Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi

Gökçe Özden

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2016

A Decision Support System for Door Assignment and Truck Scheduling Problem in Cross Docking

Gökçe Özden

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Industrial Engineering

December 2016

Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi

Gökçe Özden

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. İnci Sarıçiçek

Bu Tez ESOGÜ tarafından "2015-734" no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Aralık 2016

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Gökçe ÖZDEN' in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

İkinci Danışman **: -**

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

Üye : Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU

Üye : Prof. Dr. Attila İŞLİER

Üye : Doç. Dr. Şafak KIRIŞ

Üye : Doç. Dr. Özden ÜSTÜN

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

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. İnci Sarıçiçek. danışmanlığında hazırlamış olduğum "Çapraz Sevkiyatta Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi" başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik 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. 09/12/2016

Gökçe Özden

İmza

ÖZET

Çapraz sevkiyat, tedarik zinciri yönetiminde dağıtım sürecinin eş güdümünü gerçekleştiren önemli bir stratejidir. İlgili strateji, tedarikçilerden gelen kamyonlardaki ürünlerin boşaltılmasını, belirli teslimat noktalarına gidecek ürünlerin birleştirilmesini ve müşterilere ulaştırılmak üzere giden kamyonlara yüklenmesini içermektedir. Ürün hacmi arttığında ya da sevkiyat koordine edilemediğinde, merkezde kalan ürün miktarı artacak ve teslimatın zamanında yapılması zorlaşacaktır. Bu nedenle çapraz sevkiyat merkezlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel yönetim problemlerinden biri kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemidir.

Bu çalışmada, çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden her bir kamyonun kapılara atanmasını ve kapılardaki sıralarının belirlenmesini içeren kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi teslim zaman penceresi özelliği dikkate alınarak ele alınmıştır. Problemin çözümü ile giden kamyonların çapraz sevkiyat merkezinden erken ve geç ayrılma süresinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminin teslim zaman penceresine göre çözümü için bir matematiksel model sunulmuştur. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için Tavlama Benzetimi ve Tabu Arama algoritmaları önerilmiştir. Ayrıca çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde belirtilen amaç fonksiyonu için uygun çizelgeyi verebilecek, meta-sezgisel algoritmaları kullanan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. İlgili sistem ile karar verici probleme ilişkin çizelgeyi elde edebilmekte ve gerekli sonuçları görebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kapılı Çapraz Sevkiyat Merkezi, Kapı Atama ve Kamyon Çizelgeleme Problemi, Karar Destek Sistemi, Tavlama Benzetimi, Tabu Arama

SUMMARY

In supply chain management, cross-docking is a significant strategy for coordinating the distribution process. This strategy includes unloading products from inbound trucks that come from retailers, consolidating shipments to certain destinations and loading the products onto outbound trucks to deliver them to the customers. As volumes increase or when shipments are uncoordinated, the amount of storage product can increase. For this reason, the cross-docking center must be effectively managed. Consequently the door assignment and truck scheduling problem is one of the most important operational management problem for distribution centers working with cross-docking system.

This study focuses on the door-assignment and truck-scheduling problem that consist of assigning each truck to a door at the dock and determining the sequences for the trucks at each door considering due window property. The objective of the system is to minimize the total earliness and tardiness for the outbound trucks. This study presents a mathematical model for door assignments and truck scheduling with due windows in multi-door cross-docking centers. Simulated Annealing and Tabu-Search algorithms are proposed to solve large-sized problems. In addition, a decision support system is designed using meta-heuristics to solve the door assignment and truck scheduling problem that consider the objective of minimizing earliness and tardiness for outbound trucks. Thus, decision-makers get and report the schedule related to the problem through the system.

Keywords: Multi-Door Cross-Docking Center, Door Assignment and Truck Scheduling Problem, Decision Support System, Simulated Annealing, Tabu Search

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, desteğini esirgemeyip bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren değerli danışmanım Doç.Dr.İnci Sarıçiçek'e, tez izleme jürimde yer alan Prof.Dr. Muzaffer Kapanoğlu ve Doç.Dr. Şafak Kırış' a, tez savunma jürimde yer alan Prof.Dr. Attila İşlier ve Doç.Dr. Özden Üstün'e değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Doktora çalışmamı 2015-734 numaralı proje kapsamında destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve beni destekleyen annem, babam ve kardeşime teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiii**
1.GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. ÇAPRAZ SEVKİYAT VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **4**
2.1. Çapraz Sevkiyat Nedir? 4
2.2. Çapraz Sevkiyat Çeşitleri 7
2.3. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Bilgi Sistemlerinin Önemi 9
2.4. Çapraz Sevkiyat Merkezlerindeki Karar Problemleri 10
2.4.1. Çapraz sevkiyat merkezlerinin yerinin belirlenmesi 11
2.4.2. Çapraz sevkiyat merkezlerinin iç yerleşiminin belirlenmesi 12
2.4.3. Çapraz sevkiyat merkezleri için araç rotalama 13
2.4.4. Çapraz sevkiyat merkezi içindeki kaynakların çizelgelenmesi 14
2.4.5. Kamyonların kapılara atanması ve çizelgelenmesi 14
3. ÇAPRAZ SEVKİYATTA KAPI ATAMA VE KAMYON ÇİZELGELEME **20**
3.1. Çapraz Sevkiyat Merkezlerine İlişkin Özellikler 20
3.2. Problemin Tanımlanması 26
3.2.1. Matematiksel model 31
3.2.2. Boyut analizi 35
3.3. Test Problemlerinin Türetilmesi 37
3.4. Çözüm Yöntemleri 38
4. PROBLEMİN TAVLAMA BENZETİMİ VE TABU ARAMA İLE ÇÖZÜMÜ **41**
4.1. Tavlama Benzetimi 41
4.2. Tabu Arama 45
4.3. Başlangıç ve Komşu Çözüm Türetme Mekanizmaları 51

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4. Tasarlanan Ürün Dağıtım Algoritması 53
4.5. Küçük Boyutlu Problemlerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi 54
4.6. Büyük Boyutlu Problemlerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi 57
5. ÇAPRAZ SEVKİYAT MERKEZLERİ İÇİN TASARLANAN KARAR DESTEK SİSTEMİ 67
5.1. Veri Yönetimi 70
5.2. Model Yönetimi 71
5.3. Diyalog Yönetimi 73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 82
KAYNAKLAR DİZİNİ 85
EK AÇIKLAMALAR 92
Ek Açıklama-A: Test problemleri 92
Ek Açıklama-B: Gelen kamyonlardan giden kamyonlara ürün atamaları 98
Ek Açıklama-C: Literatürdeki matematiksel modellere ilişkin gösterimler 100
Ek Açıklama-D: Literatürdeki çalışmaların amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri 102
ÖZGEÇMİŞ 107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Çapraz sevkiyat merkezinin şematik gösterimi 6
2.2. Birinci çeşit çapraz sevkiyat 7
2.3. İkinci çeşit çapraz sevkiyat 8
2.4. Üçüncü çeşit çapraz sevkiyat 8
2.5. Tek kademeli (a) ve çift kademeli (b) depolama alanları 13
3.1. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezi ve kamyon grupları 27
3.2. Giden kamyonlar için çizelgeleme zaman penceresi 29
4.1. Komşu çözüm türetme mekanizması 52
4.2. Tabu parametreleri için varyans analizi 57
4.3. Faktör düzeyleri için ana etki grafikleri 58
4.4. SA ve TS algoritmaları için RPD aralık grafikleri 61
4.5. SA ve TS algoritmaları için eşleştirilmiş t-testi sonuçları 62
4.6. SA ve TS algoritmalarının sonuçlarına göre box ve whisker diyagramları 63
4.7. Çözüm süresinin kamyon sayısına göre değişimi 64
4.8. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre varyans analizi sonuçları 65
4.9. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre ana etki grafikleri 65
4.10. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre varyans analizi sonuçları 66
5.1. Sisteme ilişkin verilerin kaydedilmesi 70
5.2. Başlangıç arayüzü 73
5.3. Bir probleme ilişkin veri giriş ekranı 74
5.4. Kamyon varış zamanları ve zaman pencereleri arayüzü 75
5.5. Çözüm ekranı 76
5.6. Sonuç Ekranı 77
5.7. Farklı bir amaca göre çözüm sonucu 78
5.8. Gelen ve gelen-giden kamyonların çizelgesi 79
5.9. Giden ve gelen-giden kamyonların çizelgesi 80
5.10. Sistemin belirli bir sıraya göre benzetimi 81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

3.1. Çapraz sevkiyat merkezine ilişkin özellikler ve ele alındığı çalışmalar 24
3.2. Matematiksel modelin boyut analizi 36
3.3. Kamyon çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri 39
4.1. Küçük boyutlu problemlerde SA ve TS'nin amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süresi bakımından karşılaştırılması 55
4.2. Küçük boyutlu problemler için RPD (%) değerleri 56
4.3. Büyük boyutlu problemlerde SA ve TS'nin amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süresi bakımından karşılaştırılması 59
4.4. Büyük boyutlu problemler için RPD (%) değerleri 60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
I	Gelen kamyonlar kümesi
O	Giden kamyonlar kümesi
C	Gelen-giden kamyonlar kümesi
P	Ürün türleri kümesi
R	Kabul kapıları kümesi
S	Sevkiyat kapıları kümesi
r_{ik}	Ürün türü k'dan gelen kamyon i'de bulunan miktar
s_{jk}	Ürün türü k'dan giden kamyon j'ye yüklenmesi gereken miktar
CT	Kamyon değişim süresi
UT	Birim ürün boşaltma süresi
LT	Birim ürün yükleme süresi
TA	Gelen-giden kamyonlar için kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi
GL_i	Gelen kamyon i'nin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı
GD_j	Giden kamyon j'nin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı
TE	Bir kamyonun kapıya yanaşması için geçen süre
TL	Bir kamyonun kapıdan ayrılması için geçen süre
D_j	Giden kamyon j için teslim zaman penceresinin üst sınırı
d_j	Giden kamyon j için teslim zaman penceresinin alt sınırı
V	Ürünler giriş kapısından çıkış kapısına gidene kadar harcanan süre
M	Büyük bir pozitif sayı
a_i	Gelen kamyon i'nin yükünü boşaltmaya başladığı zaman
L_i	Gelen kamyon i'nin boşaltma işlemini tamamladığı zaman
b_j	Giden kamyon j'nin yüklemeye başladığı zaman
C_j	Giden kamyon j'nin yükleme işlemini tamamladığı zaman
x_{ijk}	Ürün türü k'dan gelen kamyon i'den giden kamyon j'ye aktarılan miktar

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
ACO	Ant Colony Optimization
ÇSM	Çapraz Sevkiyat Merkezi
ÇSO	Çapraz Sevkiyat Operatörü
DE	Differantial Evolution
E	Exact Solution Procedure
GA	Genetic Algorithm
H	Heuristics
KDS	Karar Destek Sistemi
M	Mathematical Model
MH	Meta Heuristics
MHIA	Material Handling Industry of Amerika
PSO	Particle Swarm Optimization
SA	Simulated Annealing
TS	Tabu Search
VNS	Variable Neighbourhood Search
VRPCD	Vehicle Routing Problem with Cross Docking

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çapraz sevkiyat, bir dağıtım ağında operasyonel performansı arttıran en yenilikçi stratejilerden biridir. Çapraz sevkiyat sistemi kullanılarak, ürünler dağıtım merkezlerine gelen kamyonlar aracılığıyla teslim edilir, merkezde ayrıştırılır, müşteri taleplerine göre yeniden birleştirilir ve müşterilere teslim edilmek üzere giden kamyonlara yüklenir. Bu sayede dağıtım merkezlerinde stok tutulmasına gerek kalmamaktadır (Lee vd., 2012).

Geleneksel depolama yöntemlerinden farklı olarak, bir çapraz sevkiyat merkezi çok az miktarda stok bulundurur ya da hiç stok bulundurmaz. Çapraz sevkiyat merkezine bir kamyon geldiğinde, boşaltma işleminin gerçekleştirileceği ve gidiş yerlerinin belirlenmesi için taramadan geçirileceği bir kabul kapısına atanır. Daha sonra gelen yükler ayrıştırılarak sevkiyat kapısına yönlendirilir ve giden kamyonlara yüklenir.

Çapraz sevkiyatın birincil amacı, farklı büyüklükte ve aynı yere gidecek olan yüklerin birleştirilerek tam kamyon yükü (Full Truck Load-FTL) olarak sevk edilmesini sağlamaktır. Belirtilen özellik, günümüzün küreselleşen rekabet ortamında artan ürün sevkiyatı hacmi nedeni ile çapraz sevkiyatı önemli bir lojistik stratejisi haline getirmiştir. Perakende zincirleri (Wal-Mart), kargo firmaları (UPS), otomobil üreticileri (Toyota), bir kamyon yükünden az (Less than Truck Load-LTL) lojistik hizmet sağlayıcıları gibi dağıtım maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu firmalarda, çapraz sevkiyatla ilgili pek çok başarı hikâyesi rekabetçi bir yapıyla sonuçlanmıştır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Belirli bir noktadan diğer noktaya teslimat sağlayan geleneksel dağıtımın tersine, çapraz sevkiyat merkezinde ek aktarma işlemi, dağıtım sürecini yavaşlatmakta ve belirgin miktarda işlem yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle merkeze gelen ve giden kamyonları eş zamanlı boşaltıp yükleyecek şekilde verimli bir aktarma sürecine ihtiyaç duyulmakta, böylelikle terminal içindeki stoklama düzeyi düşük seviyede tutulmakta ve zamanında teslimat (on-time delivery) sağlanmaktadır.

Bu amaçla son yıllarda, kamyon çizelgeleme (truck scheduling) problemi ismiyle ele alınan çizelgeleme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu problem türü kamyonların çapraz

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

Tez çalışması kapsamında, çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen ve giden kamyonların kabul ve sevkiyat kapılarına atanarak, gelen ve giden kamyonların kapılarda sıralanması sağlanmaktadır. Çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde kamyon sayısı kapı sayısından daha fazladır. Bu nedenle bazı kamyonlar yükleme ya da boşaltma işlemi yaparken, kalanlar sırada beklemektedir. Gelen ve giden kamyonların doğru sırada ve uygun kapıya atanması çapraz sevkiyat sisteminin verimliliğini etkilemektedir. Kamyonların doğru kapıya atanması ve çizelgelenmesini etkileyen önemli bir faktör ise kamyonların çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarıdır. Boysen (2010), Lee vd. (2012), Joo ve Kim (2013) çalışmalarında çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde, kamyonların çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanını aynı kabul etmiştir. Fakat gerçek hayat problemlerinde çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların, merkeze varış zamanları birbirinden farklıdır. Dolayısıyla, bu çalışmada gelen ve giden kamyonların farklılık gösteren, çapraz sevkiyat merkezine varış zamanları dikkate alınmıştır.

Ele alınan, kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi, giden kamyonların teslim zaman pencerelerine göre toplam erkenlik ve geçliğin en küçüklenmesini amaçlamaktadır. Ek olarak kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminde sadece kamyonların kapılara atanması ve sırasının belirlenmesi değil, aynı zamanda gelen kamyonlardan boşaltılan ürünlerin hangi giden kamyona yüklenmesi gerektiğini belirleyecek olan ürün atamalarının yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada belirtilen ürün atama özelliği de kamyonların kapılara atanması ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Joo ve Kim (2013) çalışmalarında gelen ve giden kamyonlar dışında üçüncü bir kamyon kümesine de yer vermiştir. Gerçek hayatta, gelen ve giden kamyonlar dışında ilgili üçüncü kamyon kümesi hem gelen hem giden yapıdaki kamyonlardır. Hem çapraz sevkiyat merkezine ürün getirip hem de dağıtım görevini üstlenen kamyonlar çalışmada gelen-giden kamyon (compound truck) olarak adlandırılmıştır. Belirtilen tüm özellikler göz önünde bulundurularak çok

kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi için bir matematiksel model sunulmuştur.

Büyük boyutlu problemler için meta-sezgisel ihtiyacı sebebi ile problemi çözecek Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA) ve Tabu Arama (Tabu Search-TS) algoritmaları kodlanmıştır. Algoritmaların performansı küçük boyutlu problemlerde matematiksel modelin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Büyük boyutlu problemlerde, amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süresi bakımından SA ve TS algoritmaları kıyaslanmıştır. Ayrıca çapraz sevkiyat merkezindeki karar vericilerin kullanabileceği bir Karar Destek Sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Sistemde, tasarlanan arayüzler yardımıyla, kullanıcı ilgili problemi SA veya TS algoritmalarını kullanarak seçilen amaç için çözdürme olanağına sahiptir.

Tezin bölümleri izleyen şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde çapraz sevkiyat ve literatür araştırmasına yer verilmiş, üçüncü bölümde çapraz sevkiyatta kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde problemin SA ve TS algoritmalarıyla çözümünden bahsedilmiş, beşinci bölümde çapraz sevkiyat merkezleri için tasarlanan KDS tanıtılmıştır. Altıncı bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÇAPRAZ SEVKİYAT VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Çapraz Sevkiyat Nedir?

Çapraz sevkiyat günümüzde kullanılan önemli bir lojistik stratejisidir. Çapraz sevkiyattaki temel fikir, gelen ürünlerin stoklanmadan giden araçlara aktarılmasıdır. İlgili strateji, sevk edilecek ürünlerin zamanında birleştirilmesi (consolidation), tedarik süresinin kısalması ve maliyetlerin azalması gibi amaçlara hizmet etmektedir. Bu nedenle, çapraz sevkiyatın firmalardaki rolü giderek artmaktadır (Apte ve Viswanathan, 2000).

Geleneksel bir dağıtım merkezinde, ürünler kabul edildikten sonra raflarda stoklanır. Müşteri ürünleri talep ettiğinde, ürünler raflardan alınarak müşteriye gönderilmek üzere ilgili varış noktasına yönlendirlir. Belirtilen dört faaliyetten (kabul, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat) depolama ve sipariş toplama oldukça maliyetlidir. Depolamadakiler, stok tutma maliyetlerinden, sipariş toplamadakiler ise işçilik maliyetlerinden kaynaklanır. Maliyetleri azaltmak için ilgili faaliyetlerin bir ya da daha fazlası geliştirilebilir veya faaliyetlerin birbiriyle etkileşimleri incelenerek düzenlenebilir. Geleneksel depolamadan farklı olarak çapraz sevkiyat, depolama ve sipariş toplama gibi iki önemli aktarma (handling) faaliyetini ortadan kaldıran bir yaklaşımdır (Bartholdi ve Gue,2004; Schaffer,1997).

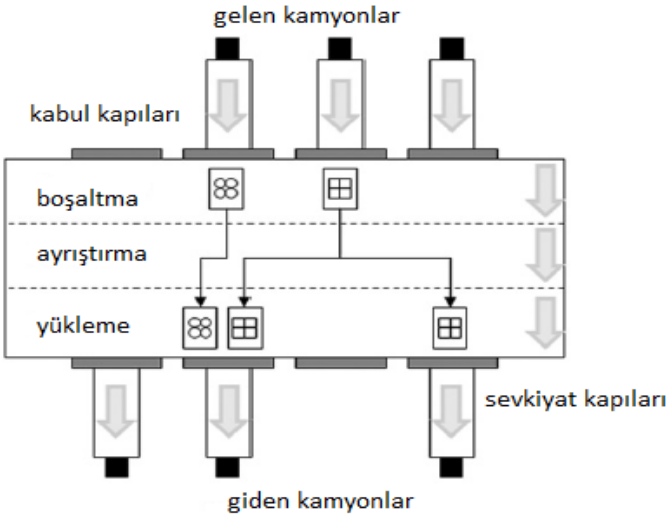
Kinnear (1997) tarafından yapılan bir tanıma göre çapraz sevkiyat; tedarikçi ya da üreticiye ait birkaç noktadan merkeze gelen ürünlerin kabul edilmesi, son teslimat noktalarına gönderilmek üzere, diğer tedarikçilerin ürünleriyle birlikte birleştirilmesidir (consolidation). Böylece, tedarikçilerden gelen ürünler ayrıştırılarak varış noktalarına göre birleştirilir.

Amerika Malzeme Aktarma Endüstrisi (Material Handling Industry of Amerika-MHIA), çapraz sevkiyatı, “ hareket halindeki ürünlerin depolanmadan kabul sahasından sevkiyat sahasına yönlendirilmesi süreci” olarak tanımlamıştır (http://www.mhia.org/learning/glossary). Bu tanımda dikkat çekilmek istenen stok tutma değil aktarımdır. Bu durum, gelen (inbound) ve giden (outbound) kamyonlar arasında eş

zamanlılık olmasını gerektirmektedir. Başka bir ifadeyle, gelen ve giden kamyonların eş zamanlı gelişleri önemli ve gereklidir. Gelen ve giden kamyonlar arasında eş zamanlılığı yakalamak oldukça zordur. Aynı zamanda, uygulamada gelen kamyonlardan boşaltılan ürünleri ayrıştırıp birleştirdikten sonra giden kamyonlar hazır olana kadar bir süre bekletilmesi (depolanması) gerekmektedir. Bu durumda çapraz sevkiyat, aynı yere gidecek olan (farklı noktalardan gelen) ürünlerin boşaltma ve yükleme süreci arasında en düşük düzeyde aktarma işlemiyle, çok kısa süreli depolama ya da hiç depolama olmadan birleştirilmesi (consolidation) olarak tanımlanabilir. Eğer ürünler geçici olarak depolanırsa, bunun çok kısa bir zaman periyodunda olması gerekmektedir. İlgili periyodun tam ve doğru limitlerini tanımlamak oldukça güçtür, fakat birçok yazar (Bartholdi ve Gue,2004; Li vd., 2004; Vahdani ve Zandieh, 2010; Wen vd., 2009) ilgili periyodu 24 saat olarak belirtmiştir.

Ürünler bir depoya ve sipariş toplama raflarına yerleştirilirse ya da depolama birkaç gün veya hafta sürerse, ilgili durum çapraz sevkiyat değil klasik depolama olarak adlandırılmaktadır. Fakat bazı firmalar ürünler uzun süreli olarak depolansa dahi, tedarikçiden gelen ürünler depolamaya oradan da müşterilere kamyon yüklemeleri hariç neredeyse hiç dokunulmadan aktarılıyorsa bu durumu çapraz sevkiyat olarak kabul etmektedir (Witt, 1998). Çoğu firma her iki yöntemin üstünlüklerinden yararlanmak için, depolama ve çapraz sevkiyatın birleştirilmiş halini kullanmaktadır (Apte ve Viswanathan, 2000).

Çapraz sevkiyat operasyonlarının gerçekleştirilmesi için tahsis edilen merkeze Çapraz Sevkiyat Merkezi (ÇSM) adı verilmektedir. Uygulamada, çoğu ÇSM uzun ve dar bir dikdörtgen (I şekli) şeklinde, bazıları ise "L,T,X " gibi şekillere sahiptir (Bartholdi ve Gue,2004). Bir ÇSM, gelen kamyonların ürünleri boşaltma işlemini yapabileceği birçok kabul kapısına ve boşaltılan ürünlerin yüklenmek üzere giden kamyonlara yükleneceği sevkiyat kapılarına sahiptir (Şekil 2.1). Ürünler giden kamyonlara yüklenmek üzere sevkiyat kapılarına yönlendirilir, eğer geçici olarak depolanacaksa ÇSM içerisinde uygun bir yere yerleştirilir (örneğin, sevkiyat kapılarının önüne yerleştirilerek bekletilebilir).



