kapılara atanmasının boşaltma, taşıma ve yükleme sürelerine olan etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Acar K., Yalçın A., Yankov D. (2012). Robust door assignment in less-than-truckload terminals. Computer and Industrial Engineering, 63 (4), 729-738.

Aickelin U., Adewunmi A. (2008). Simulation optimization of the crossdock door assignment problem. Proceedings of CoRR, 1-3.

Apte U. M., Viswanathan S. (2000). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. Int. J. Logist. 3 (3), 291–302.

Arnaout G., Rodriguez-Velasquez E., Rabadi G., Musa R. (2010). Modeling cross–docking operations using discrete event simulation. In: Proceedings of the 6th International Workshop on Enterprise & Organizational Modeling and Simulation, 113–120.

Bartholdi J. J., Gue K. R. (2000). Reducing labor costs in an LTL cross docking terminal. Operations Research, 48 (6), 823–832.

Bartholdi J. J., Gue K. R. (2004). The Best Shape for a Crossdock. Transportation Science, 38, 235-244.

Bartz-Beielstein T., Chmielewski A., Janas M., Naujoks B., Scheffermann R. (2006). Optimizing Door Assignment in LTL Terminals by Evolutionary Multiobjective Algorithms. 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Vancouver, BC, United States; IEEE, 348-354.

Bermudez R., Cole M. H. (2001). A Genetic Algorithm Approach to Door Assignments in Breakbulk Terminals: A Technical Report of Mack-Blackwell National Rural Transportation Study Center. University of Arkansas.

Boysen N., Fliedner M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. Omega, 38 (6), 413-422.

Boysen N., Fliedner M., Scholl A. (2008). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. OR Spectrum, 32 (1), 135–161.

Bozer Y. A., Carlo H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload cross docks. IIE Transactions, 40 (11), 1007–1018.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Brown A, M. (2003). Improving the efficiency of hub operations in a less-than-truckload distribution network. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.

Chandran P.M. (2003). Wal-Mart's Supply Chain Management Practices. Technical Report. ICFAI Center for Management Research.

Choy K. L., Chow H. K. H., Poon T. C., Ho G. T. S. (2012). Cross-dock Job Assignment Problem in Space-constrained Industrial Logistics Distribution Hubs with a Single Docking Zone. International Journal of Production Research 50 (9), 2439–2450.

Clausen U., Dabidian P., Diekmann D., Goedicke I., Kaffka J. (2012). Optimizing LTL Terminal performance by simulation.

Cohen Y., Keren B. (2009). Trailer to door assignment in a synchronous cross-dock operation. International Journal of Logistics Systems and Management, 5, 574–590.

Cook R. L., Gibson B., MacCurdy D. (2005). A lean approach to cross-docking. Supply Chain Management, 9, 54–59.

Daquin C., Allaoui H., Goncalves G., Hsu T. (2021). Variable Neighborhood Search Based Algorithms For Crossdock Truck Assignment. RAIRO Operations Research, 55, 2291-2323.

Enderer F., Contardo C., Contreras I. (2017). Integrating dock-door assignment and vehicle routing with cross-docking. Computers and Operations Research, 88, 30-43.

Essghaier F., Allaoui H., Goncalves G. (2021). Truck to door assignment in a shared cross-dock under uncertainty. Expert Systems With Applications. 182: 114889.

Fatthi W.N.A.W.A., Shuib A., 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Gelareh S., Glover F., Guemri O., Hanafi S., Nduwayo P., Todosijevi´c R. (2020). A comparative study of formulations for a cross-dock door assignment problem. Omega, 91, 102015.

Ghomi V., Ghazi Nezami F., Shokoohyar S., Ghofrani Esfahani M. (2022). An optimization model for forklift utilization and congestion control in cross-docking terminals. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics (10), 21422463.

Gue K. R. (1999). The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. Transportation Science, 33 (4), 419–428.

Gue K.R., Kang K. (2001). Staging queues in material handling and transportation systems. Proceedings of the 33rd conference on winter simulation, 1104–1108.

Guemri O., Nduwayo P., Todosijevic R., Hanafi S., Glover F. (2019). Probabilistic Tabu Search for the Cross-Docking Assignment Problem. European Journal of Operational Research, 277, 875-885.