Şekil 2.1. Çapraz sevkiyat merkezinin şematik gösterimi (Boysen ve Fliedner, 2010)

Şekilde, I şeklindeki bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen ve giden kamyonlar arasındaki malzeme aktarımı gösterilmektedir. Gelen kamyonlar ya bir kapıda boşaltma işlemine başlamak üzere kabul sahasındaki bir kapıya yanaşmakta ya da kapıya yanaşana kadar sırada beklemektedir. Gelen kamyonlar kapıya yanaştıktan sonra yükünü (palet, paket, kutu vb.) boşaltmakta ve ürünlerin gideceği varış noktaları (ürün üzerindeki barkodlar taratılarak) tayin edilmektedir. Daha sonra, ürünler forklift ve konveyör bantı sistemleri gibi malzeme taşıma araçlarıyla sevkiyat kapılarına aktarılmaktadır. Bir gelen kamyon tamamen boşaltıldığında ya da giden kamyon tamamen yüklendiğinde sıradaki kamyon kapıya yanaşmaktadır.

Çapraz sevkiyat, yalın tedarik zinciri yönetimi ile benzer amaçlar taşımaktadır. Daha düşük hacimlerde daha hızlı ve daha sık ürün taşınmasını hedeflemektedir (Cook vd., 2005). Çapraz sevkiyat merkezlerinin belirtilen özellikler dikkate alındığında geleneksel depolamaya göre ortaya çıkan üstünlükleri:

- Müşteriye verilen hizmetin geliştirilmesi
- Maliyetlerin azaltılması (aktarma, işçilik, depolama vb. maliyetler)
- Teslimat ve tedarik sürelerinin (tedarikçiden müşteriye) kısaltılması
- Depolama için ayrılan sahanın azaltılması
- Stok devir hızının artması

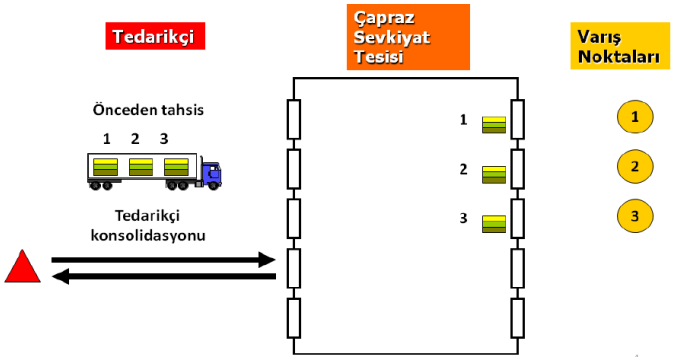
- Fazla stoğun engellenmesi
- Ürünlerdeki kayıp ve hasar riskinin azaltılması

olarak tanımlanmaktadır (Van Belle vd., 2012).

Belirtilen üstünlükler, çapraz sevkiyatı firmalara kayda değer bir rekabetçi kazanım sağlayan önemli bir lojistik stratejisi haline getirmiştir. Wal Mart bu üstünlüğü yakalayan en ünlü firmalardan biridir (Stalk vd., 1992). Onun yanı sıra başka firmalar da çapraz sevkiyat uygulamalarıyla büyük başarılar sağlamıştır (Eastman Kodak Co. (Cook vd., 2005); Goodyear GB Ltd. (Kinnear, 1997); Dots, LLC (Napolitano, 2011) ve Toyota (Witt, 1998)).

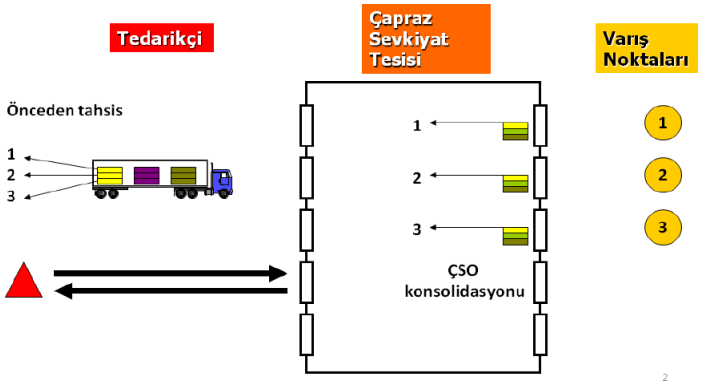
2.2. Çapraz Sevkiyat Çeşitleri

Napolitano (2000) çapraz sevkiyat sistemlerini üç gruba ayırmaktadır (Ertek, 2010). *Birinci çeşit* çapraz sevkiyatta, önceden tahsis edilmiş tedarikçi birleştirmesi (consolidation) bulunmaktadır (Şekil 2.2). Tedarikçi varış noktaları için ürün çeşidi ve miktar bilgisine sahiptir. Bu bilgi ışığında ürünleri birleştirerek gönderir.



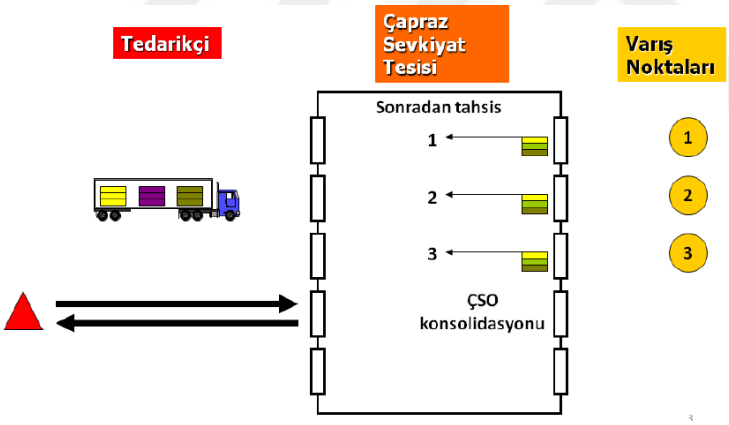
Şekil 2.2. Birinci çeşit çapraz sevkiyat (Ertek, 2010)

Bu sevkiyat türünde, farklı türde ürünler farklı adette çoklu palet halinde birleştirilmiştir (consolidation) ve her bir palet her bir üründen içermektedir. Her bir paletin varış noktası tedarikçide önceden tahsis edilmiştir. *İkinci çeşit* çapraz sevkiyatta, önceden tahsis edilmiş Çapraz Sevkiyat Operatörü (ÇSO) birleştirmesi (consolidation) bulunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. İkinci çeşit çapraz sevkiyat (Ertek, 2010)

Her bir paletteki her bir ürünün varış noktası tedarikçide belirlenmiştir ancak çapraz sevkiyat merkezine ürün temelinde tekli paletler olarak nakliye edilmiştir. Çoklu paletlerle birleşitirme (consolidation) çapraz sevkiyat merkezinde gerçekleştirilir. Bu nedenle ÇSO birleştirmesi olarak adlandırılır. *Üçüncü çeşit* çapraz sevkiyat, sonradan tahsis edilmiş ÇSO birleştirmesi olarak adlandırılır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Üçüncü çeşit çapraz sevkiyat (Ertek, 2010)

Tedarikçi ürünlerin varış noktalarını belirleyecek herhangi bir etiket olmaksızın istenen miktarı çapraz sevkiyat merkezine her bir üründen tekli birer palet şeklinde gönderir. Her bir paletin içeriği ve ulaştırılacağı varış noktası çapraz sevkiyat merkezinde belirlenir ve ÇSO tarafından birleştirme (consolidation) gerçekleştirilir.

2.3. Çapraz Sevkiyat Merkezlerinde Bilgi Sistemlerinin Önemi

Çapraz sevkiyat merkezlerinde bilgi sistemlerinin kullanımı merkez içindeki operasyonların yönetilmesi için büyük bir önem taşımaktadır. Witt (1998), Yu ve Egbelu (2008)'e göre çapraz sevkiyatın başarılı bir uygulaması için çapraz sevkiyat operasyonlarını planlayıp kontrol edecek yazılımlar (Depo Yönetim Sistemleri- Warehouse Management Systems-WMS) önemli bir rol oynamaktadır. Çapraz sevkiyat merkezleri için gerekli otomatik donanım (malzeme aktarma araçları, ayrıştırma sistemleri vb.) kullanıma açıktır ve kolaylıkla erişilebilmektedir. Fakat en az çapraz sevkiyat merkezlerindeki donanım kadar merkezin başarısında öneme sahip olan yazılımların da merkezin kendine özgü özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre ele alınarak geliştirilmesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat merkezlerinde çalışan uzmanlar tarafından yapılan araştırmalarda, etkin bir çapraz sevkiyat sisteminin oluşturulmasında bilgi sistemleri desteğinin eksikliği önemli bir engel olarak gösterilmektedir. Bu nedenle, sistem gereksinimleri doğru bir şekilde tanımlanmalı, merkezin gereksinimleri fiziksel olarak tanımlandıktan sonra bilgi ve iletişim sistemleriyle desteklenmelidir.

Belirtilen yazılımların kullanıldığı çapraz sevkiyat merkezleri, tam ve zamanında bilgi aktarımıyla doğru bir şekilde çalışabilir. Geleneksel dağıtımla mukayese edildiğinde, çapraz sevkiyattaki bilgi akışının sisteme olan etkisi belirgin ölçüde daha önemlidir (Richardson, 1999). Örneğin, çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonları doğru kapılara atamak ve doğru sırada sıralamak için, ürünler merkeze varmadan önce kamyonların varış zamanları ve ürünlerin gitmesi gereken noktalar bilinmelidir. Gelen ve giden kamyonların eş zamanlı gelişleri sağlanmalıdır. Elektronik Veri Değişimi (Electronic Data Interchange- EDI), Sevkiyat Konteynır İşaretleme (Shipping Conteyner Marking-SCM), barkodlama ve ürünlerin Evrensel Ürün Koduna (Universal Product Code-UPC) göre taranması gibi teknolojik araçların yer aldığı sistemler bilgi akışını sağlamak için kullanılmaktadır. Kullanılan bilgi sistemlerinin yanı sıra, tedarik zinciri içinde yer alan üyeler de gerekli bilgiyi iletmek ve ilgili teknolojileri kullanmak için istekli olmalıdır. Tedarik zinciri boyunca iyi bir işbirliği çapraz sevkiyat sisteminin doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır (Napolitano, 2011; Witt, 1998;Richardson, 1999).

2.4. Çapraz Sevkiyat Merkezlerindeki Karar Problemleri

Çapraz sevkiyat uygulayıcılarının, tasarım ve operasyonel süreçte birçok kararla ilgilenmesi gerekmektedir. Bu kararlar, çapraz sevkiyat merkezinin verimliliği üzerinde ciddi bir etkisi olacağı için çok dikkatli bir şekilde alınmalıdır. Bu konuda bazı problemler uzun dönemli (stratejik veya taktiksel) kararları etkilerken, bazıları ise kısa dönemli kararları (operasyonel) etkilemektedir.

Planlama sürecinde alınması gereken ilk kararlar, çapraz sevkiyat merkezinin nereye kurulması gerektiğini ve çapraz sevkiyat merkezi için en iyi yerleşimi belirleyen stratejik kararlardır. Belirlenen çapraz sevkiyat merkezi bir tedarik zinciri ağının parçası olmaktadır. Bu nedenle, ürünlerin talebi karşılayacak ve maliyetleri en küçükleyecek şekilde ürün akışının belirlenmesi taktiksel düzeydeki kararları oluşturmaktadır. Daha sonra yöneticiler, ürünlerin çapraz sevkiyat merkezine varmadan önce farklı yerlerden toplanmasını ve çapraz sevkiyat merkezinde birleştirildikten sonra birçok müşteriye dağıtılmasını içeren operasyonel düzeydeki kararları içeren, araç rotalama problemiyle karşı karşıya kalmaktadır. Diğer bir operasyonel problem ise çapraz sevkiyat merkezinde kamyonların kapılara atanması ve kapılarda çizelgelenmesidir. Bunların yanı sıra yöneticiler, ürünlerin yüklenmesi ya da boşaltılması için kaynakların (iş gücü, malzeme taşıma araçları vb.) çizelgelenmesi, en iyi ürün aktarma yönteminin belirlenmesi, ürünlerin geçici olarak stoklanacakları yerlerin belirlenmesi ve en iyi ürün paketleme sırasının belirlenmesi gibi problemlerle de karşı karşıya kalmaktadır (Van Belle vd.,2012).

Çapraz sevkiyat merkezlerinin yaşam çevrimi boyunca çözülmekte olan karar problemleri, Van Belle vd. (2012), Boysen ve Fliedner (2010) tarafından yapılan sınıflandırmalar dikkate alınarak, stratejik düzeyden operasyonel düzeye doğru sıralanmıştır:

- Çapraz sevkiyat terminallerinin yerinin belirlenmesi
- Merkezlerin iç yerleşiminin belirlenmesi
- Araç rotalama
- Merkez içindeki kaynakları çizelgeleme
- Kamyonların kapılara atanması ve çizelgelenmesi

İzleyen kısımda her bir karar problemi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.4.1. Çapraz sevkiyat merkezlerinin yerinin belirlenmesi

Bir ya da daha fazla çapraz sevkiyat merkezinin yerinin belirlenmesi tedarik zincirinde dağıtım ağının tasarımının bir parçasıdır. Çapraz sevkiyat merkezlerinin yerinin belirlenmesi stratejik bir karar olmasının yanı sıra bu problem belirlenen ağ boyunca ürün akışı göz önünde bulundurularak çözülebilmektedir. Stratejik bir problem olan çapraz sevkiyat terminalinin yerinin belirlenmesi (ya da diğer depo yeri belirleme türleri) veya birçok çapraz sevkiyat terminalinin bulunduğu tüm dağıtım ağının tasarlanması literatürde oldukça tartışılmıştır. Ele alınan çalışmalar belirtilen problemin çözülmesinin yanı sıra dağıtım ağı boyunca en iyi ürün akışının belirlenmesini de sağlamaktadır (Van Belle vd., 2012).

Çapraz sevkiyat merkezlerinin yerlerinin belirlenmesine yönelik ilk çalışma Sung ve Song (2003) tarafından yapılmıştır. Belirtilen problemde ürünler, tedarik noktalarından talep noktalarına çapraz sevkiyat merkezleri aracığıyla aktarılmaktadır. Bu çalışma, toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde belirli çapraz sevkiyat merkezlerinin içerisinden hangi çapraz sevkiyat merkezlerinin kullanılması gerektiğinin ve kaç araca ihtiyaç duyulacağının belirlenmesini amaçlamıştır. Yazarlar problemin çözümü için bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problem NP-zor yapıya sahip olduğu için çözümünde TS tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Çözüm sonuçları önerilen algoritmanın makul zamanda uygun çözümler verdiğini göstermiştir. Sung ve Yang (2008), ilgili çalışmayı geliştirerek TS algoritmasında bazı yenilikler önermiştir. Aynı zamanda, Küme Ayrıştırma (Set-Partitioning-SP) tabanlı bir problem formulasyonu sunmuşlar ve kesin çözümlerin bulunması için dal-fiyat (branch-and-price) algoritması önermişlerdir. Gümüş ve Bookbinder (2004), benzer problemi çok ürünlü ve tedarik noktalarından talep noktalarına doğrudan aktarımın izin verildiği bir durum için ele almıştır. Yazarlar, problem için bir karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Küçük boyutlu test problemleri çözülürken bazı maliyet parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Farklı bir yaklaşım Jayarman ve Ross (2003) tarafından uygulanmıştır. Bir merkezi üretim tesisinden bir veya daha fazla dağıtım merkezine gönderilecek olan ürünlerin çok kademeli bir yapıdaki dağıtım problemini ele almışlardır. İlgili problemde ürünler müşterilere çapraz sevkiyat merkezleri aracılığıyla gönderilmektedir. Birinci aşamada dağıtım merkezleri ve çapraz sevkiyat merkezlerinin en iyi yerlerinin seçimi için stratejik bir model kullanılmıştır. İkinci

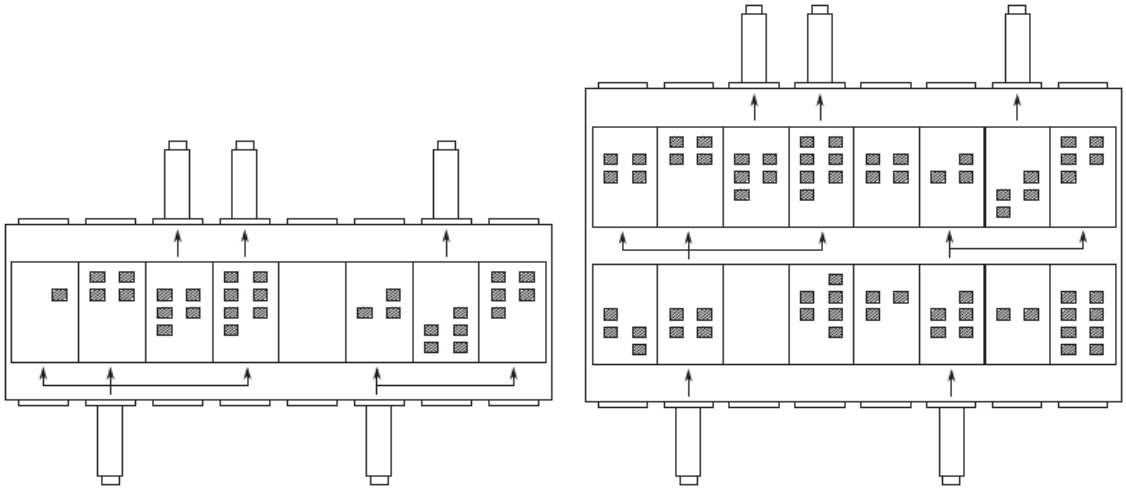
aşamada ise dağıtım merkezleri ve çapraz sevkiyat merkezleri üzerinden taşınması gereken ürün miktarlarını belirleyecek bir operasyonel model önerilmiştir. İlgili model müşteri taleplerini karşılarken taşıma maliyetini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Yazarlar, büyük boyutlu problemlerin çözümü için SA algoritması önermişlerdir. Aynı yazarlar, Jayarman ve Ross (2008), problemin çözümü için SA tabanlı iki farklı sezgisel önermişlerdir. Sonuçlar SA ve TS algoritmalarının birleştirildiği sezgiselin daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Bachlaus vd. (2008), tedarikçileri, tesisleri, dağıtım merkezlerini, çapraz sevkiyat merkezlerini ve müşterileri içeren çok kademeli bir tedarik zincirini ele almıştır. Amaç, tedarik zinciri boyunca malzeme akışını eniyileyerek, en iyi sayıda ve en uygun yerdeki tedarikçilerin, tesislerin, dağıtım merkezi ve çapraz sevkiyat merkezlerinin belirlenmesidir. Problem, toplam maliyeti enküçükleyecek ve tesis ile hacim esnekliğini enbüyükleyecek şekilde çok amaçlı eniyileme modeli olarak ele alınmıştır.

2.4.2. Merkezlerin iç yerleşiminin belirlenmesi

Çapraz sevkiyat merkezlerinde verilmesi gereken diğer bir stratejik karar, merkezin iç yerleşimin belirlenmesidir. Çapraz sevkiyat merkezinin yerleşimi, merkezin içindeki alanların düzenlenmesinin yanı sıra boyutlarını ve şeklini belirtmektedir. Bartholdi ve Gue (2004), çapraz sevkiyat merkezinin şekli üzerine odaklanmıştır. Mevcut çapraz sevkiyat merkezlerinin çoğu, uzun, dar ve dikdörtgen (I şeklinde) şeklindedir, fakat aynı zamanda U, T, H veya E şeklinde olanlar da vardır. İlgili çalışmada çapraz sevkiyat merkezinin şeklinin, performansını nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Farklı şekillerdeki çapraz sevkiyat merkezleri için iş gücü maliyetlerinin ölçüldüğü testler yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, daha küçük çapraz sevkiyat merkezleri (150 kapıdan daha az kapısı olan) için I-şeklinin daha etkin olduğu, orta büyüklükteki çapraz sevkiyat merkezleri için T-şeklinin en iyi ve 200 kapıdan daha fazla kapısı olan çapraz sevkiyat merkezleri için X-şeklinin en iyi olduğu tespit edilmiştir. Diğer çalışmalar, ürünlerin geçici olarak depolandığı alanların tespitiyle ilgilidir. Vis ve Roodbergen (2008), gelen ürünlerin geçici olarak depolanacağı alanın belirlenmesiyle ilgilenmiştir. Önerdikleri algoritma, tasarım aşamasında en iyi sayıda paralel depolama alanlarının ve uzunluklarının belirlenmesinde kullanılabilmektedir.

Şekil 2.5' te tek ve çift kademeli depolama alanlarına sahip çapraz sevkiyat merkezleri gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.5. Tek kademeli (a) ve çift kademeli (b) depolama alanları (Gue ve Kang, 2001)

Gue ve Kang (2001), kademeli yapıya sahip depolama kuyruklarının benzetimini yapmışlardır. Sonuçlar, tek kademeli ve daha kısa uzunluktaki depolama alanlarının daha iyi olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda iki kademeli depolama alanlarının çok kademeli olanlarına göre belirgin düzeyde daha az verimliliğe sahip olduğu görülmüştür.

2.4.3. Çapraz sevkiyat merkezleri için araç rotalama

Çapraz sevkiyat uygulanan sistemlerde ürünlerin farklı yerlerden toplanarak çapraz sevkiyat merkezlerinde birleştirildikten (consolidation) sonra birçok bölgeye dağıtılması gerekmektedir. Hem ürünleri toplama hem de dağıtma süreci araç rotalama problemini içerirken ve bazı çalışmalar çapraz sevkiyat ve araç rotalama problemini eş zamanlı olarak ele almaktadır. İlk yaklaşım Lee vd. (2006) tarafından ele alınmıştır. Çalışmadaki amaç, araçların taşıma ve sabit maliyetlerini enküçükleyecek, toplama ve dağıtım için en iyi rotalama çizelgesinin bulunmasıdır. Yazarlar, problemin çözümü için bir tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Problemin çözümü için TS algoritmasını önermişlerdir. Liao vd. (2010), aynı problemin çözümü için başka bir TS algoritması önermiştir. Wen vd. (2009), Çapraz Sevkiyatla Araç Rotalama (Vehicle Routing Problem with Cross Docking –VRPCD) problemi olarak adlandırılan konuyu ele almışlardır. Problemde, tedarikçilerden

siparişler homojen bir araç filosuyla toplanmaktadır. Ardından, bu siparişler çapraz sevkiyat merkezinde birleştirilerek (consolidation), aynı araç kümesiyle müşterilere gönderilmektedir. Gelen kamyonlardan boşaltılan ürünler, birleştirildikten sonra giden kamyonlara yüklenmektedir. Tüm araçlar için toplam ulaşım süresini enküçükleyecek şekilde karma tamsayılı programlama modeli sunulmuştur. Problemin çözümü için bir TS algoritması önerilmiştir.

2.4.4. Çapraz sevkiyat merkezi içindeki kaynakların çizelgelenmesi

Bir kamyon çizelgesinde, terminal içindeki kaynak çizelgelemesi problemi, tarama, ayrıştırma, ürünleri kapılar arasında taşıma ve birçok kaynağın eş güdümünün sağlanması gereğinden dolayı, tek başına karmaşık bir çizelgeleme problemidir. Li vd (2004)'nin yanı sıra Alvarez-Perez vd.(2009) belirtilen görevleri bir makine çizelgeleme problemi gibi modelleyerek farklı meta-sezgisellerle çözmüşlerdir. Kamyon çizelgeleme problemi ilgili problemle oldukça birbirine bağlıdır, çünkü her bir gelen ve giden kamyon arasındaki gerçek zaman aralığı ayrıntılı bir kaynak çizelgelemenin sonucudur. Ancak mevcut çalışmalar böyle bir yaklaşımı desteklememektedir. Çünkü bu durum her bir işçinin ayrıntılı bir şekilde çizelgelenmesini gerektirecek bire bir izlemeye dayalı bir bilgi sistemine ihtiyaç doğuracak ve beklenmeyen durumlarda işçilerin esnekliğini kısıtlayacaktır. Eski verilerden elde edilen ortalama ürün aktarma sürelerinin, yeterli bir hassasiyetle bu ilişkiyi yansıtması gerektiği için gelen ve giden kamyonlar (ve görevler) arasındaki sabit zaman aralıklarının, taşımanın gerçekleştirildiği kapılar arasındaki uzaklığa bağlı olduğu kabul edilmiştir (Van Belle vd.,2012).

2.4.5. Kamyonların kapılara atanması ve çizelgelenmesi

Yapılan çalışmalar incelendiğinde ve çapraz sevkiyat merkezlerinin yapısı dikkate alındığında, kamyon çizelgeleme problemlerinin temel olarak tek kapılı ya da çok kapılı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Tek kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde bir tek kabul ve bir tek sevkiyat kapısı bulunmakta, gelen kamyonlar kabul kapısında giden kamyonlar ise sevkiyat kapısında sıralanmaktadır. Bu nedenle kamyonların kapılara atanması gibi bir durum söz konusu olmamaktadır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde ise kabul ve sevkiyat kapılarının sayısı birden fazladır. Kamyonlar kabul ve

sevkiyat kapılarına atanmakta ve her bir kapıya atanan kamyonlar kendi içinde kapılarda sıralanmaktadır.

Çapraz sevkiyat merkezleri, öncelikli olarak gelen ve giden kamyonların etkin bir şekilde boşaltılıp yüklenmesini amaçlar. Sipariş hacmi arttığında veya ürün teslimatı kontrol edilemediğinde, merkez içindeki ürün miktarının artması çapraz sekiyat merkezinin doğru bir şekilde yönetilmesini gerektirir. Bu nedenle kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel problemlerden biridir. McWilliams vd. (2005) kısa dönemli kamyon çizelgeleme problemini ilk ele alan araştırmacılar olmuştur. İlgili çalışmada ürünlerin aktarılmasına yönelik operasyon süresinin enküçüklenmesi için bir posta servis merkezi ele alınmıştır. Genetik Algoritmanın (Genetic Algorithm- GA) kullanıldığı benzetim tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Yu ve Egbelu (2008), tarafından toplam operasyon süresinin enküçüklenerek tüm gelen ve giden kamyonlar için eniyi çizelgenin tespit edilmesi amacıyla bir matematiksel model önerilmiştir.

Van Belle vd. (2012), kamyon çizelgeleme problemini ele alan çalışmaları üç guruba ayırmıştır. Birinci grup, bir tek kabul ve bir tek sevkiyat kapısından oluşan çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyonların çizelgelenmesini ele alan çalışmalardır (Yu ve Egbelu, 2008; Vahdani ve Zandieh, 2010; Boloori Arabani vd., 2010; Larbi vd., 2011; Boloori Arabani vd., 2011; Boloori Arabani vd., 2012).

Yu ve Egbelu (2008), toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi için gelen ve giden kamyonların kabul ve sevkiyat kapılarındaki en iyi sırasının bulunmasını sağlayan matematiksel bir model geliştirmiştir. Ele alınan problemde sevkiyat kapısının önünde geçici stoklama alanının olduğu varsayılmıştır. Geçici stoklama alanından geçecek ürün sayısını ve dolayısıyla toplam operasyon süresini en küçükleyecek şekilde hem gelen hem giden kamyonların sıralanması için dokuz adet sıralama stratejisi önerilmiştir.

Vahdani ve Zandieh (2010), Yu ve Egbelu (2008) tarafından önerilen çapraz sevkiyat sistemi içindeki kamyonların çizelgelenmesi için GA, SA, TS, Elektromagnetizm Benzeri Algoritma (Electromagnetism-like Algorithm-EMA), Değişken Komşuluk Arama

(Variable Neighbourhood Search-VNS), gibi beş meta-sezgisel algoritma uygulamıştır. VNS'nin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Boloori, Arabani vd. (2010), gelen ve giden kamyonların bir çapraz sevkiyat sistemi içerisinde tam zamanında (just in time) yaklaşımına göre çizelgelenmesini önermiştir. Amaç erken ve geç tamamlanma olmak üzere iki ölçütün eş zamanlı olarak enküçüklenmesidir. Problemin çözümü için GA, Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO) ve Diferansiyel Evrim (Differantial Evolution-DE) olmak üzere üç meta-sezgisel önerilmiştir. Çözüm kalitesi açısından GA'nın, çözüm süresi bakımından da PSO'nun en iyi olduğu belirlenmiştir.

Boloori Arabani vd. (2011), gelen ve giden kamyonları Yu ve Egbelu (2008)'in çapraz sevkiyat sisteminde olduğu gibi çizelgelemek için GA, TS, PSO, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization- ACO) ve DE meta-sezgisellerini önermiştir. GA, PSO, ACO ve DE algoritmaları toplam operasyon süresinin enküçüklenmesinde benzer sonuç verirken TS farklı sonuçlar göstermiştir.

Larbi vd. (2011), tek kabul ve sevkiyat kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde sadece giden kamyonların çizelgelenmesini ele almıştır. Yapılan çalışmada geçici stoklamaya izin verilmiş veya bir giden kamyon yüklenirken yükleme yarıda bırakılarak (yüklemenin bölünmesine izin verilmiş) kamyon park alanında bekletilmiş ve yerine başka bir kamyon alınmıştır. Toplam maliyeti (depolama ve yüklemenin bölünmesi) en küçükleyecek şekilde giden kamyonların sıralamasını tespit etmek için sezgisel yaklaşımlar önerilmiştir.

Boloori Arabani vd. (2012), çapraz sevkiyat sistemi içinde gelen ve giden kamyonların çizelgelenmesi ile ilgilenmiştir. Toplam operasyon süresinin ve giden kamyonlar için toplam gecikmenin eş zamanı olarak en küçüklenmesi amaç fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Çalışmada üç adet çok amaçlı algoritma geliştirilmiştir (Sub-Population Genetic Algorithm-II -SPGA-II, Sub-Population Particle Swarm Optimization-II -SPPSO-II ve Sub-Population Differential Evolution Algorithm-II -SPDE-II). Üç algoritmanın da performansına bakıldığında SPPSO-II'nin diğer iki algoritmaya göre daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

Sadykov (2012), çapraz sevkiyatta stoğu azaltmayı amaçlamıştır. Gelen kamyonlar boşaltıldığında, giden kamyonların hazır olmaması durumunda ürünler geçici stoklama alanında stoklanmakta ve stoklama maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Hem gelen hem giden kamyonların çizelgesinin eniyilenmesi için bir dinamik programlama algoritması önerilmiştir.

Mohtashami (2015), tek kabul ve tek sevkiyat kapısına sahip bir çapraz sevkiyat merkezinde toplam operasyon süresini enküçükleyecek şekilde gelen ve giden kamyonların çizelgelenmesini amaçlamıştır. Belirtilen sistem geçici stoklamaya izin verilen iki farklı senaryoya göre incelenmiştir. Kamyon çizelgeleme probleminin çözümü için GA tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir.

Amini ve Tavakkoli-Moghaddam (2016), tek kabul ve sevkiyat kapısına sahip bir çapraz sevkiyat merkezinde toplam gecikmeyi ve toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını enküçükleyerek gelen ve giden kamyonların çizelgelenmesini sağlayacak bir matematiksel model sunmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak kamyon arızaları da göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada üç adet çok amaçlı algoritma önerilmiştir (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II -NSGA-II, Multi Objective Simulated Annealing, - MOSA, Multi-Objective Differential Evolutionary -MODE).

Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyon çizelgeleme probleminin amacı, gelen ve giden kamyonların hangi kapılarda ve hangi sıra ile boşaltma ya da yükleme işlemini yapacağının belirlenmesidir. Van Belle vd. (2012) sınıflandırmasına göre, ikinci guruptakiler çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde, sadece gelen yada giden kamyonların çizelgelenmesini incelemektedir (McWilliams vd. (2005, 2008); Alpan vd., 2011; Boysen vd., 2013; Konur ve Golias, 2013; Liao vd., 2013).

McWilliams vd.(2005, 2008), gelen kamyonların çizelgelenmesini çapraz sevkiyat merkezi kullanan bir kargo dağıtım firması için ele almıştır. Bu tür bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen kamyonlardan boşaltılan ürünler sabit bir konveyör hattıyla giden kamyonlara aktarılmaktadır. Problemin çözümü ile en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaçlanmış ve benzetim tabanlı bir çizelgeleme algoritması kullanılmıştır. Benzer problemin çözümü için farklı bir yaklaşımı önerilmiştir (McWilliams, 2009b,

2010). Amaç iş yükünün dengelenmesidir. Problem min/max programlama modeli olarak modellenmiş ve SA gibi meta-sezgiseller kullanılarak çözülmüştür. Problemin dinamik versiyonu da McWilliams (2009a) tarafından ele alınmıştır.

Alpan vd.(2011), geçici stoklamaya izin verilen çok kapılı bir çapraz sevkiyat sistemini ele almıştır. Toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde giden kamyonların sıralamasını tespit etmek için sınırlandırılmış dinamik programlama yaklaşımı önerilmiştir.

Konur ve Golias (2013), çapraz sevkiyat sisteminde gelen kamyonların varış zamanlarının bilinmediğini varsaymıştır. Ancak gelen kamyonların gelişlerinin zaman penceresi (varış zamanının alt ve üst sınırı) bilinebilmektedir. Gelen kamyonların pareto etkin çizelgelerinin bulunması için GA tabanlı bir sezgisel önerilmiştir.

Liao vd. (2013), çok kapılı bir çapraz sevkiyat sisteminde gelen kamyonların kapılara atanması ve sıralanması problemini ele almışlardır. Toplam ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesi amacıyla altı adet meta-sezgisel yaklaşım (SA, TS, ACO, DE ve iki adet melez DE algoritması) önerilmiştir.

Son gruptakiler çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen ve giden kamyonların çizelgelendiği çalışmalardır. Literatürde bu grupta erişilebilen az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bozer ve Carlo (2008), gelen ve giden kamyonların kapılara atanması ile ilgilenmiştir. Gelen ya da giden kamyon sayısının kabul ya da sevkiyat kapısı sayısına eşit olduğunu ve tüm kamyonların sıfir anında hazır olduğunu varsaymışlardır. Kamyonların kapılara atanmasını sağlamak için SA tabanlı bir sezgisel önerilmiştir.

Miao vd. (2009), kamyonların kapılara atanması problemini zaman penceresi, operasyon süresi ve kapasite kısıtı altında ele almıştır. Eğer bazı kamyonlar sınırlı kapı sayısı nedeni ile atanamazsa ve dolayısıyla gecikirse kamyonlar tarafından gerçekleştirilmeyen tüm sevkiyat için ceza maliyeti oluşmaktadır. Bu problem tam sayılı programlama modeli ile modellenmiştir. Toplam operasyonel maliyetin en küçüklenmesi için TS algoritması ve GA önerilmiştir.

Boysen (2010), çapraz sevkiyat merkezinde kamyon çizelgeleme probleminin çözümü için dinamik programlama yöntemi ve SA algoritması önermiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak geçici stoklamaya izin verilmemiştir. Gelen kamyonlardan ürünler boşaltıldıktan sonra doğrudan giden kamyonlara yüklenmesi gerekmektedir.

Lee vd. (2012) kamyonların kapılara atanması ve kapılardaki sıralarının belirlenmesi için bir karma tamsayılı programlama modeli önermiştir. Belirtilen çalışmada belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesi için GA kullanılmıştır.

Joo ve Kim (2013), kamyon çizelgeleme problemini üç farklı kamyon grubunu (gelen kamyonlar, giden kamyonlar, gelen- giden kamyonlar) ele alarak incelemiştir. Hem gelen hem giden kamyon olarak işlev gören bu kamyon kümesi ilk kez araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. SE algoritması ve GA kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminin çözümünde enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesi için kullanılmıştır.

Van Belle vd. (2013) çalışmalarında çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen ve giden kamyonların çizelgelenmesini ele alarak büyük boyutlu problemlerin çözümünde iki farklı TS algoritması kullanmıştır.

Kuo (2013), çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen ve giden kamyonları çizelgeleyerek toplam operasyon süresini (makespan) enküçüklemeyi amaçlamıştır. Problemin çözümü için Değişken Komşuluk Arama (Variable Neigbourhood Search-VNS) yöntemi ve dört SA algoritması önerilmiştir. Önerilen VNS yönteminin çapraz sevkiyat merkezindeki problemin çözümü için daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

3. ÇAPRAZ SEVKİYATTA KAPI ATAMA VE KAMYON ÇİZELGELEME

Çapraz sevkiyat, bir dağıtım ağında, ürünlerin dağıtım merkezlerine gelen kamyonlar aracılığıyla teslim edilerek merkezde ayrıştırıldığı, müşteri taleplerine göre yeniden birleştirildiği ve müşterilere teslim edilmek üzere giden kamyonlara yüklendiği yenilikçi bir sistemdir. Bu çalışmada, çapraz sevkiyat merkezindeki her bir kamyonun kapılara atanması ve kapılardaki sırasının belirlenmesine yönelik olan kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Probleme ilişkin özelliklerin belirlenebilmesi için çapraz sevkiyat merkezlerine ilişkin özellikler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1. Çapraz Sevkiyat Merkezlerine İlişkin Özellikler

Çapraz sevkiyat merkezleri, bazı karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu özellikler, fiziksel özellikler, operasyonel özellikler ve sistem akışıyla ilgili özelliklerdir (Van Belle vd., 2012):

Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellikler, çapraz sevkiyat merkezlerinin uzun süreli ve sabit olan özellikleridir. İlgili özellikler, çapraz sevkiyat merkezinin şekli, kabul ve sevkiyat kapılarının sayısı ve iç taşımaya aittir.

a) ***Merkezin şekli:*** Çapraz sevkiyat merkezleri birçok farklı türde şekle ve yapıya sahip olabilir. Belirtilen şekiller genellikle "I, L, U, T, H, E" gibi harflerle tanımlanmaktadır.

b) ***Kabul ve sevkiyat kapısı sayıları***: Çapraz sevkiyat merkezleri aynı zamanda kapı sayılarına göre de tanımlanır. Uygulamada, çapraz sevkiyat merkezlerinin kapı sayıları 6 ila 8'den 200 kapının üzerine kadar çıkabilmektedir, 500'den fazla kapıya sahip çapraz sevkiyat merkezleri de bulunmaktadır (Gue, 1999). Literatürde bazı çalışmalarda bir veya iki kapılı yapılara rastlanmaktadır. Bu durumda fikir gerçekçi

bir çapraz sevkiyat merkezini modellememekte fakat basitleştirilmiş bir model ile farklı yararlar sağlanabilmektedir.

c) ***İç taşıma***: Çapraz sevkiyat merkezi içindeki taşıma elle (forklift kullanan işçilerle) veya otomatik sistemlerle (konveyör hatları) gerçekleştirilebilir. Erişilebilen yapı çapraz sevkiyat merkezi içindeki taşınacak ürün türüne bağlıdır. Örneğin LTL taşıyıcıları genellikle palet yüküne sahip oldukları için merkez için forklift kullanımı uygun görülmektedir. Konveyör sistemleri ise daha küçük paketlerin taşındığı kargo taşımacılığında ön plana çıkmaktadır. Belirtilen iki taşıma modunun birleştirilerek de kullanılması mümkündür.

Operasyonel özellikler

Bazı operasyonel özellikler çapraz sevkiyat merkezinin fonksiyonelliğini etkileyebilmektedir. İlgili özellikler servis modu ve bölünebilmedir.

a) ***Servis modu:*** Boysen ve Fliedner (2010) 'a göre çapraz sevkiyat merkezinin servis modu, gelen ve giden kamyonların kapılara atanmasındaki esnekliği belirler. Özel servis modu kullanıldığında, kapılar gelen ve giden kamyonlara özel olarak tahsis edilmiştir. Eğer bu servis modu kullanılırsa, çapraz sevkiyat merkezinin bir tarafı gelen kamyonlara, diğer tarafı giden kamyonlara tahsis edilir. İkinci servis modu ise karma mod olarak adlandırılmaktadır. İlgili modda, gelen ve giden kamyonlar tüm kapılarda işlem görebilmektedir. Aynı zamanda bu iki mod birlikte kullanılabilmektedir. Kamyonların bir bölümü özel moda göre diğer bölümü ise karma moda göre işlem görebilmektedir.

b) ***Bölünebilme:*** Eğer bölünebilmeye izin verilirse, bir kamyonun boşaltma veya yükleme işlemi bölünerek araya başka bir kamyonun işlemi alınabilir. Araya alınan kamyonun işlemi bittikten sonra, diğer kamyon boşaltma ya da yükleme işlemini tamamlamak üzere tekrar kapıya yönlendirlir.

Sistem akışıyla ilgili özellikler

Çapraz sevkiyat merkezinde aktarılan ürünlerin süreç içindeki akışı oldukça farklı olabilir. Sistem akışıyla ilgili özellikler varış özelliği, ayrılma zamanları, ürünlerin birbirinin yerine geçebilir olması ve geçici depolamadır.

a) Varış özelliği: Ürünlerin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanları, gelen kamyonların merkeze varış zamanlarına bağlıdır. Eğer gelen kamyonlar belirli zamanlarda ve birlikte varıyorlarsa, varış zamanı özelliği belirli zaman dönemlerini içermektedir. Örneğin, LTL firmalarına hizmet veren çapraz sevkiyat merkezleri genellikle iki zaman periyodunda ürün kabul etmektedir. Gün içinde farklı bölgelerden ürün toplayan kamyonlar, çapraz sevkiyat merkezine akşam varmaktadır. Gece boyunca ürünler ayrıştırılmakta ve giden kamyonlar sabah çapraz sevkiyat merkezinden ayrılmaktadır. Problemi basit hale getirmek için bazı çalışmalar gelen kamyonların aynı zamanda ve birlikte (zamanın en başında) vardığını kabul etmektedir. Diğer yandan, bölgenin dışından gelen kamyonlar çapraz sevkiyat merkezine sabah erken saatlerde ulaşmakta ve gün boyunca dağıtım işlemi yapılmaktadır. Varış zamanları ile ilgili diğer bir olasılık dağınık olmaları ve gün içinde kamyonların farklı zamanlarda çapraz sevkiyat merkezine ulaşmasıdır. Varış zamanı özelliği, çapraz sevkiyat merkezinde işçilerin ve kaynakların çizelgelenmesinde ve tıkanıklığın oluşmasında önemli bir etkiye sahiptir (Van Belle, 2012).

b) Ayrılma zamanları: Kamyonların çapraz sevkiyat merkezinden ayrılma zamanları kısıtlanabilir veya kısıtlanmaz. Kamyonlar boşaltma ve yükleme işlemini tamamladıktan sonra çapraz sevkiyat merkezinden ayrılır. Bazı durumlarda ise kamyonların belirli bir zamandan önce çapraz sevkiyat merkezinden ayrılması istenir. Belirtilen durumun hem gelen hem de giden kamyonlar için geçerli olması mümkündür.

c) Ürünlerin birbirinin yerine geçebilir olması: Çapraz sevkiyat merkezinde aktarılan ürünler genellikle birbirinin yerine geçebilen bir özelliğe sahip değildir. Bu durumda, tüm ürünler belirli varış noktalarına veya kamyonlara aittir. Ürünler

çapraz sevkiyat merkezine varmadan önce genellikle hangi müşteriye yada giden kamyona atanması gerektiği bilinmektedir. Bununla birlikte, ürünlerin birbirinin yerine geçme durumu (sonradan dağıtım) da söz konusu olabilir. İlgili durumda, sadece giden kamyonlara yüklenecek olan ürün türü ve sayısı bilinmektedir. Ürünler birbirlerinin yerine geçebilir olduğunda bazı katma değerli hizmetlerin (etiketleme vb.) uygulanması gerekmektedir.

d) ***Geçici depolama:*** Çapraz sevkiyatın temel yapısına göre, gelen ürünler depolama olmadan giden kamyonlara aktarılır. Bununla birlikte uygulamada belirtilen duruma nadiren rastlanır. Genellikle, çapraz sevkiyat merkezinin içinde ve sevkiyat kapılarının önünde ürünler geçici olarak depolanır. Bununla birlikte ürünlerin çapraz sevkiyat merkezi içinde depolanmasına izin vermemek de mümkündür. Örneğin, soğukta tutulması gereken ürünler, direkt olarak soğutulmuş gelen kamyonlardan soğutulmuş giden kamyonlara aktarılmalıdır.

Belirtilen özelliklerden yola çıkarak, literatürdeki kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada kullanılan özellikler; çapraz sevkiyat merkezi içindeki operasyonların göz önünde bulundurulması, geçici stoklama yapılması, yüklemenin bölünebilmesi, kamyon değişim sürelerinin aynı ya da farklı olması, sıfır anında tüm kamyonların hazır bulunması ve kapı türüdür.

1. Çapraz sevkiyat merkezi içindeki operasyonlar
    a. Göz önünde bulundurulur
    b. Göz önünde bulundurulmaz
2. Geçici stoklama
    a. Yapılmaktadır
    b. Yapılmamaktadır
3. Yüklemenin bölünebilmesi
    a. Bölünebilir
    b. Bölünemez
4. Kamyon değişim süresi
    a. Her kamyon için aynıdır
    b. Her kamyon için farklıdır

5. Sıfır anında tüm kamyonların hazır bulunması
    a. Hepsi sıfır anında hazırdır
    b. Her kamyon farklı zamanda hazırdır

6. Kapı türü
    a. Tek kapılı
    b. Çok kapılı

Belirtilen özellikler Çizelge 3.1'de ele alındığı çalışmalarla birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyat merkezine ilişkin özellikler ve ele alındığı çalışmalar

No	Yazarlar	ÇSM içi operasyonlar		Geçici Stoklama		Yüklemenin bölünebilmesi		Kamyon değişim süresi		Kamyonların hazır bulunması		Kapı türü	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	Konur ve Golias (2013)		*		*		*				*		*
2	Kuo (2013)		*	*			*			*			*
3	Liao vd. (2013)		*	*			*	*			*		*
4	Joo ve Kim (2013)		*	*			*			*			*
5	Bellanger vd. (2013)	*					*						*
6	Boysen vd. (2013)		*								*		*
7	McWilliams, ve McBride (2013)	*			*					*			*
8	Arabani vd. (2012)		*	*			*	*		*		*	
9	McWilliams ve McBride (2012)		*		*		*		*	*			*
10	Choy vd. (2012)	*		*				*		*			*
11	Lee vd. (2012)		*	*			*	*			*		*
12	Acar vd. (2012)		*								*		*
13	Sadykov (2012)		*	*			*			*		*	

Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyat merkezine ilişkin özellikler ve ele alındığı çalışmalar (devam)

No	Yazarlar	ÇSM içi operasyonlar		Geçici Stoklama		Yüklemenin bölünebilmesi		Kamyon değişim süresi		Kamyonların hazır bulunması		Kapı türü	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
14	Liaoa vd. (2012)		*	*				*				*	
15	Alpan vd. (2011)		*	*					*		*		*
16	Arabani vd. (2011a)		*	*			*	*		*		*	
17	Arabani vd. (2011b)		*	*			*	*		*		*	
18	Larbi vd. (2011)		*	*								*	
19	Arabani ve Ghomi (2010)		*		*		*	*		*		*	
20	McWilliams (2010)	*					*			*			*
21	Forouharfard ve Zandieh (2010)		*	*			*			*		*	
22	Vahdani vd. (2010)		*		*	*		*		*		*	
23	Soltani ve Sadjadi (2010)		*		*	*		*		*		*	
24	Vahdani ve Zandieh (2010)		*	*			*	*		*		*	
25	Boysen (2010)		*		*		*	*		*			*
26	Miao vd. (2009)		*	*			*		*		*		*
27	McWilliams (2009)	*								*			*
28	Boysen vd. (2008)		*	*			*	*		*		*	
29	Yu ve Egbelu (2008)		*	*			*	*		*		*	
30	McWilliams vd. (2005)	*			*		*	*		*			*

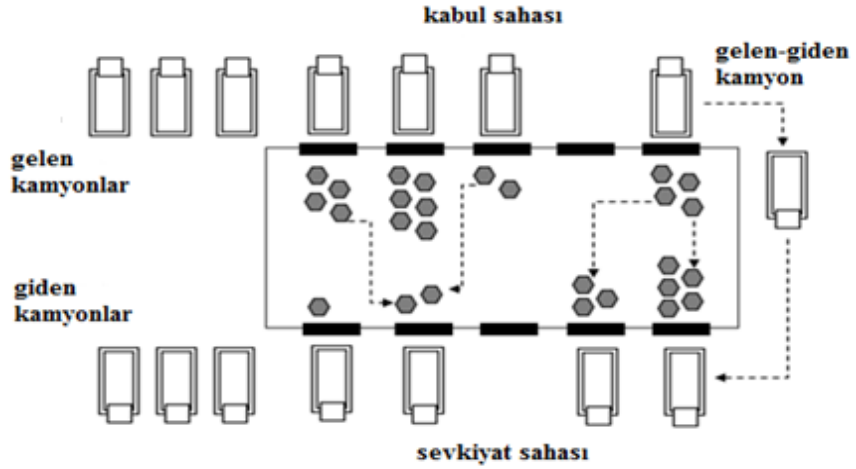
Yapılan çalışmalar çizelgede belirtilen özelliklere göre incelendiğinde, çapraz sevkiyat merkezi içindeki operasyonların çoğunda ele alınmadığı, bu nedenle ürünlerin çapraz sevkiyat merkezi içindeki hareketine ilişkin sürelerin (gelen kamyondan boşaltıldıktan sonra giden kamyona yüklenmek üzere sevkiyat kapısına varmasına kadar geçen süre) sabit alındığı görülmüştür.