Guignard M, Hahn P. M., Pessoa A. A., da Silva D. C. (2012). Algorithms for the cross-dock door assignment problem. Matheuristics'12 - the fourth international workshop on model-based metaheuristics, Rio de Janeiro, Brazil.

Heragu, S. S., L. Du, R. J. Mantel, and P. C. Schuur. (2005). Mathematical Model for Warehouse Design and Product Allocation. International Journal of Production Research 43 (2), 327–338.

Jarrah A. I., Qi X., Bard J. F. (2014). The destination-loader-door assignment problem for automated package sorting centers. Transportation Science, 1–23.

Karabulut T. (2019). Çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme problemi: bir uygulama çalışması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.

Kinnear E. (1997). Is there any magic in cross-docking? Supply Chain Management: An International Journal, 2, 49-52.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ko C. S., Lee H. K., Choi E. J., Kim T. A. (2008). A genetic algorithm approach to dock door assignment in automated croos-docking terminal with restricted layout. International conference on genetic and evolutionary methods, Las Vegas, Nevada, USA.

Konur D., Golias M. M. (2017). Loading Time Flexibility in Cross-docking Systems. Procedia Computer Science, 114, 491-498.

Küçükoğlu İ., Öztürk N. (2016). Two-stage optimisation model for material flow and allocation management in cross-docking networks. International Journal of Production Research 55 (2), 410-429.

Kulwiec. R. (2004). Crossdocking as a Supply Chain Strategy. Target, 20 (3), 28-35.

Kumar S. (2008). A study of the supermarket industry and its growing logistics capabilities. International Journal of Retail & Distribution Management 36 (3), 192–211.

Kuo Y. (2013). Optimizing Truck Sequencing and Truck Dock Assignment in a Cross Docking System. Expert Systems with Application 40, 5532-5541.

Ladier A., Alpan G. (2016). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. Omega, 62, 145-162

Lee K., Kim B. S., 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.

Li Y., Tang R. Y., MuRong L. W., Sun Q. (2019). Collaborative Optimization of Dock Door Assignment and Vehicle Scheduling in Cross-Docking. Journal of the Operations Research Society of China, 8, 493-514.

Li Z., Sim C. H., Low M. Y. H., Lim Y. G. (2008). Optimal Product Allocation for Crossdocking and Warehousing Operations in FMCG Supply Chain. Conference: Service Operations and Logistics, and informatics.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Liao T. W., Egbelu P. J., Chang P. C. (2013). 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.

Lim A., Ma H., Miao Z. (2006). Truck dock assignment problem with time windows and capacity constraint in transshipment network through cross docks. International Conference on Computational Science and Its Applications, 688–697.

Liu Y., Takakuwa S. (2009). Simulation-based personnel planning for materials handling at a cross-docking center under retail distribution environment. Winter Simulation Conference, 2414-2425.

Luo G., Noble J. S. (2012). An integrated model for crossdock operations including staging. International Journal of Production Research, 50, 2451-2464.

Miao Z., Cai S., 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.

Miao Z., Lim A., Ma H. (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within cross docks. European Journal of Operational Research, 192(1), 105–115.

Miao Z., Zhang J., Lan Y., 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.

Motaghedi-Larijani A., Aminnayeri M. (2018). Optimizing the number of outbound doors in the crossdock based on a new queuing system with the assumption of beta arrival time. Scientia Iranica E, 25 (4), 2282-2296.

Napolitano M. (2000). Making the move to cross docking: a practical guide to planning, designing, and implementing a cross dock operation. Warehousing Education and Research Council (WERC).

KAYNAKLAR DİZİNİ

Napolitano M. (2011). Cross dock fuels growth at Dots. Logistics Management, 50 (2), 30–34.

Nassief W., Contreras I., 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.

Nassief W., Contreras I., Jaumard B. (2018). A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems. Computers and Operations Research, 94, 76-88

Oh Y., Hwang H., Cha C.N., Lee S. (2006). A dock-door assignment problem for the Korean mail distribution center. Computers & Industrial Engineering, 51 (2), 288–296.

Özden G. (2016). Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Peck K. E. (1983). Operational analysis of freight terminals handling less than container load shipments. Ph.D. thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.