Ürünler gelen kamyonlardan boşaltıldıktan sonra yüklenecekleri kamyon gelene kadar geçici olarak çapraz sevkiyat merkezinde belirlenen yerlerde beklemektedir. Dolayısıyla çalışmaların çoğunda geçici stoklamaya izin verildiği görülmüştür. Çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların içeriğinin önceden bilindiği kabul edilmiş ve genellikle çok ürünlü içeriğe sahip kamyonlar ele alınmıştır.

Kamyon değişim süresi (bir kamyonun işlemini tamamlayıp kapıdan ayrılması ve diğer kamyonun kapıya yanaşması için geçen süre), çalışmaların çoğunda aynı kabul edilmiştir. Yüklemenin genellikle bölünebilir olarak ele alınmadığı görülmüştür. Kamyonların çapraz sevkiyat merkezine varış zamanları genellikle aynı (sıfır anında hepsi hazır) olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayımın çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde hem gelen hem giden kamyonların çizelgelendiği problemlerde de aynı şekilde ele alındığı görülmüştür. Çapraz sevkiyat merkezlerindeki kapı türü göz önünde bulundurulduğunda ise çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinin daha fazla çalışmada ele alındığı tespit edilmiştir.

3.2. Problemin Tanımlanması

İşletmelerin lojistik faaliyetleri kapsamında çizelgeleme önemli bir faaliyet olup, çapraz sevkiyat merkezlerinde kaynakların etkin kullanımı iyi bir çizelgeleme yapılıp yapılmamasına bağlıdır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel yönetim problemlerinden biri kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemidir. Bu problem, çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların kapılara atanmasını ve her bir kapıdaki kamyon sırasının belirlenmesini içermektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezi ve kamyon grupları

Şekilde, çapraz sevkiyat merkezine sadece yüklerini boşaltmak üzere ***gelen*** ve sadece yüklenerek ***giden*** kamyonlar, yük boşaltmak için gelen ve bu işlem bittikten sonra tekrar yüklenmek üzere sevkiyat kapısına yönlendirilen kamyonlar (***gelen-giden***) bulunmaktadır. Gelen kamyonlarla çapraz sevkiyat merkezine ulaşan ürünler kabul kapılarında boşaltılır. Boşaltılan ürünler giden kamyonlara yüklenmek üzere ayrıştırılır ve birleştirilir. Ürünler ilgili varış noktalarına gönderilmek üzere sevkiyat kapılarındaki giden kamyonlara yüklenir.

Varsayımlar

- Tüm kamyonların çapraz sevkiyat merkezine farklı zamanlarda ulaşmaktadır ve varış zamanları bilinmektedir.

- Gelen ve giden kamyonlar birbirinden farklı ürünler içermektedir. Giden kamyonlara yüklenmesi gereken ürünler ve gelen kamyonların içindeki ürünler bilinmektedir.

- Gelen kamyonlar sırası ile atandıkları kapıda ürünleri boşaltma işlemini gerçekleştirir ve bu işlem biter bitmez kabul kapısından ayrılır. Benzer şekilde, giden kamyonlar sırası ile atandıkları kapıda yükleme işlemini gerçekleştirir ve işlem biter bitmez kapıdan ayrılır. Gelen-giden kamyonlar, atandıkları kabul kapısında ürünlerini boşalttıktan sonra ürün yüklemek üzere sevkiyat sahasına

yönlendirilir. Sevkiyat sahasındaki atandıkları kapıya sırası ile yanaşan gelen-giden kamyonlar yükleme işlemini tamamladıktan sonra kapıdan ayrılır.

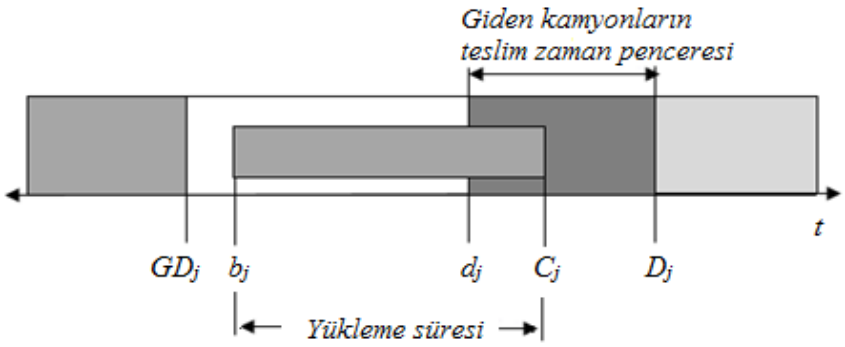
- Ürünlerin yükleme ve boşaltma operasyonları sırasında standart palet veya kutular kullanılır. Bu nedenle ürün türüne bakılmaksızın yükleme ya da boşaltma süresi tüm ürünler için aynı kabul edilmiştir. Boşaltma ve yükleme operasyonları sırasında ürünlerin araç içindeki sırası göz ardı edilmiştir.

- Yüklenecekleri kamyon çapraz sevkiyat merkezine gelip sırada hazır olana kadar bazı ürünler geçici olarak merkez içinde bekletilir.

- Birim ürün aktarma süresi (kabul kapısından sevkiyat kapısına) tüm ürünler için aynı kabul edilmiştir. Kamyon değişim süresi (bir kamyonun sıradan çıkıp diğer kamyonun sıraya girmesi için gerekli olan süre) tüm kamyonlar için aynı kabul edilmiştir.

- Kamyon değişim süresi ikiye bölünerek ele alınmıştır. İlgili süreler, bir kamyonun sıraya girmesi için geçen süre ve diğer kamyonun sıradan çıkması için geçen süredir.

Belirtilen kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminde, giden kamyonların teslim zaman penceresi özelliği dikkate alınarak toplam erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Teslim zaman penceresi, çapraz sevkiyat merkezinden ayrılan bir kamyonun yükleme işlemini tamamlaması gereken zaman aralığıdır. Bu amaç özellikle, müşterilere belirli bir zaman aralığında teslimat yapılması gereken çapraz sevkiyat sistemlerinde kullanılabilir. Bir giden kamyon için teslim zaman penceresi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Giden kamyonlar için çizelgeleme zaman penceresi

Giden kamyonlar çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarına ve yüklemesi gereken ürünlere göre çizelgelendikleri için yüklemeye başlama zamanları (b_j) ve geliş zamanları (GD_j) birbirinden farklı olmaktadır. Giden kamyonlar, dağıtım yapacakları noktalara göre farklı *teslim zaman pencerelerine* atanmaktadır. Teslim zaman penceresi, giden kamyonların yükleme kapısından en erken ayrılış zamanı (d_j) ve en geç ayrılış zamanından (D_j) oluşan bir aralıktan $[d_j,D_j]$ meydana gelmektedir. Giden kamyonların varış noktalarına müşteri tarafından belirlenen zaman aralığından önce ya da sonra ulaşmaması için, teslim zaman penceresinden erken ya da geç olacak şekilde yüklemenin tamamlanması istenilmemektedir. Erken ayrılma ve geç ayrılma durumunun eş zamanlı olarak enküçüklenmesi istenilmektedir.

- d_j: teslim zaman penceresinin alt sınırı
- D_j: teslim zaman penceresinin üst sınırı
- GD_j: giden kamyon j'nin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı
- b_j ve C_j giden kamyon j'nin yüklemeye başlama ve yüklemeyi tamamlama zamanı
- $E_j = enb\{d_j - C_j, 0\}$ ve $T_j = enb\{C_j - D_j, 0\}$ giden kamyon j için erkenlik ve geçlik değerleri

Ürün teslimatında tam zamanlama çapraz sevkiyat sisteminin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle giden kamyonlar için, müşteri tarafından belirlenen teslim zaman pencereleri dikkate alınmıştır. Eğer yükleme işlemi belirlenen teslim zaman penceresi aralığında tamamlanırsa erkenlik ya da geçlik oluşmamakta, teslim zaman penceresinin alt sınırından önce tamamlanırsa erkenlik, üst sınırından sonra tamamlanırsa geçlik oluşmaktadır.

Parametreler

I	Gelen kamyonlar kümesi (i indisi)
O	Giden kamyonlar kümesi (j indisi)
C	Gelen-giden kamyonlar kümesi (i indisi ∈ I ve j ∈ O)
P	Ürün türleri kümesi (k indisi)
R	Kabul kapıları kümesi (m indisi)
S	Sevkiyat kapıları kümesi (n indisi)
r_{ik}	Ürün türü k'dan gelen kamyon i'de bulunan miktar
s_{jk}	Ürün türü k'dan giden kamyon j'ye yüklenmesi gereken miktar
CT	Kamyon değişim süresi (TE+TL)
UT	Birim ürün boşaltma süresi
LT	Birim ürün yükleme süresi
TA	Gelen-giden kamyonlar için kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi
GL_i	Gelen kamyon i'nin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı
GD_j	Giden kamyon j'nin çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı
TE	Bir kamyonun kapıya yanaşması için geçen süre
TL	Bir kamyonun kapıdan ayrılması için geçen süre
D_j	Giden kamyon j için teslim zaman penceresinin üst sınırı
d_j	Giden kamyon j için teslim zaman penceresinin alt sınırı
V	Ürünler giriş kapısından çıkış kapısına gidene kadar harcanan süre
M	Büyük bir pozitif sayı

Karar Değişkenleri

a_i	Gelen kamyon i'nin yükünü boşaltmaya başladığı zaman
L_i	Gelen kamyon i'nin boşaltma işlemini tamamladığı zaman
b_j	Giden kamyon j'nin yüklemeye başladığı zaman
C_j	Giden kamyon j'nin yükleme işlemini tamamladığı zaman
x_{ijk}	Ürün türü k'dan gelen kamyon i'den giden kamyon j'ye aktarılan miktar

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer kamyon i den kamyon j 'ye ürün aktarılırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$p_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer giriş kapısı m'de kamyon i 'den sonra j gelirse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$q_{ijn} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer çıkış kapısı n'de kamyon i' den sonra j gelirse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

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

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

3.2.1. Matematiksel model

$$\text{Z} = \text{Enk} \sum_{j=1}^{o} (E_j + T_j) \tag{3.1}$$

k.a.

$$a_i + \left(UT \cdot \sum_{k=1}^{P} r_{ik} \right) \leq L_i \qquad \forall(\text{i} \in \text{I}) \tag{3.2}$$

$$L_i + CT \leq a_j + M \cdot \left(1 - \sum_{m=1}^{R} p_{ijm} \right) \qquad \forall(\text{i, j} \in \text{I}) \; i \neq j \tag{3.3}$$

$$\text{b}_\text{j} + \left(LT \cdot \sum_{k=1}^{P} s_{jk} \right) \leq C_j \qquad \forall(\text{j} \in \text{O}) \tag{3.4}$$

$$C_j + CT \leq b_i + M \cdot \left(1 - \sum_{n=1}^{S} q_{ijn}\right) \qquad \forall(\mathrm{i,j} \in \mathrm{O})\ i \neq j \qquad (3.5)$$

$$a_i \geq GL_i + TE \cdot \left(\sum_{m=1}^{R} p_{iim}\right) \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}) \qquad (3.6)$$

$$b_j \geq GD_j + TE \cdot \left(\sum_{n=1}^{R} p_{jjm}\right) \qquad \forall(\mathrm{j} \in \mathrm{O}) \qquad (3.7)$$

$$L_i + V \leq b_j + M \cdot \left(1 - g_{ij}\right) \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}, \mathrm{j} \in \mathrm{O}) \qquad (3.8)$$

$$a_i \geq GL_i \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}) \qquad (3.9)$$

$$b_j \geq GD_j \qquad \forall(\mathrm{j} \in \mathrm{O}) \qquad (3.10)$$

$$\sum_{m=1}^{R} y_{im} = 1 \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}) \qquad (3.11)$$

$$\sum_{i=1}^{I} p_{iim} = 1 \qquad \forall(\mathrm{m} \in \mathrm{R}) \qquad (3.12)$$

$$\sum_{j=1}^{I} p_{jim} = y_{im} \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}, \mathrm{m} \in \mathrm{R}) \qquad (3.13)$$

$$\sum_{j=1}^{I} p_{ijm} \leq y_{im} \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}, \mathrm{m} \in \mathrm{R})\ i \neq j \qquad (3.14)$$

$$\sum_{n=1}^{S} z_{jn} = 1 \qquad \forall(\mathrm{j} \in \mathrm{O}) \qquad (3.15)$$

$$\sum_{j=1}^{O} q_{jjn} = 1 \qquad \forall(\mathrm{n} \in \mathrm{S}) \qquad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^{O} q_{ijn} = z_{jn} \qquad \forall(\mathrm{j} \in \mathrm{O}, \mathrm{n} \in \mathrm{S}) \qquad (3.17)$$

$$\sum_{i=1}^{O} q_{jin} \leq z_{jn} \qquad \forall(j \in O, n \in S)\ i \neq j \qquad (3.18)$$

$$\sum_{j=1}^{O} x_{ijk} = r_{ik} \qquad \forall(i \in I, k \in P) \qquad (3.19)$$

$$\sum_{i=1}^{I} x_{ijk} = s_{jk} \qquad \forall(j \in O, k \in P) \qquad (3.20)$$

$$\sum_{k=1}^{P} x_{ijk} \leq M \cdot g_{ij} \qquad \forall(i \in I, j \in O) \qquad (3.21)$$

$$a_i + \left(UT \cdot \sum_{k=1}^{P} r_{ik} \right) + TL + TA \leq b_i \qquad \forall(i \in C) \qquad (3.22)$$

$$E_j \geq d_j - (C_j + TL) \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.23)$$

$$T_j \geq (C_j + TL) - D_j \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.24)$$

$$y_{im} \in \{0,1\} \qquad \forall(i \in I, m \in R) \qquad (3.25)$$

$$g_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall(i \in I, j \in O) \qquad (3.26)$$

$$z_{jn} \in \{0,1\} \qquad \forall(j \in O, n \in S) \qquad (3.27)$$

$$p_{ijm} \in \{0,1\} \qquad \forall(i, j \in I, m \in R)\ i \neq j \qquad (3.28)$$

$$q_{ijn} \in \{0,1\} \qquad \forall(i, j \in O, n \in S)\ i \neq j \qquad (3.29)$$

$$b_j \geq 0 \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.30)$$

$$C_j \geq 0 \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.31)$$

$$T_j \geq 0 \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.32)$$

$$E_j \geq 0 \qquad \forall(j \in O) \qquad (3.33)$$

$$a_i \geq 0 \qquad \forall(i \in I) \qquad (3.34)$$

$$L_i \geq 0 \qquad \forall(\mathrm{i} \in \mathrm{I}) \qquad (3.35)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \qquad \forall(\mathrm{j} \in \mathrm{O}, \mathrm{k} \in \mathrm{P}, \mathrm{i} \in \mathrm{I}) \qquad (3.36)$$

Amaç fonksiyonu (3.1) giden kamyonların toplam erkenlik ve geçliğinin en küçüklenmesini sağlamaktadır. Kısıt (3.2-3.3) aynı kapıya atanan gelen kamyonlar için öncelik ilişkisini belirler. Kısıt (3.4-3.5) aynı kapıya atanan giden kamyonlar için öncelik ilişkisini belirler. Kısıt (3.6-3.7) gelen ve giden kamyonların (eğer bu kamyonlar kabul ve sevkiyat kapılarında ilk sırada boşaltılacak ya da yüklenecek ise) boşaltma ve yükleme işlemine başlama zamanlarının çapraz sevkiyat merkezine varış zamanlarından büyük olmasını sağlar. Kısıt (3.8) eğer her iki kamyon arasında ürün aktarımı gerçekleşiyorsa, gelen kamyonun kabul kapısından ayrıldığı zamanla giden kamyonun sevkiyat kapısına girdiği zamanı birbirine bağlar. Kısıt (3.9-3.10) gelen ve giden kamyonların boşaltma ve yükleme işlemine başlama zamanlarının çapraz sevkiyat merkezine varış zamanlarından büyük olmasını sağlar. Kısıt (3.11) her bir gelen kamyonun yalnızca bir kabul kapısına atanmasını sağlar. Kısıt (3.12) her bir kabul kapısındaki sıranın başlangıcında yalnızca bir kamyonun yer almasını sağlar. Bu kısıtta bir p_{ii} karar değişkeni kullanılır ve gelen kamyon *i*'nin atandığı kapıda ilk sırada olması durumunda "1" değerini alır. Kısıt (3.13) eğer bir gelen kamyon bir kapıya atandıysa, o kamyonun başka bir kamyondan önce geldiğini belirtir. Kısıt (3.14) eğer bir gelen kamyon bir kapıya atandıysa en fazla bir kamyondan sonra geldiğini belirtir. Kısıt (3.15) her bir giden kamyonun yalnızca bir sevkiyat kapısına atanmasını sağlar. Kısıt (3.16) her bir sevkiyat kapısındaki sıranın başlangıcında yalnızca bir kamyonun yer almasını sağlar. Bu kısıtta bir q_{jj} karar değişkeni kullanılır ve giden kamyon *j*'nin atandığı kapıda ilk sırada olması durumunda "1" değerini alır. Kısıt (3.17) eğer bir giden kamyon bir kapıya atandıysa, o kamyonun başka bir kamyondan önce geldiğini belirtir. Kısıt (3.18) eğer bir giden kamyon bir kapıya atandıysa en fazla bir kamyondan sonra geldiğini belirtir. Sırada en sonda yer alan bir giden kamyonun ardından başka bir kamyon yer almayacaktır. Kısıt (3.19) gelen kamyon *i*'den ürün türü *k*'dan giden kamyonlara aktarılan miktarın, başlangıçta gelen kamyon *i*'de ürün türü *k*'dan bulunan miktara eşit olmasını sağlar. Benzer şekilde kısıt (3.20) ürün türü *k*'dan tüm gelen kamyonlardan giden kamyonlara aktarılan miktarın, tüm giden kamyonların ürün türü *k*'ya olan ihtiyacına eşit olmasını sağlar. Kısıt (3.21) x_{ijk} ve g_{ij} karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi sağlar. Kısıt (3.22) gelen-giden kamyonların kabul sahasındaki boşaltmayı

tamamlama zamanına, sevkiyat sahasındaki yüklemeye başlama zamanını bağlamaktadır. Kısıt (3.23-3.24) giden kamyonlar için erkenlik ve geçlik değerlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. (3.25-3.36) kısıtları {0,1} tamsayı olma ve pozitif olma koşullarını sağlamaktadır. (3.11)-(3.20) arasındaki kısıtlar, Lee vd.'nin (2012) modelinde kullandığı ve genel olarak kamyon çizelgeleme problemlerinde kullanılan kamyonların kapılara belirli bir sırada atanmasını sağlayan kısıtlardır.

Kamyonların farklı varış zamanları, gelen- giden kamyonlar ve teslim zaman penceresi özellikleri dahil edildikten sonra kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi geniş kapsamlı bir çizelgeleme problemi halini almıştır. Çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde gelen, giden ve gelen-giden kamyonların çizelgelendiği, tüm kamyonların çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanlarının farklı olduğu ve bilindiği ve giden kamyonların zaman pencereli çizelgelenmesinin amaçlandığı problem ele alınmıştır. Bu amaçla, bir matematiksel model tasarlanmış ve model GAMS'de kodlanarak test problemleri ile sınanmıştır.

3.2.2. Boyut Analizi

Kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi NP-zor problem yapısına sahip olduğu için problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi de artmaktadır (Chen ve Lee, 2009). Boyut analizi için kullanılan örnekte, 6 gelen kamyon (gelen-giden kamyonlar dahil), 7 giden kamyon (gelen-giden kamyonlar dahil), 3 adet gelen-giden kamyon, 3 kabul kapısı, 4 sevkiyat kapısı ve 6 çeşit ürün bulunmaktadır. İlgili matematiksel modelin boyut analizi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Matematiksel modelin boyut analizi

Kısıt no	*İndis*	*kısıtların sayısı*	*kısıtların sayısı*	*Kısıt no*	*İndis*	*Kısıt ve karar değişkenlerinin sayısı*
3.2	*i*	*i*	6	3.23	*j*	7
3.3	*i,j*	*i*j*	36	3.24	*j*	7
3.4	*j*	*j*	7	3.25	*i*m*	18
3.5	*i,j*	*i*j*	49	3.26	*i*j*	42
3.6	*i*	*i*	6	3.27	*j*n*	28
3.7	*j*	*j*	7	3.28	*i*j*m*	108
3.8	*i,j*	*i*j*	42	3.29	*i*j*n*	196
3.9	*i*	*i*	6	3.30	*j*	7
3.10	*j*	*j*	7	3.31	*j*	7
3.11	*i*	*i*	6	3.32	*j*	7
3.12	*m*	*m*	3	3.33	*j*	7
3.13	*i,m*	*i*m*	18	3.34	*i*	6
3.14	*i,m*	*i*m*	18	3.35	*i*	6
3.15	*j*	*j*	7	3.36	*i*j*k*	252
3.16	*n*	*n*	4	*Karar değişkenlerinin toplam sayısı*		*698*
3.17	*j,n*	*j*n*	28			
3.18	*j,n*	*j*n*	28			
3.19	*i,k*	*i*k*	36			
3.20	*j,k*	*j*k*	42	*Kısıtların toplam sayısı*		*1099*
3.21	*i,j*	*i*j*	42			
3.22	*i*	*i*	3			

Boyut analizi sonuçlarına göre 6 gelen, 7 giden, 3gelen-giden kamyon, 3 kabul, 4 sevkiyat kapısı ve 6 çeşit ürün türü için oluşturulan matematiksel modelde 698 adet karar değişkeni ve 1099 adet kısıt yer almaktadır.

3.3. Test Problemlerinin Türetilmesi

Ele alınan kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminin çözümünü test edebilmek için farklı veri setleri kullanılmış ve parametreler türetilmiştir:

Kamyon- kapı faktörü (μ): Her kabul ve sevkiyat kapısında yükleme ve boşaltma yapan ortalama gelen ve giden kamyon sayısını göstermektedir.

$$\mu = \frac{O}{S} = \frac{Giden\ kamyon\ sayısı}{Sevkiyat\ kapısı\ sayısı};\ \mu = \frac{I}{R} = \frac{Gelen\ kamyon\ sayısı}{Kabul\ kapısı\ sayısı}$$

Yüklenen ya da boşaltılan ortalama ürün sayısı $(\overline{\boldsymbol{p}})$***:*** Gelen kamyonlardan boşaltılan, giden kamyonlara yüklenen ortalama ürün sayısını göstermektedir.

$$\overline{p_I} = \frac{\text{boşaltılan toplam ürün sayısı}}{toplam\ gelen\ kamyon\ sayısı};\quad \overline{p_O} = \frac{\text{yüklenen toplam ürün sayısı}}{\text{toplam giden kamyon sayısı}}$$

Teslim zaman penceresi (d-D) sıkılık faktörü (δ): Bu faktör teslim zaman penceresinin aralığını kontrol etmek için kullanılır, $\delta = \beta - \alpha$ formülü ile gösterilir. β teslim zaman penceresinin üst sınırını belirler: $Dj = \beta \cdot \pi$. Benzer şekilde $\propto$ teslim zaman penceresinin alt sınırını belirler: $dj = \alpha \cdot \pi$.

$\pi = \overline{p_I}UT + GD_j + \overline{p_O}LT$, formülünde $\overline{p_I}, UT, GD_j, p_O$ ve LT sırasıyla, her gelen kamyondaki ortalama ürün sayısını, birim ürün boşaltma süresini, bir giden kamyonun varış zamanını, her giden kamyondaki ortalama ürün sayısını ve birim ürün yükleme süresini göstermektedir.

Tüm kamyonlar için en büyük varış zamanı: Çapraz sevkiyat merkezine gelen tüm kamyonlar için varış zamanının üst sınırını gösterir. En büyük varış zamanı $2\overline{GDJ} = 2\bar{p}\mu\rho/(2 - \theta\mu\rho)$ formülü ile hesaplanır. Bu formülasyonda, varış zamanı değişim faktörü (ρ), $\rho = 2\overline{GD_J}/\hat{C}_{max}$ formülü ile ve tahmini toplam operasyon süresi (makespan) $\hat{C}_{max} = \left(\theta\ \overline{GD_J} + \bar{p}\right)\mu$ formülü ile hesaplanmaktadır. Benzer bir formülasyon Kaplan ve Rabadi (2012) tarafından kullanılmıştır.

Varış zamanlarının toplam operasyon süresine etkisi $(\boldsymbol{\theta})$***:*** Bu etkiyi belirten katsayı (θ), çapraz sevkiyat merkezlerinde varış zamanlarının toplam operasyon süresi üzerinde etkisi

büyük olduğu için 0.5 olarak alınmıştır. Tahmini toplam operasyon süresi $\hat{C}_{max} = \left(\theta\ \overline{GD_j} + \bar{p}\right)\mu$, formülü ile hesaplanmıştır. Benzer bir yaklaşım Lee ve Pinedo (1997) ve Kaplan ve Rabadi (2012) tarafından kullanılmıştır.

Varış zamanı değişim faktörü (ρ): Tahmini toplam operasyon süresine C_{max} bağlı olarak, varış zamanlarındaki değişkenlik ρ ile gösterilmiştir. Bu faktör, $\rho = 2\overline{GD_j}/\hat{C}_{max}$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Gelen (GL_i) ve giden (GD_j) kamyonların varış zamanları: Gelen ve giden kamyonların varış zamanları: $[0,\ 2\overline{GL_i}]$ ve $[0,\ 2\overline{GD_i}]$ aralığında düzgün dağılmaktadır. $\overline{GD_i}$ kamyonların ortalama varış zamanını göstermektedir.

Matematiksel modelin test edilmesi için kullanılan veri setleri Python yazılımı kullanılarak tasarlanan bir programla türetilmiştir. Test verilerinin türetilmesi ile ilgili arayüzler 5. bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Küçük boyutlu test problemleri Ek Açıklama-A'da örnek olarak gösterilmiştir.

3.4. Çözüm Yöntemleri

Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi NP-zor problem yapısına sahip olup, gelen ve giden kamyon sayısı (n) arttıkça polinom zamanda çözülemeyen bir yapıya sahip olmaktadır. İlgili problemde 6 gelen ve 6 giden kamyonun üzerinde çizelgeleme yapılması durumunda makul zamanda çözüm elde etmek zorlaşmaktadır (Lee vd., 2012). Dal-Sınır algoritması gibi kesin çözüm veren yöntemler, çözüm için gerekli süre nedeniyle gerçek hayat çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanışlı olmayan bir yapıya sahiptir. Meta-sezgisel ya da sezgisel yöntemler ise eniyi çözümü garanti etmese dahi daha kısa sürede çok iyi çözümler elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Günümüzün rekabetçi ortamı göz önünde bulundurulduğunda, firmalar için kısa sürede iyi çözümlere ulaşmanın en büyük gerekliliklerden biri haline geldiği görülebilmektedir (Sarıçiçek ve Çelik, 2011).

Kamyon çizelgeleme probleminin zorluğu dikkate alındığında, kullanılabilecek çözüm yöntemleri Boysen ve Fliedner (2010) tarafından; Matematiksel Model (M-Mathematical Model), Sezgisel Yöntemler (HI-Heuristic Improvement Procedure), Meta Sezgiseller (MH-Meta Heuristics), Simulasyon Yöntemi (S-Simulation Approach), Sınır Hesaplama (B-Bound Computation), Başlangıç Uygun Çözüme Sezgiselle Başlanması (SH- Start Heuristic for Initial Solution), Kesin Çözüm Veren Yöntemler (E-Exact Solution Procedure) olarak ele alınmıştır. Yöntemler, problemin zorluğu ve amaç fonksiyonu açısından literatürdeki bazı kamyon çizelgeleme çalışmaları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kamyon çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri (Boysen ve Fliedner,2010)

Yazarlar	***Amaç fonksiyonu***	***Problemin zorluğu***	***Çözüm Yöntemi***
McWilliams vd.(2005)	C_{max}		MH, S
Boysen (2010)	$\sum T_j$		M, MH, E
Boysen vd.(2007)	C_{max}	NP-Zor	M, SH, HI, E
Chen ve Lee (2009)	C_{max}	NP-Zor	B, E
Chmielewski (2007)	Merkez içindeki ürünlerin seyahat mesafesinin ve gelen kamyonların bekleme süresinin enküçüklenmesi		M,E
Miao vd.(2009)	Karşılanamayan sevkiyat sayısının enküçüklenmesi	NP-Zor	M, MH
Boysen (2008)	Merkez içindeki stok miktarının enküçüklenmesi	NP-Zor	M, MH, E
Yu ve Egbelu (2008)	C_{max}		M, SH
Chen ve Song (2009)	C_{max}	NP-Zor	M, SH, B

Çizelgede kamyon çizelgeleme problemlerine temel oluşturan çalışmalar Boysen ve Fliedner'in (2010) yapmış olduğu sınıflandırmaya göre gösterilmiştir. İlgili çalışmalarla birlikte diğer çalışmalar da incelendiğinde en fazla C_{max} amaç fonksiyonunun kullanımına yer verildiği görülmüştür. Çizelgede yer alan çalışmaların çoğunda problemin NP-Zor yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle ilgili problemin çözümünde sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Literatürde yer alan diğer çalışmaların amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri "Ek Açıklama-D" bölümünde yer almaktadır. Meta-sezgisel ihtiyacından dolayı izleyen bölümde, kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminin çözümünde kullanılan meta-sezgisel yöntemlere yer verilmiştir.

4. PROBLEMİN TAVLAMA BENZETİMİ VE TABU ARAMA İLE ÇÖZÜMÜ

Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi, NP-zor problem yapısına sahip olduğu için problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi de artmaktadır (Chen ve Lee, 2009). Büyük boyutlu problemlerin çözümü için Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulated Annealing-SA) ve Tabu Arama Algoritması (Tabu Search-TS) önerilmiştir. Çalışmanın ilgili bölümünde SA ve TS algoritmaları ayrıntılı olarak anlatılmış, küçük boyutlu ve büyük boyutlu test problemlerinin belirtilen algoritmalarla çözüm sonuçları incelenmiştir.

4.1. Tavlama Benzetimi

Tavlama Benzetimi algoritmasına ilişkin fikirler, ilk olarak Metropolis vd. (1953) tarafından önerilmiştir. Kirkpatrick vd.(1983) ve Cerny (1985) tavlama benzetimi için Metropolis (1953) tarafından önerilen yöntemin eniyileme problemlerinin çözümünde nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Tavlama, bir katının sıcaklığının belirli bir en yüksek dereceye kadar arttırılarak tekrar azaltılması işlemini tanımlar. En yüksek sıcaklıkta kristalin tüm molekülleri, kendilerini rasgele olarak sıvı faza ayarlar. Sonra erimiş kristalin sıcaklığı kristal yapı soğutuluncaya kadar (taban seviyesi durumuna erişinceye kadar) düşürülür. Soğutma uygun şekilde yapılırsa kristal yapı çok düzenli olur, yani süper kafes yapı elde edilir. Soğutma işlemi, dış sıcaklığı ani olarak sıfıra düşürmek suretiyle yapılırsa, kristal yapıda geniş dağılımlı düzensizlikler ve yapısal bozukluklar meydana gelir. Yani kafes yapısında düzensizlikler oluşur ve süper kafes yapı meydana gelmez. Bu olay hızlı soğutma olarak tanımlanır (Karaboğa, 2014).

Optimizasyon problemi ile tavlama arasındaki analojide, katının durumları eniyileme probleminin uygun çözümlerine ve durumların enerjileri de çözümlere ait amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelmektedir. Yine bu analojide, enküçük enerji veya ground durum bir eniyi çözüme, yani düzenli bir kafes yapısına karşılık gelmektedir. Hızlı soğutma işlemi, en dik iniş yöntemi vasıtasıyla yapılan bölgesel eniyileme işlemine benzer olarak değerlendirilebilir. Dış sıcaklık sıfır olduğunda mevcut durumdan daha yüksek enerjili bir duruma geçilememektedir. Böylece bölgesel

eniyilemedeki gibi yukarı doğru olan hareketler engellenir ve araştırma bir yerel enküçüğe takılı kalır. Pratikte kristaller büyürken kötü yerel eniyiler dikkatli bir ısıl işlem ile önlenir. Bu işlemde sıcaklık (T), farklı düzeylerde yavaşça düşürülür. Her sıcaklık seviyesi erimiş olan kristalin bu sıcaklıkta dengeye erişmesi için belirli bir süre sabit tutulur. Sıcaklık sıfır olmadığı müddetçe yukarıya doğru olan hareketlerin meydana gelmesi mümkündür. Mevcut enerji düzeyinden uzaklaşmamak için mevcut sıcaklığı belirli bir süre koruyacak şekilde ve ground duruma oldukça yaklaşıncaya kadar bu işlemlerin tekrarlanmasıyla yerel eniyiden kaçış gerçekleştirilebilir.

Tavlama benzetimi algoritmasında yukarı doğru olan hareketlerin kabul edilmesi belirli bir kontrol yöntemi ile yapılmalıdır. SA algoritmasında bu şekildeki hareketlerin kabul edilme sıklığı araştırma devam ettikçe değişken bir olasılık tabanlı fonksiyon ile kontrol edilir. Belirtilen kontrolü tanımlarken Krickpatrick ve arkadaşlarını yönlendiren fikir, Metropolis ve arkadaşlarının istatistiksel termodinamikle ilgili bir çalışmasından gelmiştir (Metropolis vd., 1953). Termodinamik kanunlarına göre, T sıcaklığında enerjide δE genlikli bir artışın olma olasılığı,

$$p(\delta E) = \exp(-\delta E/kT) \qquad (4.1)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır; burada "k" Boltzman sabiti olarak bilinen fiziksel bir sabittir. Metropolis ve arkadaşları, sabit T sıcaklık değeri için bir kristalin ısıl dengeye erişiminin benzetimini yapmak amacıyla Monte-Carlo yöntemini geliştirmişlerdir. Bu benzetim mevcut durumda bir bozulma (pertürbasyon) oluşturmakta ve bu değişimden dolayı ortaya çıkan enerji değişimini hesaplamaktadır. Enerji azaldığında sistem yeni duruma geçmektedir. Enerji arttığında oluşan yeni durum (4.1)'deki olasılığa göre kabul edilmektedir. Kristalin mevcut durumu (S) verildikten sonra rasgele seçilmiş bir molekülün yer değiştirmesiyle kristalin durumunda küçük bir bozulma sağlanır. Mevcut durum (S) ile yeni üretilmiş durumun (S') enerji seviyeleri arasındaki fark (δE) negatif ise yeni durum daha düşük enerji seviyesinde demektir ve S' yeni durum olarak kabul edilir. S' kabul edildikten sonra işleme bu durumdan devam edilir. $\delta E \geq 0$ olduğunda düzgün dağılımdan rasgele bir sayı $\theta \epsilon [0,1]$ üretilir ve bu sayı denklem (4.1) ile tanımlı olasılık değerinden küçük ise ozaman S' yeni durum olarak kabul edilir. Yoksa mevcut

durum (S) yeni çözüm olarak saklanır. Bu kabul etme kuralı Metropolis ölçütü olarak adlandırılır. Böylece tavlama benzetimi algoritması ismi, benzetim tekniklerinin tavlama ile birlikte kullanılmasına karşılık gelmektedir (Aarts ve Korst, 1988).

SA, yerel arama metotlarının yerel bir enküçüğe ulaşmasının ardından bütünsel enküçüğe ulaşmak için daha çok arama yapmayışından oluşan eksikliği ortadan kaldırmaya çalışır. SA algoritmasında, bir durum haricinde yerel arama yöntemindeki aynı temel adımları kullanılır. İlgili durum, bazen yeni bir çözümün amaç fonksiyonu değeri, mevcut amaç fonksiyonu değerinden büyük olmasına rağmen yeni çözümün mevcut çözüm olarak kabul edilerek ve arama işlemine devam edilmesidir.

Bir problemin çözümünde SA algoritmasının kullanılması için belirlenmesi gereken parametreler (Karaboğa, 2014):

- Sıcaklık parametresi T için uygun bir başlangıç değerinin belirlenmesi
- Soğutma oranı ve sıcaklık değiştirme kuralının tanımlanması
- Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek ardıştırma sayısının belirlenmesi
- Araştırmanın durdurulması için durdurma ölçütünün tayin edilmesi

Başlangıç sıcaklığının değeri bir girdi parametresidir. Kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için sıcaklık değeri kullanılır. Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek ardıştırma sayısı, her sıcaklıkta türetilen çözümlerin sayısını belirtmektedir. Sıcaklık değiştirme kuralı ve soğutma oranı, önceki ardıştırmanın sıcaklığına göre mevcut ardıştırmadaki sıcaklığı belirlemektedir.

SA algoritmasının yer aldığı çalışmalarda, farklı soğutma fonksiyonları kullanılmıştır. Sıcaklığın düşürülmesi, sabit bir katsayı ile çarpılarak geometrik oranda azaltma ile gerçekleştirilse, $T=\alpha.T$ eşitliği kullanılır. Burada α katsayısı (0,1) aralığında bir değerdir (Temiz, 2010). Çalışmalarda, α genellikle 0.8 ve 0.99 arasında değer almaktadır. Soğutma çizelgesi olarak adlandırılan yapılar: başlangıç sıcaklığı, ardıştırma sayısı ve soğutma fonksiyonudur. İlgili çizelgenin, yakınsama oranında veya çözüm kalitesinde büyük bir etkisi olmaktadır.. Her sıcaklıkta üretilecek çözüm sayısına ilişkin değişik yaklaşımlar vardır. Bu değer sabit ya da değişken olarak alınabilir. Algoritmanın

durdurulması için ise, önceden belirlenen ardıştırma sayısına ulaşılması, en düşük sıcaklığa ulaşılması ve istenen ölçütü sağlayan çözüme ulaşılması gibi farklı yaklaşımlar bulunmaktadır (Güner ve Altıparmak, 2003).

SA algoritmasında, öncelikli olarak bir başlangıç uygun çözüm türetilir. Her ardıştırmada komşu çözümler türetilerek algoritmanın işleyişi devam eder. Komşu çözümün değeri, amaç fonksiyonunun mevcut değerinden daha iyi olduğu sürece kabul edilir. Komşu çözümün değeri, amaç fonksiyonun mevcut değerinden kötü olduğu durumda ise amaç fonksiyonundaki değişim (ΔE) ve mevcut sıcaklığa (T) bağlı olarak hesaplanan olasılık fonksiyonunun sonucuna göre kabul edilir ve arama işlemi sürdürülür. Bir başka ifadeyle, komşu çözümle mevcut çözümün farkı "$\Delta \leq 0$" olduğunda, komşu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir, $\Delta > 0$ ise komşu çözüm, $P(\Delta E, T) = e^{-\Delta E/T}$ olasılığı ile mevcut çözüm olarak kabul edilir. T, fiziksel tavlamadaki sıcaklığı gösterir.

Genelde yüksek bir sıcaklık değeri ile arama işlemine başlanılır ve sıcaklık arama işlemi sırasında yavaş yavaş düşürülür. Belirtilen strateji ile aramanın başlangıç aşamalarında amaç fonksiyonunda büyük artışların olduğu yeni çözümler kabul edilirken, aramanın sonuna doğru (sıcaklık sıfıra yaklaşırken) sadece amaç fonksiyonunda iyileşme sağlayan çözümlerin kabul edilmesi sağlanır. Böylelikle SA, aramanın başlangıcında kötü çözümlerin de kabul edilmesiyle arama uzayının farklı yerlerinde aramayı gerçekleştirmekte ve yerel enküçüğe takılmamayı amaçlamaktadır (Güner ve Altıparmak, 2003).

Tavlama Benzetimi Algoritmasının adımları (Pinedo, 2002)

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

$S_{eniyi} = S_1$

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

Eğer $G(S_{eniyi}) < G(S_c) < G(S_k)$ ise $S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.
Eğer $G(S_c) < G(S_{eniyi})$ ise $S_{eniyi} = S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.
Eğer $G(S_c) \geq G(S_k)$ ise (0,1) arasında düzgün dağılan bir U_k rassal sayısı türet.
Eğer $U_k \leq P(S_k, S_c)$ ise $S_{k+1} = S_c$ olarak tanımla $P_{kabul} = exp\left(\frac{G(S_k) - G(S_c)}{\beta_k}\right)$;
Değilse $S_{k+1} = S_k$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç.

Adım 3: Sıcaklığı düşür $\beta_{k+1} = \beta_k$, İterasyon sayısını arttır.

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

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

4.2. Tabu Arama

Tabu Arama (Tabu Search-TS) Algoritması, eniyileme problemlerinin çözümü için Glover (1989,1990) tarafından geliştirilmiş bir meta-sezgiseldir. Kombinatoriyel eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. TS algoritması kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Glover vd., 1993).

TS algoritmasına göre, *f(x)* fonksiyonu bir *X* kümesinde tanımlanmış olsun. TS, belirli bir durdurma ölçütü sağlanıncaya kadar ardıştırma yapılarak bir çözümden diğer

bir çözüme geçen bir yerel arama algoritması gibi başlamaktadır. Her $x \in X$, $N(x) \subset X$ olacak şekilde bir komşu çözüme sahiptir. Bir "x" çözümünden bir $x' \in N(x)$ çözümüne ulaşmak için yapılan işlem "hareket" olarak tanımlanmaktadır. Arama devam ettikçe $N(x)$ üzerinde değişiklikler yapan stratejilerin uygulanmasıyla daha iyi bir $N^*(x)$ komşuluğunun oluşturulması, TS algoritmasını yerel aramanın ötesine ulaştırmaktadır. TS algoritmasının kilit noktası da $N^*(x)$ komşuluğunu oluşturmayı sağlayan özel hafıza yapılarının kullanılmasıdır. TS algoritması, kısa ve uzun dönem hafıza olmak üzere iki tip hafıza yapısına sahiptir. TS'nin temelini kısa dönemli hafıza meydana getirmektedir. Her ne kadar problem çözümlerinde, genellikle uzun dönem hafızasına sahip TS, daha güçlü olsa da kısa dönem hafızalı TS ile de yeterli düzeyde kaliteli sonuçlar bulunabilmektedir (Glover ve Laguna, 1997).

Kısa Dönem Hafıza

TS, bir başlangıç noktasından başlayarak komşu noktalar boyunca ilerlemektedir. Mevcut çözümlerden başka çözümler üretilmesi, komşuluk yapısıyla sağlanmaktadır. TS'de tüm komşuluklara uğramak büyük bir çaba gerektirdiğinden dolayı "aday listesi" kullanılmaktadır. Aday listesi, belirli bir ardıştırmaya ait mevcut hareketlerin sınırlandırılarak oluşturulmuş bir alt kümesi olarak tanımlanmaktadır. Hareketlere ait aday listesi belirlendikten sonra aralarında en uygun aday seçilmektedir. İlk önce bir hareketin tabu olup olmadığına bakılmaksızın aday listedeki her bir hareket hesaplanmaktadır. Hareket hesaplanırken, amaç fonksiyonundaki değişim (hareketi uygulamadan önceki ve sonraki amaç fonksiyonu değerlerinin farkı) kullanılabilmektedir (Çelik, 2008).

TS algoritmasında belirli hareketlerin tekrar edilmesine veya belirli hareketlere geri dönülmesine engel olan bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Tabu kısıtlamaları hareketlerin niteliklerine göre belirlenmekte; tabu hareketleri ise bu kısıtlamalara dayanmaktadır. İlgili yöntem ile döngüye neden olabilecek özellikteki noktalar yasaklanarak (tabu haline getirilerek) aramanın çözüm uzayında keşfedilmemiş noktalara doğru kaydırılması sağlanmaktadır. Belirtilen durumun gerçekleştirilmesini sağlayan yapı TS'nin önemli bir bileşeni olan "tabu listesi" dir. Yeni ziyaret edilmiş

noktalara tekrar gidilmemesi için yapılan en son hareketler, tabu listesini oluşmaktadır. Tabu olarak belirlenen bir hareket, bir sonraki T ardıştırma boyunca tabu listesinde bulunmaktadır. Belirtilen T, tabu listesinin uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Algoritmada kullanılan diğer bir önemli özellik esnekliğin sağlanması açısından uygulanan "tabu yıkma" ölçütüdür. İlk adım, uygunluk için bir hareketin tabu olup olmadığının kontrol edilmesidir. Eğer, bir hareket tabu değil ise o anda uygun hareket olarak kabul edilmektedir. İlgili hareket tabu ise, tabu durumunun yıkılması, "tabu yıkma ölçütü" kendisine sağlanmaktadır. Aday listedeki diğer hareketlerden daha iyi sonuç veren harekete ait çözüm yeni çözüm olarak; eğer önceki eniyi çözümden de iyiyse eniyi çözüm olarak kabul edilmektedir. Belirtilen durum son eniyi çözüm bulunana kadar veya belirli bir ardıştırma sayısına ulaşana kadar devam etmektedir (Glover ve Laguna, 1997).

TS kısa dönem hafıza bileşenleri: Bir sezgisel algoritmayla uygun bir başlangıç çözümün oluşturulması, her bir ardıştırmada çözümleri değiştirecek, bir *x* çözümünde *N(x)* komşuluğunu oluşturacak hareket tipinin belirlenmesi, tabu listesinin oluşturulması, tabu olduğu halde iyi bir iyileşme sağlayan hareketin durumunu değiştirecek olan tabu yıkma ölçütünün ve durdurma ölçütünün belirlenmesidir.