Rijal A., Marco B., de Koster R. (2019). Integrated Scheduling and Assignment of Trucks at Unit-load Cross-dock Terminals with Mixed Service Mode Dock Doors. European

Rosales C. R., Fry M. J., Radhakrishnan R. (2009). Transfreight Reduces Costs and Balances Workload at Georgetown Crossdock. Interfaces, 39 (4), 316-328.

Sayed S. I., Contreras I., Diaz J. A., Luna D. E. (2020). Integrated cross-dock door assignment and truck scheduling with handling times. TOP 28, 705-727.

Schaffer B. (2000). Implementing a successful crossdocking operation. IEEE Solutions, 29 (10), 34-38.

Shakeri M., Low M. Y. H., Li Z. (2008). A generic model for crossdock truck scheduling and truck-to-door assignment problems. In IEEE International Conference on Industrial informatics. Daejeon, Korea, 857– 864.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Shiguemoto A. L., Netto U. S. C., Bauab G. H. S. (2014). An Efficient Hybrid Meta-heuristic for a Cross-docking System with Temporary Storage. International Journal of Production Research, 52 (4): 1231–1239.

Specter S. P. (2004). How to crossdock successfully. Modern Materials Handling, 59 (1), 42–46.

Stephan K., Boysen B. (2011). Vis-à-vis vs. mixed dock door assignment: A comparison of different cross dock layouts. Operations Management Research, 3-4, 150-163.

Tarhini A., Makki J. 2014. Scatter Search Algorithm for the Cross-Dock Door Assignment Problem. IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Beirut, Lebanon.

Tarhini A., Yunis M., Chamseddine M. (2016). Natural Optimization Algorithms for the Cross-Dock Door Assignment Problem. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17 (8), 2324-2333.

Tesch C., Clausen U., Wohlgemuth S. (2011). Logistics for decision support in the operation of both terminals and at the corresponding yards. The 15th world multi-conference on systemics, cybermetics and informatics, Orlando, FL, USA.

Torbalı B., Alpan G. (2022). A literature review on robust and real-time models for cross-docking. International Journal of Production Research, (early access).

Tsui L. Y., Chang C. H. (1992). An optimal solution to a dock door assignment problem. Computers & Industrial Engineering, 23 (1–4), 283–286.

Tsui L. Y., Chang C.-H. (1990). A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. Computers & Industrial Engineering, 19 (1–4), 309–312.

Vahdani B., Shahramfard S. (2019). A Truck Scheduling Problem at a Cross-docking Facility with Mixes Service Mode Dock Doors. Engineering Computations, 36 (6). 1977-2009.

Van Belle J., Valckenaers P., Cattrysee D. (2012). Cross-docking: State of the art. Omega, 40, 827-846.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Vogt J. J. (2010). The successful cross-dock based supply chain. Journal of Business Logistics, 31 (1), 99-119.

Wang H., Alidaee B. (2019). The multi-floor cross-dock door assignment problem: Rising challenges for the new trend in logistics industry. Transportation Research Part E, 132, 30-47.

Wang Z., Lu Y., Zhao L., Cao N. (2018). Improved Harmony Search Algorithm for Truck Scheduling Problem in Multiple-Door Cross-docking Systems. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018, 1-15.

Wen M., Larsen J., Clausen J., Cordenau J. F., Laporte G. (2009). Vehicle routing with cross-docking. Journal of the Operational Research Society, 60, 1708-1718.

Wisittipanich W., 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.

Witt C. E. (1998). Crossdocking: concepts demand choice. Material Handling Engineering, 53 (7), 44–49.

Yan H. Y., Tang S. L. (2009). Pre-distribution and post-distribution cross-docking operations. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45 (6), 843-859.

Yu E., Egbelu P. J. (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. European Journal of Operational Research, 184, 377–396.

Yu V. F., Sharma D., 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.

Zhang Y. H., Gong Y. J., 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Zhen, L., Chew, E.P., Lee, L.H. (2011). An integrated model for berth template and yard template planning in transshipment hubs. Transportation Science, 45, 483–504.

Zhu Y. R., Hahn P. M., Liu Y., Guignard M. (2009). New approach for the cross-dock door assignment problem. XLI Brazilian symposium on operations research.