Bir başlangıç çözümüyle başlayan TS, sırasıyla hareketlerin aday listesinin oluşturulması ve aralarından en uygun adayın seçimiyle devam etmekte, bir durdurma ölçütünün değerine göre de aramanın sonlandırılmasına ya da tekrarlanmasına karar verilmektedir

Komşuluk ve Aday Liste Stratejileri

TS, bir başlangıç noktasından başlayarak, komşu noktalar arasında sırasıyla dolaşmaktadır. Belirtilen yönüyle TS, değişken bir komşuluk yöntemi olarak düşünülebilir. Bu, bir hareketin komşuluğunun statik bir kümeden ziyade aramanın geçmişine göre değişkenlik gösteren bir küme olduğu anlamına gelmektedir. Her adımda tabu durumları kontrol edilerek bir sonraki çözümün seçileceği komşuluklar yeniden belirlenmektedir. Kısa dönem hafızasına sahip bir TS'de $N^*(x) = N(x) - T$ dir. Daha açık bir ifade ile $N^*(x)$, tabu listesinin (T) dahil edilmediği $N(x)$'in bir alt kümesidir.

Uzun dönem hafızalı bir TS'de ise $N^*(x)$, genellikle $N(x)$ içerisinde yer almayan çözümleri de içerecek şekilde genişletilmektedir (Çelik,2008).

Tüm komşu çözümlerin taranması genellikle yüksek kalitedeki çözümlerin elde edilmesini sağlamakla birlikte hesaplamalar için harcanan sürenin artmasına neden olmaktadır. Mevcut çözüme ait olası tüm komşulukların hesaplanmaya çalışılması yerine daha akılcı bir yöntem kullanılarak bazı aday hareketlerin izole edilmesi, verimlilik ve kaliteyi büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Belirtilen durum özellikle, $N^*(x)$'in büyük ve ona ait hareketlerin değerlerinin hesaplanması zor olduğunda geçerli olmaktadır. Bu nedenle, arama sürecinde istenilen özellikteki hareketlere sahip komşuluk bölgelerini izole edecek ve bu bölgeleri o anki arama esnasında aday listesine yerleştirecek etkili aday liste stratejilerinin belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır.

Aday liste yöntemi, tüm komşuluğun bir alt kümesinin oluşturulmasını sağlayan ve belirtilen alt kümenin büyüklüğünü kontrol eden bir yöntemdir. Aday listesinin büyüklüğünün tespit edilmesi önemlidir. Genellikle komşuluk büyüdükçe, yerel eniyiye takılma olasılığı azalmaktadır. Fakat büyük komşulukları taramanın maliyeti genellikle oldukça yüksektir. Bu yüzden aday liste stratejisi, yalnızca tek bir ardıştırmada hesaplama güçlüğünü azaltacak şekilde değil, aynı zamanda istenilen süre içerisinde kaliteli çözümler bulabilecek şekilde belirlenmelidir (Glover ve Laguna, 1997).

Tabu Listesi

Geleneksel bir yerel arama yönteminin zayıf yönü, bir yerel en iyiye takılarak aramayı devam ettirememesidir. Bu durum da kullanıcıyı, yerel eniyiden kaçınmayı sağlayan sezgisellere yönlendirmektedir. TS, iyileşme sağlamayan hareketlere izin vererek yerel eniyiye takılmayı engellemeyi amaçlamaktadır. Daha önceden ziyaret edilen komşuluklara gidilen hareketlerin (tabu) listesi çıkarılarak aramanın her defasında bazı çözümler arasında gidip gelmesi engellenmeye çalışılmaktadır. Belirtilen listeye "tabu listesi" adı verilmektedir. Tabu listesi, en son yapılan hareketlerden oluşmaktadır. Tabu listesinin kullanımı ile algoritmanın döngüyü önlemesi ve aramayı keşfedilmemiş bölgelere yönlendirmesi sağlanmaktadır (Glover, 1990).

Yeniliğe dayalı hafıza yapısına sahip olan tabu listesinde, belirlenmiş bir hareketin kaç ardıştırma boyunca tabu olarak kalacağını "tabu süresi"(tabu listesi uzunluğu- tabu tenure) belirlemektedir. TS algoritmasının performansı tabu süresinden etkilenmektedir. Tabu süresinin kısa tutulduğu durumda, TS sürekli aynı yerel eniyiye gidebilir. Belirtilen durum aramayı daha geniş alanlara taşımayı engellemektedir. Tabu süresi uzun tutulduğunda ise, bir hareketin tabu olup olmadığının tespiti için ilgili hareketin tabu listesi içinde aranması daha uzun sürecektir. Bu nedenle, algoritmanın çalışma süresince çözüm uzayını taraması için harcanılan süre azalacaktır (Glover vd.,1997).

Daha önce kullanılan TS uygulamaları incelendiğinde, eniyi tabu süresinin 5 ile 12 arasında değerler aldığı söylenebilmektedir. Literatürde çoğunlukla, tabu süresinin 7 alındığı görülmektedir. Tabu süresi, değişken veya sabit olabilmektedir. Genellikle uygulamalarda, hem kullanımının basitliği hem de başarılı bir sonuç vermesi nedeniyle statik tabu süresi kullanılmaktadır. Tabu süresinin statik alındığı durumda hareketler, belirli bir ardıştırma sayısına kadar tabu olarak kalmaktadır. Bunun yanı sıra çalışmalarda, bir hareketin niteliğine göre tabu durumunun değişkenlik gösterdiği dinamik tabu süresine de yer verilmektedir (Dammeyer ve Vob,1993).

Tabu Yıkma Ölçütü

Tabu durumun tanımlanması, bir taraftan döngüyü engellerken bir taraftan da ziyaret edilmemiş çözümlere gidilmesini sağlayan hareketleri engelleyen bir tutum içinde olduğu hissini vermektedir. Bu nedenle, hareketlerin tabu durumlarında değişikliğe gidilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Tam bu noktada "tabu yıkma ölçütü" devreye girmektedir. Tabu olduğu halde tabu yıkma ölçütünü sağlayan bir hareket, uygun bir hareket olarak aday listesindeki yerini almaktadır (Çelik, 2008).

Uygunluk için ilk gerekli adım, bir hareketin tabu durumunun kontrol edilmesidir. Eğer bir hareket tabu değil ise o anda uygun olarak kabul edilmekte, aksi halde harekete uygunluk için tabu yıkma ölçütüyle ikinci bir şans sunulmaktadır. Böylelikle daha iyi çözümlere gidilmesi için esneklik sağlanmaktadır (Glover,1989).

Literatürdeki çoğu uygulamada tabu yıkma ölçütü iki şekilde kullanılmaktadır. Birincisi amaca dayalı bir ölçüttür ve o ana kadar bulunan eniyi sonuçtan daha iyi bir sonuç vermesi durumunda ilgili tabu hareketi kabul edilir. Diğeri ise yokluğa dayalı olup tüm olası hareketlerin tabu olduğu durumda tabu süresinin bitmesi ve en yakın olan bir hareketin seçilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Çelik, 2008).

Uzun Dönem Hafıza

TS algoritmasının uzun dönemli hafızasında, gerçekleştirilen hareketlere ait bazı özellikler tutulmaktadır. Uzun dönemli hafızada genellikle, hareketlerin kalıcılık ve geçicilik sıklıkları yani mevcut çözümü oluşturmak üzere seçildikleri tekrar sayısı ve mevcut çözümden çıkarıldıkları tekrar sayısı kaydedilmektedir. Bu sıklık bilgileri, aramanın belli bölgelere odaklandırılarak "kuvvetlendirilmesi" ve/veya aramanın çözüm uzayındaki farklı bölgelere yönlendirilerek "çeşitlendirilmesi " amacıyla kullanılmaktadır. Etkin bir tabu arama algoritmasında, dikkate alınan kuvvetlendirme ve çeşitlendirme stratejilerinin önemi büyüktür. Tabu arama, ileri sürüldüğü günden günümüze kadar birçok probleme uygulanmış ve oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir (Türkbey ve Alabaş, 2002).

Tabu Arama Algoritmasının adımları (Pinedo, 2002)

Adım 1: Ardıştırma sayısı k=1. Sezgisel olarak ya da rasgele bir başlangıç çözüm S_1 üret. $S_{eniyi}= S_1$

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

Eğer S_k'dan S_c' ye geçiş tabu listesinde yasaklandıysa adım 2'yi tekrarla

Eğer S_k'dan S_c' ye geçiş tabu listesinde yasaklanmadıysa $S_{k+1}=S_c$ olarak tanımla

Tabu listesinin başındaki tabu hareketinin tersini gir.

Tüm tabu hareketlerini bir pozisyon ileri kaydır.

Tabu listesinin uzunluğuna göre sonuncu hareketi sil.

Eğer $G(S_c)< G(S_{eniyi})$ ise $S_{eniyi}=S_c$ olarak tanımla ve Adım 3'e geç

Adım 3: k=k+1. Eğer k= N ise dur, değilse Adım 2'ye git.

Ardıştırma k'da, $G(S_k)$ ilgili sıralamanın amaç fonksiyonu değerini belirtir. Enküçükleme problemi için, S_k mevcut çözümü, S_c komşu çözümü göstermektedir.

4.3. Başlangıç ve Komşu Çözüm Türetme Mekanizmaları

Üçüncü bölümde ayrıntılı olarak anlatılan kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminin çözümünde, SA ve TS algoritmalarında kullanılmak üzere başlangıç uygun çözüm ve komşu çözüm türetme mekanizmaları problemin yapısına uygun olarak belirlenmiştir.

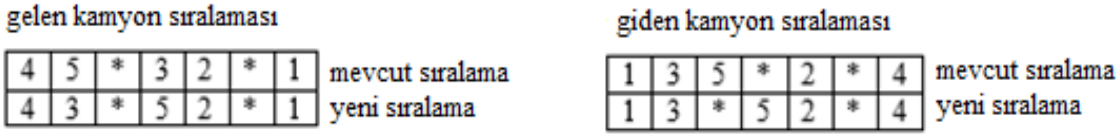
Başlangıç uygun çözüm türetme mekanizması

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

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

Komşu çözüm ütretme mekanizması

Komşu çözüm oluşturulurken, gelen ve giden kamyon sıraları için farklı ikişer sayı türetilir. Türetilen iki sayıya göre sıralamalardaki iki hücrenin yeri değiştirilir. Belirtilen hücreler iki kamyonun yeri olabileceği gibi, bir kapı ve bir kamyon veya iki kapının yeri de olabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Komşu çözüm türetme mekanizması

Şekil 4.1'deki mevcut sıralamaya göre, 3 kabul kapısı 5 gelen kamyon, 3 sevkiyat kapısı ve 5 giden kamyon bulunmaktadır. Mevcut sıralama ve atamaya göre, birinci kabul kapısında sırasıyla 4 ve 5 numaralı gelen kamyonlar, ikinci kabul kapısında 3 ve 2 numaralı gelen kamyonlar, üçüncü kabul kapısında ise 1 numaralı gelen kamyon boşaltılacaktır. Benzer şekilde mevcut sıralamaya göre, sırasıyla 1, 3 ve 5 numaralı giden kamyonlar birinci sevkiyat kapısında, 2 numaralı giden kamyon ikinci sevkiyat kapısında ve 4 numaralı giden kamyon 3. sevkiyat kapısında yüklenecektir.

Gelen kamyonlar için türetilen iki sayı 2 ve 4, giden kamyonlar için türetilen iki sayı 3 ve 4'tür. Türetilen sayılara denk gelen hücrelerin yerleri değiştirilerek yeni sıralamalar oluşturulmuştur. Yeni sıralamalara göre, birinci kabul kapısında sırasıyla 4 ve 3 numaralı gelen kamyonlar, ikinci kabul kapısında 5 ve 2 numaralı gelen kamyonlar, üçüncü kabul kapısında ise 1 numaralı gelen kamyon boşaltılacaktır. Benzer şekilde yeni sıralamaya göre, sırasıyla 1 ve 3 numaralı giden kamyonlar birinci sevkiyat kapısında, 5 ve 2 numaralı giden kamyon ikinci sevkiyat kapısında ve 4 numaralı giden kamyon 3. sevkiyat kapısında yüklenecektir.

4.4. Tasarlanan Ürün Dağıtım Algoritması

Ele alınan problemin çözümünde, kamyonların kapılara atanması ve kapılardaki yükleme ya da boşaltma sıralarının belirlenmesinin yanı sıra ürün dağıtımı da belirlenmektedir. Tez kapsamında ürün dağıtımının belirlenmesinde kullanılmak üzere sezgisel bir algoritma oluşturulmuştur.

Ürün dağıtım algoritmasının adımları

$Enk \sum_{j=1}^{o}(E_j + T_j)$,

Adım 1: İterasyon sayısı h=1, bir başlangıç çözümü türet ve Adım 3' e geç.
Adım 2: Komşu çözüm türet- N_h (gelen ve giden kamyon sıralarında rassal olarak iki hücrenin yerini değiştir). $Z_{jn} \in N_h$
Adım 3: Z_{jn} 'yi (giden kamyonların sevkiyat kapılarındaki çizelgesi) belirle
For j= 1 to m
For n=1 to y
If t> GD_j **then** $C_j = \{b_j + (LT \cdot \sum_{k=1}^{p} s_{jk})\}$'yi hesapla
If $C_j < d_j$
If yüklenecek ürün hazır ise **then** yüklemeye başla
Else bekle
EndIf
EndIf
If $d_j \leq C_j < D_j$
If yüklenecek ürün hazır ise **then** yüklemeye başla
Else => ürünleri yüklenmek üzere rezerve et
EndIf
EndIf
If $C_j \geq D_j$
If ürünler yüklenmek için hazır ise
then yüklemeye başla ve
$C_j = \{b_j + (LT \cdot \sum_{k=1}^{p} s_{jk})\}$'yi hesapla
Else ürünleri ayırmaya başla ve bekle
EndIf
EndIf
EndIf
Next n
Next j
Endfor
Adım 4: İterasyon sayısı h'yi 1 arttır. Eğer h=N ise dur, değilse adım 2'ye geç

Algoritmada, *t* karar verilen zamanı, *m* giden kamyon sayısını ve *y* sevkiyat kapısı sayısını, LT birim ürün yükleme süresini ve s_{jk} , k ürününden giden kamyon j'de bulunan ürün miktarını tanımlamaktadır. C_j giden kamyon j'nin yükleme işlemini tamamladığı zamanı, $[d_j,D_j]$ teslim penceresini belirtmektedir. Giden kamyonlar için yüklemeye başlama zamanı $b_j \geq enb\{\mathrm{GD}_j,\ \ b_i + \left(LT \cdot \sum_{k=1}^{P} s_{jk}\right) + \mathrm{TL}\}$ denklemi ile tanımlanabilmektedir. Bu ifadede, bir giden kamyonun yüklemeye başlama zamanının (b_j) çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı (GD_j) yada ondan bir önceki kamyonun sıradan ayrılma zamanlarının büyük olanından, daha büyük yada eşit olması gerektiği görülmektedir. Bir giden kamyonun yüklemeye başlama zamanı tespit edilirken, belirleyici olan zamanlar, giden kamyonun çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı, bir önceki kamyonun ayrılma zamanı, yüklenecek olan ürünlerin hazır olduğu zaman ve giden kamyonun teslim zaman penceresidir.

4.5. Küçük Boyutlu Problemlerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Test problemlerinin türetilmesi 3. bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda, çalışmanın meta-sezgisel kullanımı kısmı anlatılacaktır. Kamyonların farklı varış zamanları ve teslim zaman pencerelerine göre veriler kullanılarak test problemleri oluşturulmuş ve çözüm sonuçları incelenmiştir. Küçük boyutlu problemler için iyimser($\propto$=0; β=2), olası ($\propto$=0,25; β=1,75) ve kötümser($\propto$=0,5; β=1,5) durumlara göre oluşturulan teslim zaman pencereleri ve üç faktöre göre (ρ=0,1; 0,2; 0,3) oluşturulan varış zamanları kullanılmıştır. 7 adet gelen, 7 adet giden kamyon ve daha az sayıda kamyonun kullanıldığı küçük boyutlu test problemlerinin matematiksel modeli GAMS 23.3, CPLEX 12.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Çizelge 4.1'de, SA ve TS'nin çözüm sonuçları CPLEX çözücüsünden alınan eniyi çözümler ile karşılaştırılmıştır. Her iki algoritma için durdurma ölçütü aynı ve 200 ardıştırma olarak alınmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, SA için başlangıç sıcaklığı 100°C, soğutma oranı %90, TS için tabu listesi uzunluğu 4 ve aday liste uzunluğu 5 olarak belirlenmiştir. Her bir test problemi algoritmalar için 10 defa çözdürülmüştür. Tüm testler 3.0 GHz. 12GB RAM Intel Core i7 işlemcili bilgisayarda yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Küçük boyutlu problemlerde SA ve TS'nin amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süresi bakımından karşılaştırılması

							Amaç fonksiyonu değeri			**Çözüm süresi (sn)**		
Test problemi	I	O	R	S	(α,β)	ρ	CPLEX	SA	TS	CPLEX	SA	TS
1	4	4	2	1	(0;2)	0,1	0	0	0	0,57	17,00	84,00
2	4	4	2	1	(0,25;1,75)	0,2	133	133	133	0,55	18,00	93,00
3	4	4	2	1	(0,5;1,5)	0,3	237	237	237	0,64	17,00	91,00
4	4	5	2	2	(0;2)	0,1	21	21	21	1,47	23,00	112,00
5	4	5	2	2	(0,25;1,75)	0,2	65	65	65	2,28	21,00	114,00
6	4	5	2	2	(0,5;1,5)	0,3	473	481	481	3,53	22,00	118,00
7	4	6	3	3	(0;2)	0,1	0	0	0	0,22	21,00	122,00
8	4	6	3	3	(0,25;1,75)	0,2	0	0	0	0,52	23,00	124,00
9	4	6	3	3	(0,5;1,5)	0,3	47	47	47	0,96	24,00	128,00
10	5	5	3	2	(0;2)	0,1	0	0	0	0,38	19,00	117,00
11	5	5	3	2	(0,25;1,75)	0,2	15	15	15	3,56	20,00	108,00
12	5	5	3	2	(0,5;1,5)	0,3	374	374	374	3,38	21,00	110,00
13	6	5	2	3	(0;2)	0,1	0	0	0	32,09	28,00	152,00
14	6	5	2	3	(0,25;1,75)	0,2	261	261	261	74,70	30,00	155,00
15	6	5	2	3	(0,5;1,5)	0,3	712	730	730	476,67	30,00	158,00
16	7	7	2	3	(0;2)	0,1	459	478	478	1650,04	23,00	153,00
17	7	7	2	3	(0,25;1,75)	0,2	483	483	483	1483,16	27,00	146,00
18	7	7	2	3	(0,5;1,5)	0,3	985	1017	1020	**14354,84**	29,00	157,00
										Ortalama	22,94	124,44

Çizelge 4.1'de 7 gelen, 7 giden kamyon ve daha az sayıda kamyona ilişkin çözüm sonuçları bulunmaktadır. 6 gelen ve 6 giden kamyon sayısı aşıldığında matematiksel modelin çözüm süresinin belirgin bir şekilde arttığı gösterilmiştir. SA ve TS'nin çözüm sonuçları ve çözüm süresi, algoritmaların makul zamanda uygun çözümler verdiğini göstermektedir. 7 gelen ve 7 giden kamyonun kullanıldığı test problemlerinde çözüm süresinin CPLEX çözücüsüyle üç saati aştığı gözlemlenmiştir. Lee vd. (2012) çalışmasında 6 gelen ve 6 giden kamyonun üzerindeki test problemleri için optimizasyon programlarıyla makul zamanda çözüm bulmanın mümkün olmadığını belirtmiştir. Çözüm süresiyle ilgili gözlenen değerler ilgili çalışmayı destekleyen niteliktedir.

Küçük boyutlu test problemlerinin sonuçlarına göre CPLEX çözücüsü kullanılarak elde edilen eniyi çözümler ve meta-sezgisel algoritmaların Bağıl Sapma Yüzdeleri (Relative Percentage Deviation -RPD) Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Küçük boyutlu problemler için RPD (%) değerleri

Test problemi	CPLEX Eniyi Çözüm	RPD(%)		Test problemi	CPLEX Eniyi Çözüm	RPD(%)	
		SA	TS			SA	TS
1	0	0,00	0,00	10	0	0,00	0,00
2	133	0,00	0,00	11	15	0,00	0,00
3	237	0,00	0,00	12	374	0,00	0,00
4	21	0,00	0,00	13	0	0,00	0,00
5	65	0,00	0,00	14	261	0,00	0,00
6	473	1,69	1,69	15	712	2,53	2,53
7	0	0,00	0,00	16	459	4,14	4,14
8	0	0,00	0,00	17	483	0,00	0,00
9	47	0,00	0,00	18	985	3,25	3,55
					Ortalama	0,65	0,66

$$RPD(\%) = \frac{Metasezgiselin\ çözümü - Eniyi\ çözüm}{Eniyi\ çözüm} \text{X}100$$

Çizelge 4.2'de hesaplanan RPD değerleri incelendiğinde, her iki meta-sezgisel algoritmanın da küçük boyutlu problemlerin çoğunda eniyi çözümü bulduğu görülmüştür. SA ve TS'nin problem boyutu arttığında CPLEX'e göre makul sürede uygun çözümler verme potansiyeli açıktır. SA ve TS'nin performansı büyük boyutlu test problemleri ile test edilmiştir.

4.6. Büyük Boyutlu Problemlerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kamyonların farklı varış zamanları ve teslim zaman pencerelerine göre veriler kullanılarak test problemleri oluşturulmuş ve çözüm sonuçları incelenmiştir. Büyük boyutlu problemler için iyimser ($\propto$=0; β=2), olası ($\propto$=0,25; β=1,75) ve kötümser ($\propto$=0,5; β=1,5) durumlara göre oluşturulan teslim zaman pencereleri ve varış zamanları için (ρ=0,1; 0,2; 0,3) birbirine yakın zamanları belirtilen faktörler kullanılarak elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, SA için başlangıç sıcaklığı 100°C, soğutma oranı %90 olarak belirlenmiştir.

Tabu arama algoritmasının parametrelerinin belirlenmesi

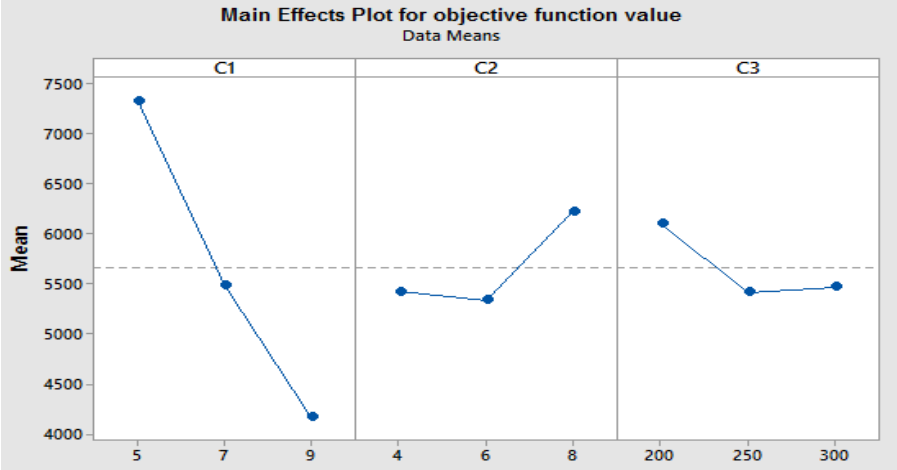
TS algoritmasının büyük boyutlu problemlerde çözümünde kullanılmak üzere parametrelerinin belirlenmesi için deney tasarımı yapılmıştır. Algoritmanın performansını önemli ölçüde etkileyebilecek üç faktör; aday liste uzunluğu, tabu listesi uzunluğu ve ardıştırma sayısı seçilmiştir. İlgili üç faktöre göre, aday listesi uzunluğu için üç düzey C1 (5, 7, 9), tabu listesi uzunluğu için üç düzey C2 (4, 6, 8) ve ardıştırma sayısı için üç düzey C3 (200, 250,300) belirlenmiştir. Büyük boyutlu problemler içinden seçilen 10 problem ve 3^3 farklı deney kombinasyonu için $10x3^3$=270 deney yapılmıştır. Belirtilen faktörler için varyans analizi sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
C1	2	453234511	226617255	56,18	0,000
C2	2	43115427	21557713	5,34	0,005
C3	2	25965858	12982929	3,22	0,042
Error	263	1060797024	4033449		
Total	269	1583112820			

Şekil 4.2. Tabu parametreleri için varyans analizi

Büyük boyutlu problemler için %5 anlam düzeyinde tüm faktörler önemlidir. Varyans analizi sonuçlarına göre, büyük boyutlu problemlerin çözüm sonuçlarının değişiminde tüm faktörlerin anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Faktör düzeylerini belirlemek için ana etkiler grafiği çizilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Faktör düzeyleri için ana etki grafikleri

Şekil 4.3' deki ana etki grafikleri incelendiğinde, amaç fonksiyonunun enküçük değerlerini elde etmemizi sağlayan aday listesi uzunluğunun 5'ten 9'a doğru arttırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tabu listesi uzunluğunun incelenen değerleri içinde "6" ve ardıştırma sayısının "250" olması durumunda amaç fonksiyonu için daha iyi değerler elde edildiği görülmüştür. Gözlemlenen değerlere göre aday liste uzunluğu "9", tabu listesi uzunluğu "6" ve ardıştırma sayısı "250" olarak seçilmiştir.

SA ve TS'nin performansını büyük boyutlu test problemlerinde gözlemlemek için 30 test problemi her iki algoritma için tekrarlı olarak (her test problemi 10 defa) çözdürülmüştür. Test problemlerinin sonuçlarına ilişkin enküçük değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Büyük boyutlu problemlerde SA ve TS'nin amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süresi bakımından karşılaştırılması

							Amaç fonksiyonu değeri		Çözüm süresi (sn)	
Test problemleri	I	O	R	S	(α,β)	ρ	SA	TS	SA	TS
1	15	20	5	5	(0;2)	0,1	2329	2027	76,00	654,00
2	15	20	5	5	(0,25;1,75)	0,2	2675	2924	83,00	666,00
3	15	20	5	5	(0,5;1,5)	0,3	3933	3290	89,00	711,00
4	20	20	6	5	(0;2)	0,1	1786	1692	63,00	577,00
5	20	20	6	5	(0,25;1,75)	0,2	2264	1917	70,00	565,00
6	20	20	6	5	(0,5;1,5)	0,3	3911	3142	74,00	649,00
7	25	20	7	6	(0;2)	0,1	1750	1362	75,00	641,00
8	25	20	7	6	(0,25;1,75)	0,2	1507	1956	76,00	663,00
9	25	20	7	6	(0,5;1,5)	0,3	2836	2505	73,00	681,00
10	20	30	6	7	(0;2)	0,1	3043	3389	106,00	810,00
11	20	30	6	7	(0,25;1,75)	0,2	3701	3870	113,00	832,00
12	20	30	6	7	(0,5;1,5)	0,3	6260	5735	117,00	860,00
13	25	30	7	7	(0;2)	0,1	3456	3143	97,00	700,00
14	25	30	7	7	(0,25;1,75)	0,2	4024	3351	110,00	823,00
15	25	30	7	7	(0,5;1,5)	0,3	5306	5473	108,00	866,00
16	30	30	8	7	(0;2)	0,1	4055	3892	103,00	814,00
17	30	30	8	7	(0,25;1,75)	0,2	3906	3956	98,00	812,00
18	30	30	8	7	(0,5;1,5)	0,3	4635	3566	118,00	822,00
19	30	35	10	9	(0;2)	0,1	2960	2717	109,00	812,00
20	30	35	10	9	(0,25;1,75)	0,2	3114	3702	123,00	824,00
21	30	35	10	9	(0,5;1,5)	0,3	5572	5025	116,00	823,00
22	35	35	10	10	(0;2)	0,1	3272	3385	122,00	970,00
23	35	35	10	10	(0,25;1,75)	0,2	4985	4137	115,00	940,00
24	35	35	10	10	(0,5;1,5)	0,3	5969	5234	132,00	954,00
25	35	40	11	10	(0;2)	0,1	3322	2915	112,00	904,00
26	35	40	11	10	(0,25;1,75)	0,2	3774	3303	106,00	928,00
27	35	40	11	10	(0,5;1,5)	0,3	5805	5646	114,00	968,00
28	40	40	11	11	(0;2)	0,1	4471	3382	120,00	955,00
29	40	40	11	11	(0,25;1,75)	0,2	6042	5278	135,00	946,00
30	40	40	11	11	(0,5;1,5)	0,3	6810	6447	114,00	958,00
					Ortalama		3915,77	3612,03	102,23	804,27

Algoritmaların çözümü ile bulunan amaç fonksiyonu değerlerine göre test problemlerinin çoğunda, TS'nin SA' ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Her iki algoritmanın sonuçları için RPD değerleri hesaplanmıştır. RPD meta-sezgisellerin karşılattırılmasında kullanılan bir performans göstergesidir. Meta-sezgisel algoritmaların

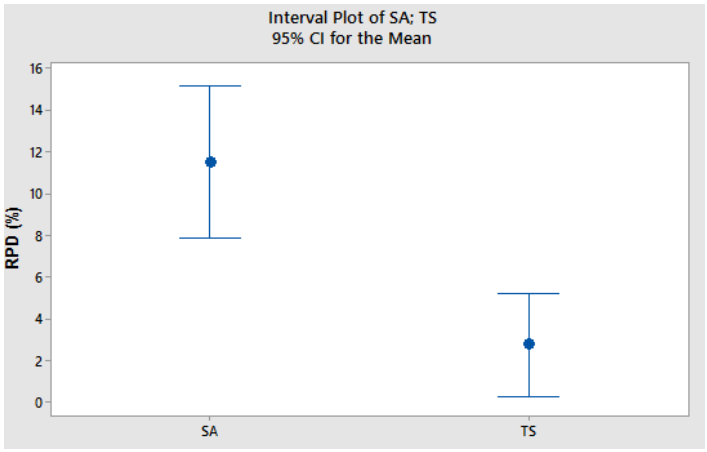
Bağıl Sapma Yüzdeleri (Relative Percentage Deviation - RPD) açısından karşılaştırması yapılmıştır. RPD (%) değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Büyük boyutlu problemler için RPD (%) değerleri

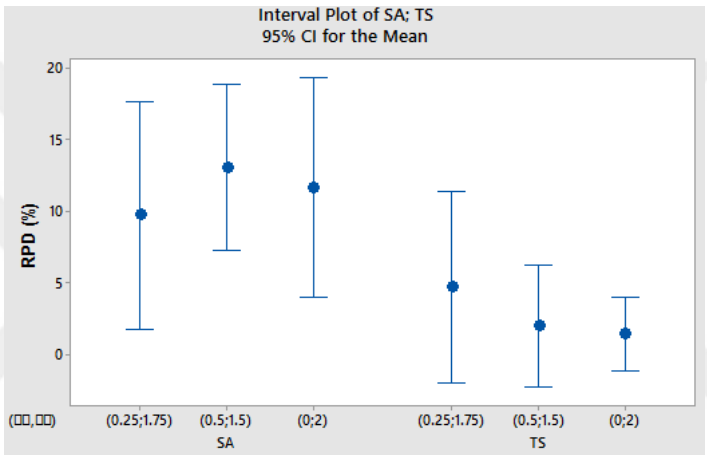
Test problemi	Meta-sezgisellerden elde edilenlerin eniyisi	RPD(%)		Test problemi	Meta-sezgisellerden elde edilenlerin eniyisi	RPD(%)	
		SA	TS			SA	TS
1	2027	14,90	0,00	16	3892	4,19	0,00
2	2675	0,00	9,31	17	3906	0,00	1,28
3	3290	19,54	0,00	18	3566	29,98	0,00
4	1692	5,56	0,00	19	2717	8,94	0,00
5	1917	18,10	0,00	20	3114	0,00	18,88
6	3142	24,47	0,00	21	5025	10,89	0,00
7	1362	28,49	0,00	22	3272	0,00	3,45
8	1507	0,00	29,79	23	4137	20,50	0,00
9	2505	13,21	0,00	24	5234	14,04	0,00
10	3043	0,00	11,37	25	2915	13,96	0,00
11	3701	0,00	4,57	26	3303	14,26	0,00
12	5735	9,15	0,00	27	5646	2,82	0,00
13	3143	9,96	0,00	28	3382	32,20	0,00
14	3351	20,08	0,00	29	5278	14,48	0,00
15	5306	0,00	3,15	30	6447	5,63	0,00
					Ortalama	11,18	2,73

$$RPD(\%) = \frac{Metasezgiselin\ \text{çözümü} - Metasezgisellerden\ elde\ edilenlerin\ eniyisi}{Metasezgisellerden\ elde\ edilenlerin\ eniyisi} X100$$

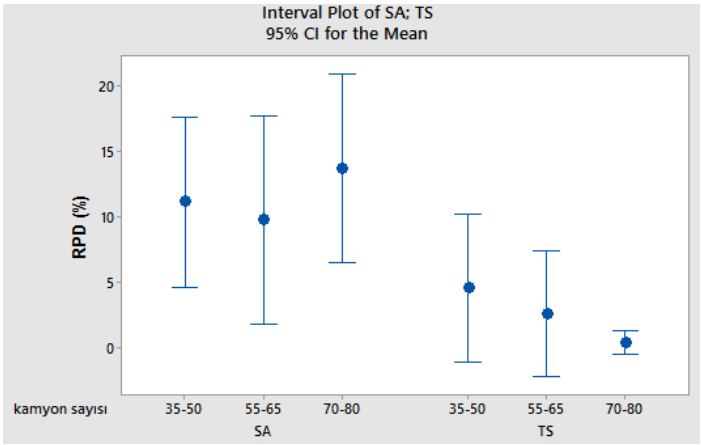
Çizelge 4.4' deki değerler incelendiğinde, 30 test probleminin çözümüyle elde edilen sonuçlarda SA algoritmasının RPD değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Değerlerin ortalamaları incelendiğinde, SA'nın %11,18 ve TS'nin %2,73 sapma değerine sahip olduğu görülmüştür. İki algoritmanın RPD değeri %95 güven düzeyinde, aralık grafiğiyle Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4. SA ve TS algoritmaları için (a) genel olarak (b) zaman pencerelerine göre (c) kamyon sayısına göre RPD aralık grafikleri

Şekil 4.4 (a)'da iki algoritma RPD değerlerine göre ikili olarak, (b) ve (c) de ise zaman penceresi aralıklarına (α, β) ve toplam kamyon sayılarına göre ikili olarak incelenmiştir. Üç grafik de iki algoritmanın RPD değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. Her üç grafiğe göre de TS algoritmasının SA algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

SA ve TS algortimalarının tekrarlı çözümleri sonucunda elde edilen en iyi değerlerin arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gözlemlemek için eşleştirilmiş-t testi yapılmıştır.

Hipotez testleri

H_0: SA ve TS algoritmalarının çözüm sonuçları arasında anlamlı bir fark yoktur

H_a: SA ve TS algoritmalarının çözüm sonuçları arasında anlamlı bir fark vardır.

Paired T-Test and CI: SA; TS

Paired T for SA - TS

	N	Mean	StDev	SE Mean
SA	30	3916	1429	261
TS	30	3612	1297	237
Difference	30	303,7	433,4	79,1

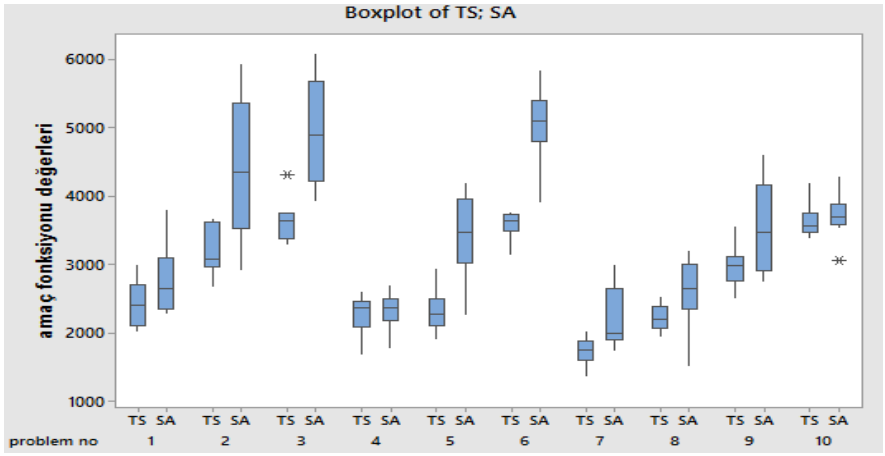
95% CI for mean difference: (141,9; 465,6)
T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 3,84 P-Value = 0,001

Şekil 4.5. SA ve TS algoritmaları için eşleştirilmiş t-testi sonuçları

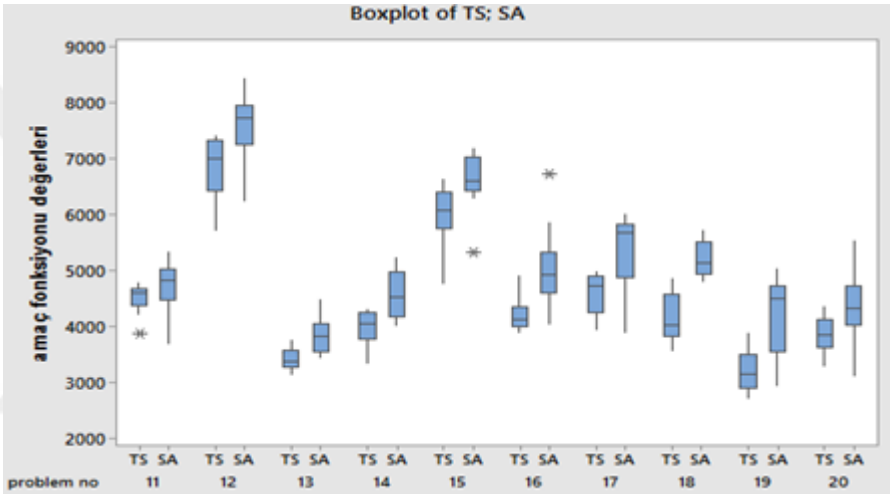
p-value = 0,001 < 0,05

H_0 hipotezi reddedilmiş ve H_a hipotezi kabul edilmiştir. SA ve TS algoritmalarının çözüm sonucu değerleri arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir.

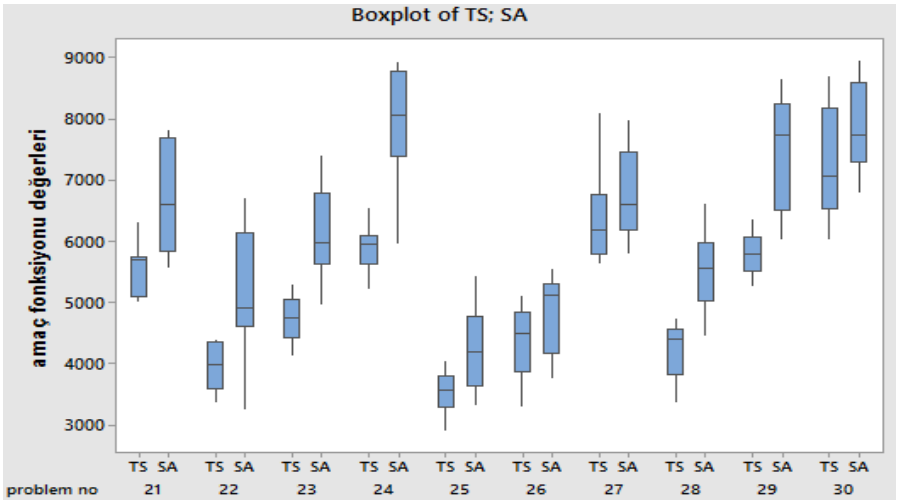
Her algoritma için her bir test problemi 10'ar kez çözdürülmüştür. Çözüm sonuçlarının her algoritmaya ve test problemine göre kendi içindeki değişkenliğini gözlemlemek için box ve whisker diyagramı 30 test problemi için incelenmiştir (Şekil 4.6).



(a)



(b)

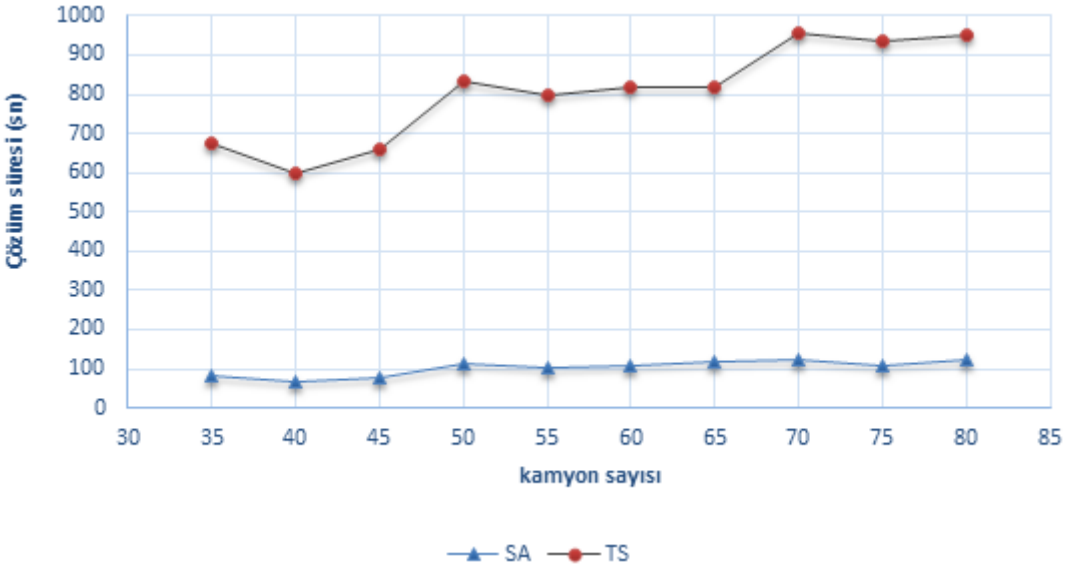


(c)

Şekil 4.6. SA ve TS algoritmalarına göre (a) 1-10 (b) 11-20 (c) 21-30 numaralı test problemlerinin sonuçları için göre box ve whisker diyagramları

Şekil 4.6'daki box ve whisker diyagramında her 10 çözümde uç değerler (en iyi ve en kötü) ve bu değerlerin hangi aralıkta değiştiği görülmektedir. Ele alınan amaç fonksiyonu enküçükleme olduğu için enküçük değerlerin daha çok TS algoritmasının tekrarlı testlerinden elde edildiği ve SA algoritmasıyla elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin kutularının daha uzun (daha geniş bir aralıkta) olduğu gözlenmiştir. Bu durum SA ve TS algoritmalarının tekrarlı testlerinde TS algoritmasının daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Büyük boyutlu test problemlerinde, aynı ardıştırma sayıları için SA ve TS algoritmaları çözüm sürelerine göre de karşılaştırılmıştır. SA algoritmasının TS'ye göre daha kısa sürede çözüm verdiği görülmüştür. Kamyon sayısı arttıkça TS algoritmasının çözüm süresinde belirgin bir artış olduğu Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Çözüm süresinin kamyon sayısına göre değişimi

Şekilde kamyon sayısı ile algoritmaların çözüm süresi arasındaki değişim verilmiştir. Büyük boyutlu problemler için SA'nın ortalama çözüm süresi (102,23 sn) %87 oranında TS'den daha kısadır. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde çözüm süresi en önemli ölçüt olduğunda SA'nın kullanımı tercih edilebilir.

Büyük boyutlu test problemlerinin amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, gelen kamyon sayısı (I), giden kamyon sayısı (O) ve zaman penceresi aralığına (α, β) göre incelenmiştir. Belirtilen üç faktöre göre varyans analizi sonuçları verilmiştir (Şekil 4.8).

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
I	Fixed	6	15; 20; 25; 30; 35; 40
O	Fixed	4	20; 30; 35; 40
(α,β)	Fixed	3	(0.25;1.75); (0.5;1.5); (0;2)

Analysis of Variance

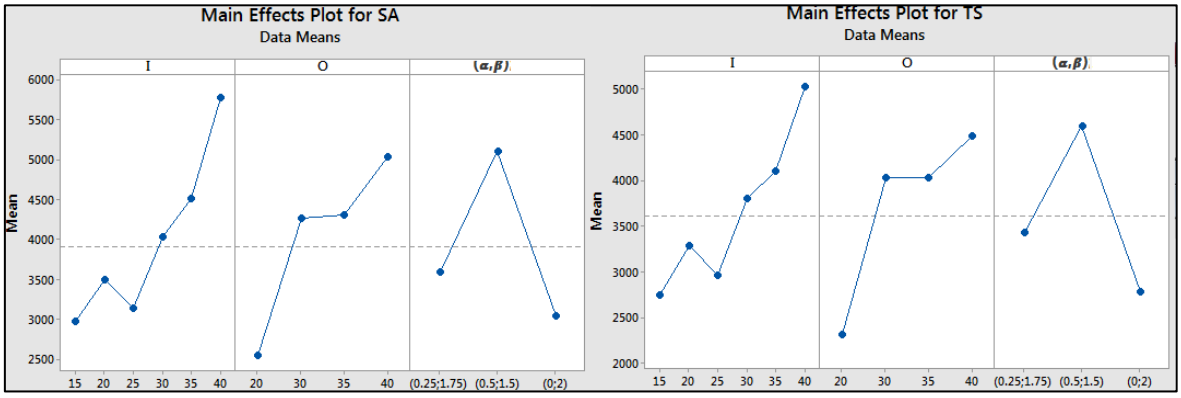
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
I	5	3459465	691893	2,26	0,091
O	3	12919241	4306414	14,04	0,000
(α,β)	2	16934498	8467249	27,60	0,000
Error	19	5829079	306794		
Total	29	48821399			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
553,890	88,06%	81,78%	68,28%

Şekil 4.8. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre varyans analizi sonuçları

Varyans analizi sonuçlarına göre, belirtilen problem türü için zaman pencerelerindeki ve giden kamyon sayısındaki değişimin anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Test problemlerinin çözüm sonuçları da incelendiğinde, teslim zaman penceresi daraldıkça amaç fonksiyonu değerlerinde artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre ana etki grafikleri

Şekil 4.9'da giden kamyon sayısı arttıkça ve teslim zaman penceresi daraldıkça her iki algoritmanın da çözüm sonuçlarında belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Kamyon sayıları ve teslim zaman pencerelerinin algoritmaların çözüm süresine etkisi varyans analizi yapılarak incelenmiştir (Şekil 4.10)

Factor	Type	Levels	Values
I	Fixed	6	15; 20; 25; 30; 35; 40
O	Fixed	4	20; 30; 35; 40
(α,β)	Fixed	3	(0.25;1.75); (0.5;1.5); (0;2)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
I	5	39158	7832	3,49	0,021
O	3	159863	53288	23,73	0,000
(α,β)	2	10106	5053	2,25	0,133
Error	19	42658	2245		
Total	29	489210			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
47,3830	91,28%	86,69%	80,73%

Şekil 4.10. Kamyon sayıları ve zaman pencerelerine göre varyans analizi sonuçları

Şekil 4.10'daki varyans analizi sonuçlarına göre teslim zaman penceresindeki değişimin algoritmaların çözüm süresinde anlamlı bir etkisi olmadığı, gelen ve giden kamyon sayılarındaki artışın ise etkili olduğu görülmüştür.

5. ÇAPRAZ SEVKİYAT MERKEZLERİ İÇİN TASARLANAN KARAR DESTEK SİSTEMİ

İşletmelerin lojistik faaliyetleri kapsamında çizelgeleme önemli bir faaliyet olup, çapraz sevkiyat merkezlerinde kaynakların etkin kullanımı çizelgelemenin iyi yapılıp yapılmamasına bağlıdır. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerindeki en önemli operasyonel yönetim problemlerinden biri kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemidir. Belirtilen problemin çözümü için meta-sezgisel algoritmalar süre ve kullanım kolaylığı açısından üstünlük sağlamaktadır Tez çalışması kapsamında meta-sezgisel algoritmaları kullanacak bir bilgisayar yazılımı ile işletmelerin kolaylıkla kendi çizelgelerini yapabilecekleri bir Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur. KDS'nin, problemi istenilen amaç fonksiyonuna göre çözmesi ve kullanıcıya çizelgeleri hazır olarak sunması sağlanmıştır.

- KDS, çapraz sevkiyat merkezine gelen ve giden kamyonların kabul ve sevkiyat kapılarındaki sıralarını, yüklemeye ve boşaltmaya başlama-bitirme zamanlarını, çapraz sevkiyat merkezinden ayrılma zamanlarını kolayca belirleyerek sevkiyat çizelgelerini oluşturmaya destek olur.

- Gerçek zamanlı bir şekilde çapraz sevkiyat merkezinin çalışmasını canlandırarak farklı parametrelere göre çözümlerin sonuçlarını değerlendirir ve ele alınan iki meta-sezgisel algoritmaya göre en uygun çözümü sunar.

- KDS, üç temel bölümden oluşmaktadır: Veri yönetimi, model yönetimi, dialog yönetimi. Veri yönetimi ile problemle ilgili tüm veriler saklanmaktadır. Model yönetimi, meta-sezgisel algoritmaların yer aldığı kısmı oluşturmaktadır. Diyalog yönetimi, kullanıcı arayüzleri ile kullanıcının model ile iletişimini sağlayan, verilerin girilmesi ve sonuçların görülmesini sağlayan bölümü içermektedir.

- KDS, kolaylığı, kabiliyetleri ve farklı sistemlerle kolayca çalışabilme özelliklerinden dolayı Python yazılımı ile kodlanmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında, çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde kamyonların farklı geliş zamanlarını ve giden kamyonların teslim zaman pencerelerini dikkate alacak şekilde, giden kamyonların çapraz sevkiyat merkezinden erken ve geç ayrılma süresini enküçükleyecek amaç fonksiyonu için uygun çizelgeyi verebilecek bir KDS tasarlanmıştır.

Tasarlanan KDS'nin, karar verici açısından daha kullanışlı bir hale getirilmesi için çapraz sevkiyat merkezlerindeki farklı amaçlar da sisteme ilave edilmiştir. Bu sayede kullanıcı toplam erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesinin yanı sıra diğer amaçlar için de çözüm sonuçlarını görebilecek, sonuçlar arasından kendisine en uygun olan çizelgeyi seçebilecektir. Çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemlerinde kullanılan ve KDS'ye eklenen diğer amaçlar: toplam gecikmenin enküçüklenmesi, toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi (C_{max}) ve belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesidir.

Toplam gecikmenin enküçüklenmesi

Bu amaç fonksiyonu, çapraz sevkiyat merkezindeki ürünlerin müşterilere zamanında gönderilmesini sağlayarak, müşteri tarafından belirlenen teslim zamanının aşılması durumunda oluşabilecek gecikmeyi enküçükler. Belirtilen amaç fonksiyonu:

$$Enk \sum_{j=1}^{o} (T_j) \qquad (5.1)$$

T_j , giden kamyon j'nin gecikme süresini (5.1) göstermektedir. Giden kamyon j'nin yüklemesinin tamamlandığı zaman, müşteri tarafından belirlenen teslim zamanını (D_j) geçerse gecikme oluşmaktadır.

Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi (Cmax)

Toplam operasyon süresi, tüm giden kamyonların yükleme işlemini tamamlayıp çapraz sevkiyat merkezinden ayrıldığı zamandır. Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesine yönelik amaç fonksiyonu:

$$Enk\ C_{max} \tag{5.2}$$

Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi, boşaltma, ürün aktarımı ve yükleme işlemlerinin olabildiğince kısa sürede tamamlanması gereken çapraz sevkiyat merkezlerinde oldukça önemlidir. Benzer amaç fonksiyonu Joo ve Kim (2013)'in modelinde kullanılmıştır.

Belirli bir çalışma süresi içinde yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesi

Çapraz sevkiyat merkezleri çizelgelenen tüm ürünleri merkezin çalışma süresi içerisinde sevk etmeyi amaçlar. Bu amaçla, giden kamyonların müşterilere götüreceği ürünleri, merkezin çalışma süresi içinde yüklemeyi tamamlaması merkezin fazla mesai uygulamasına engel olurken, müşterilere bu süre içinde gönderilebilecek ürün sayısı da enbüyüklenmiş olur.

$$Enk \sum_{j=1}^{o} \left(u_j \cdot \sum_{k=1}^{P} s_{jk}\right) \tag{5.3}$$

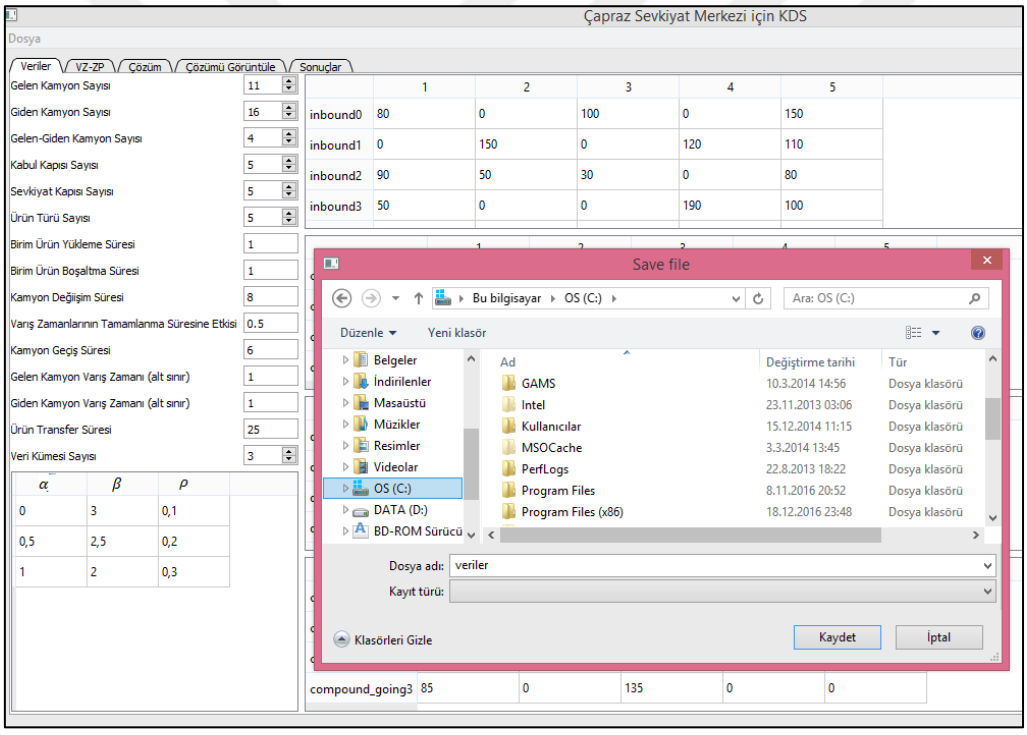
$$C_j \leq W + M \cdot \left(1 - u_j\right) \tag{5.4}$$

Amaç fonksiyonu (5.3) belirli bir çalışma süresi içinde gönderilen ürün sayısını enbüyükler. u_j, giden kamyon j'nin içindeki tüm ürünler belirtilen sürede yüklenirse "1" değerini, aksi durumda "0 " değerini alır. "s_{jk}" k ürününden giden kamyon j'ye yüklenmesi gereken ürün miktarını göstermektedir. Kısıt (5.4)'te yer alan "W" enbüyük çalışma aralığını $[0, W]$, " C_j" giden kamyon j'nin yükleme işlemini bitirdiği zamanı göstermektedir. Benzer amaç fonksiyonu Lee vd. (2012)'nin modelinde kullanılmıştır.

Belirtilen özelliklerin eklenmesiyle, kullanıcıya çalışma kapsamında ele alınan amaç fonksiyonu ile birlikte çapraz sevkiyat merkezlerinde sistemin işleyişi açısından yarar sağlayan, diğer amaç fonksiyonları için de çözümler veren bir KDS tasarlanmıştır. KDS'ye ilişkin temel bileşenler veri yönetimi, model yönetimi ve diyalog yönetimi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

5.1. Veri Yönetimi

KDS'nin veri yönetimi bölümü, test problemlerinin çözümüne ilişkin türetilen veri setlerinin sahip olduğu bilgilerden oluşmaktadır. Veriler türetildikten veya elle veri girişi yapıldıktan sonra kaydedilerek saklanabilmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Sisteme ilişkin verilerin kaydedilmesi

Veri tabanında saklanmak üzere veri girişi yapılan bilgiler:

- Gelen kamyonların sayısı
- Giden kamyonların sayısı
- Gelen-giden kamyonların sayısı
- Ürün türlerinin sayısı
- Kabul kapıları sayısı

- Sevkiyat kapıları sayısı
- Birim ürün boşaltma ve yükleme süresi
- Kamyon değişim süresi
- Gelen giden kamyonların kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi
- Ürünlerin kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi
- Ürün türlerinin gelen ve giden kamyonlardaki miktarları
- Tüm kamyonların çapraz sevkiyat merkezine varış zamanları
- Giden kamyonlar için teslim zaman pencereleri
- Ürün aktarım bilgileri
- Gelen, giden ve gelen-giden kamyonların boşaltma ve yükleme zaman bilgileridir.

5.2. Model Yönetimi

Çapraz sevkiyat merkezinin çalışma prensiplerine uygun olacak şekilde bir model hazırlanmıştır. Model kamyonların geliş ve gidiş saatleri, ürünlerin yükleme süreleri, kamyon değişim süreleri vb. sistem değişken ve parametrelerine bağlı olarak gerçek bir çapraz sevkiyat merkezini canlandırmaktadır. Bu canlandırma sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerini kullanarak, seçilen algoritmaya ve algoritma parametrelerine göre uygun çizelgeyi bulmaya çalışmaktadır. Model, nesne tabanlı programlama prensipleri kullanılarak yazılmıştır. Oluşturulan nesneler ve detayları alt başlıklar halinde verilmiştir.

Kamyon Nesnesi: Kamyon (truck) nesnesi kamyonlar için oluşturulmuş genel nesnedir. Kamyonların ortak özelliklerini ve fonksiyonlarını içerir. Kamyonların durum bilgisi, kamyon sayıları ve benzetim adımı hesaplarını içerir.

Gelen-kamyon, Giden-Kamyon, Gelen-Giden-Kamyon Nesneleri: Genel kamyon nesnesinden oluşturulan alt nesnelerdir. Her biri temsil ettiği kamyon türünün özelliklerini içerir. Örneğin, Gelen Kamyon (I-Inbound Truck) yükleme zamanlarını içerirken, Giden Kamyon (O-Outbound Truck), boşaltma zamanlarını içerir. Gelen-Giden Kamyon (C-Compound Truck) her iki durumu da içermektedir. Ayrıca

kamyonların farklı durumlarda verdikleri tepkileri içermektedir. Giden kamyonun yüklemeyi tamamladığı anda çapraz sevkiyat merkezinden ayrılması bu duruma bir örnektir.

Kabul-Kapısı ve Sevkiyat-Kapısı Nesneleri: Kabul kapısı (receiving door), sevkiyat kapısı (shipping door) nesneleri, kabul ve sevkiyat kapılarının modellendiği nesnelerdir. Bağlı olduğu kamyonu, kamyonların sıralarını tutar. Kamyonların durumlarına ve kendi durumlarına göre sıradaki kamyonu yüklemeye veya boşaltmaya başlama kararları kapılar tarafından verilir.

İstasyon Nesnesi: İstasyon (station) nesnesi, çapraz sevkiyat merkezinde bekletilen ürünleri, kabul ve sevkiyat kapısı nesnelerini tutar. Kapılar aracılığı ile kamyonlar ile iletişim sağlanır.

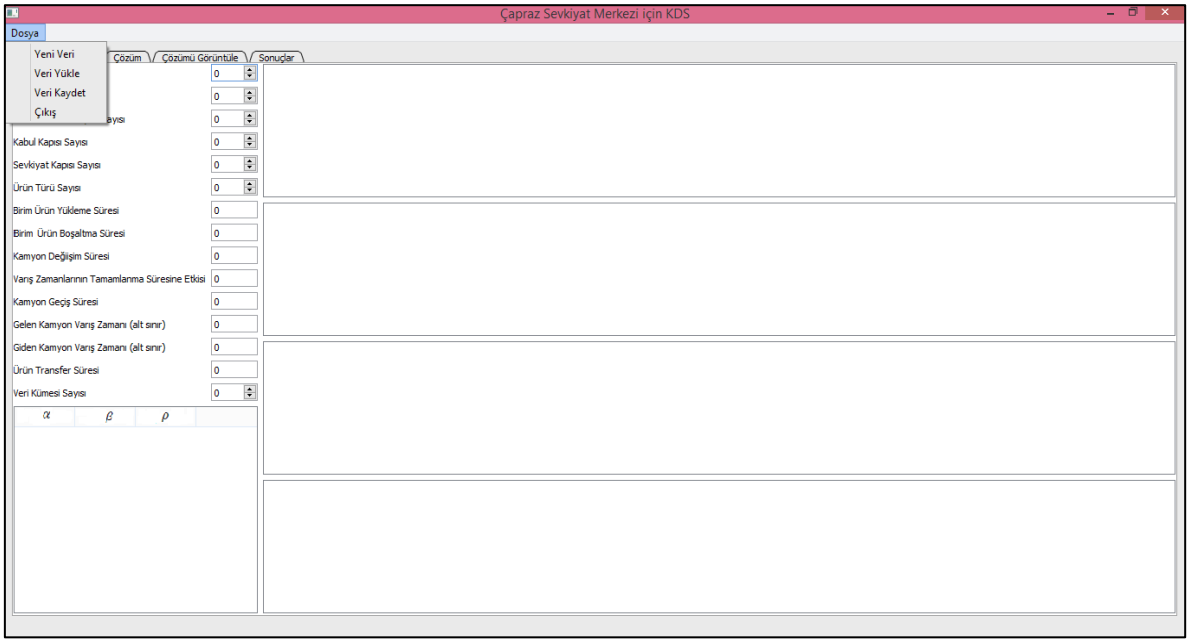
Çözücü Nesnesi: Model için oluşturulan bütün nesnelerin tutulduğu, çözümün yapıldığı ve bilgilerin saklandığı çözücü (solver) nesnesidir. Görsel arayüz bu nesne ile haberleşerek veri girişini ve çıkışını sağlar.

Kamyon sayıları, kapı sayıları, zaman parametreleri belirlenen KDS'de sırasıyla izleyen adımlar kullanılır;

- Algoritma seçilir.
- Başlangıç çözümü elde edilir.
- Model istenilen zaman adımı ve başlangıç zamanı ile başlatılır. Her zaman adımında aşağıdaki işlemler kamyonların işlemleri bitene kadar gerçekleştirilir.
    - ✓ Kamyonların durum değişim zamanlarının ve kapıların durum değişim zamanlarının (geliş, gidiş, yükleme, boşaltma) şu anki zamanda olup olmadığı kontrol edilir.
    - ✓ Eğer bir değişim söz konusu ise gerekli durum değişiklikleri yapılır. Değişiklik yok ise devam edilir.
    - ✓ Ürün aktarması durumunda ürün sayıları hesaplanır.
    - ✓ Zaman adımı eklenerek yeni zaman hesaplanır ve tekrar edilir.
- Hesaplar sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve algoritmaya göre yeni sıra hesaplanır. İstenilen ardıştırma sayısına ulaşana dek devam edilir.

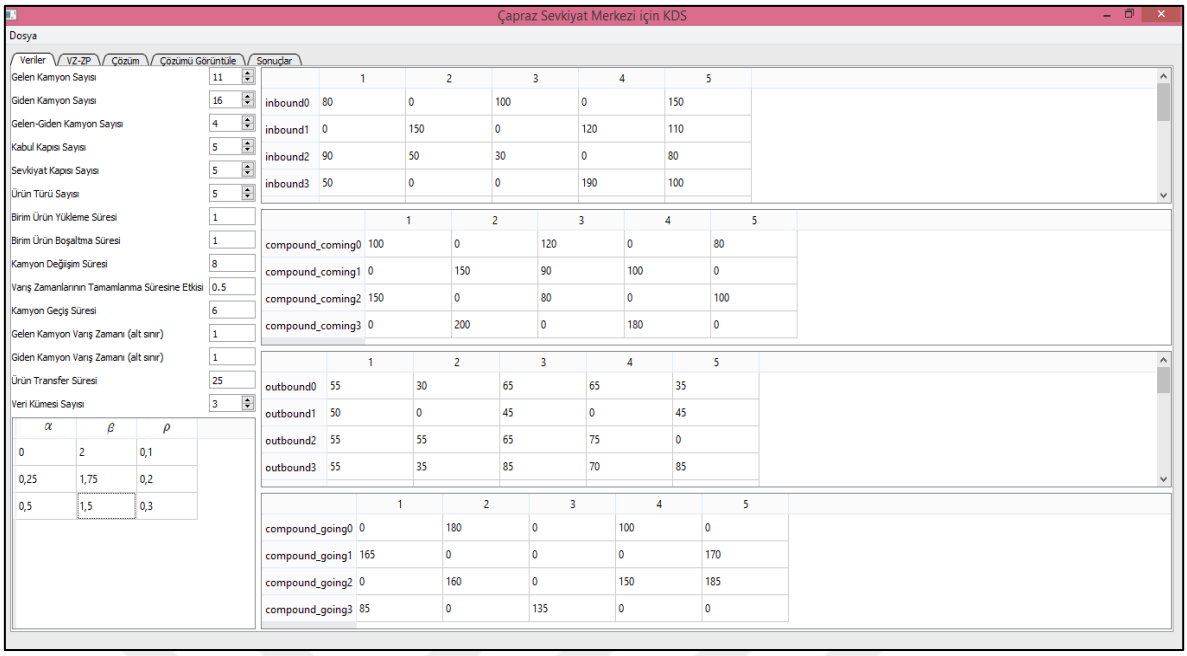
5.3. Diyalog Yönetimi

Diyalog yönetiminde, KDS'ye ait arayüzler yer almakta ve beş ana sekmeden oluşmaktadır. İlgili sekmeler: "Veriler", "VZ-ZP (Varış zamanları ve Zaman Pencereleri)", "Çözüm", "Çözümü Görüntüle" ve "Sonuçlar" dır. Kullanıcı, "Dosya" bölümünden yeni veri girişi (yeni veri), eski verilerin tekrar yüklenmesi (veri yükle), yeni girilen verilerin kaydedilmesi (verileri kaydet) işlemlerini yapabilmektedir. Birinci sekme (veriler) ile açılan arayüzde sisteme ait ilk ekran verilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Başlangıç arayüzü

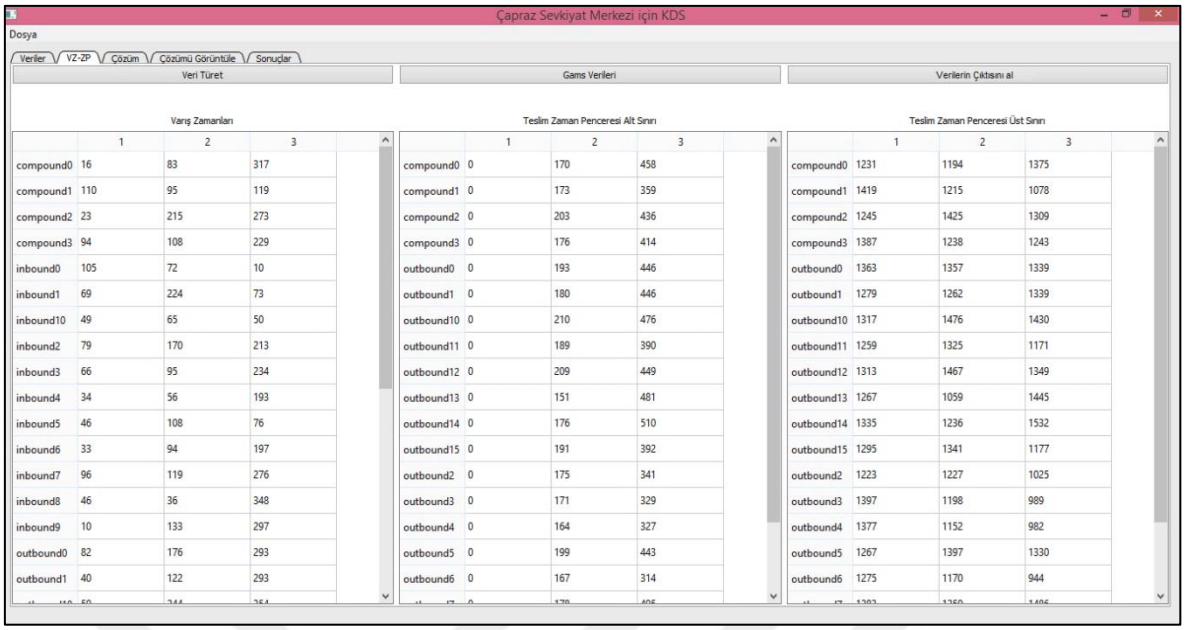
Şekil 5.2'de, "Yeni Veri" seçildikten sonra veri girişini yapabilmek için gelen arayüzde, gelen, giden, gelen-giden kamyon sayıları, kabul ve sevkiyat kapısı sayıları, ürün türü sayısı, ürün yükleme ve boşaltma süreleri, kamyon değişim süresi, ürün aktarma süresi, kamyon varış zamanlarının alt sınırları gibi değerler girilebilmektedir. İlgili parametrelerin yanı sıra, zaman pencereleri ve kamyonların varış zamanlarının türetilebilmesi için "∝, β" ve "ρ" değerleri de türetilmek istenen veri kümesi sayısı seçildikten sonra oluşan tabloya girilebilmektedir. Belirtilen veriler girildikten sonra, arayüzün sağ tarafında her kamyonun ürün içeriğinin girilmesi için tablolar oluşmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Bir probleme ilişkin veri giriş ekranı

Şekil 5.3'de kamyon ve ürün türü sayılarına ve her kamyonun içeriğine göre ürün sayıları girilebilmektedir. Örneğin ilk tabloda, gelen komyon 1 (inbound 1)'de 2. ürün türünden "150" adet bulunmaktadır. Ürün türü ve kamyon sayılarına göre dört adet tablo oluşmaktadır. Birinci tabloya sadece "gelen kamyonların" içindeki ürün sayıları ikinci tabloya ise "gelen-giden" kamyonların çapraz sevkiyat merkezine getirdikleri ürün sayıları girilmektedir. Üçüncü tabloya sadece "giden kamyonların" yüklemesi gereken ürünler ve dördüncü tabloya "gelen-giden" kamyonların çapraz sevkiyat merkezinden ayrılmadan önce yüklemesi gereken ürünler girilmektedir.

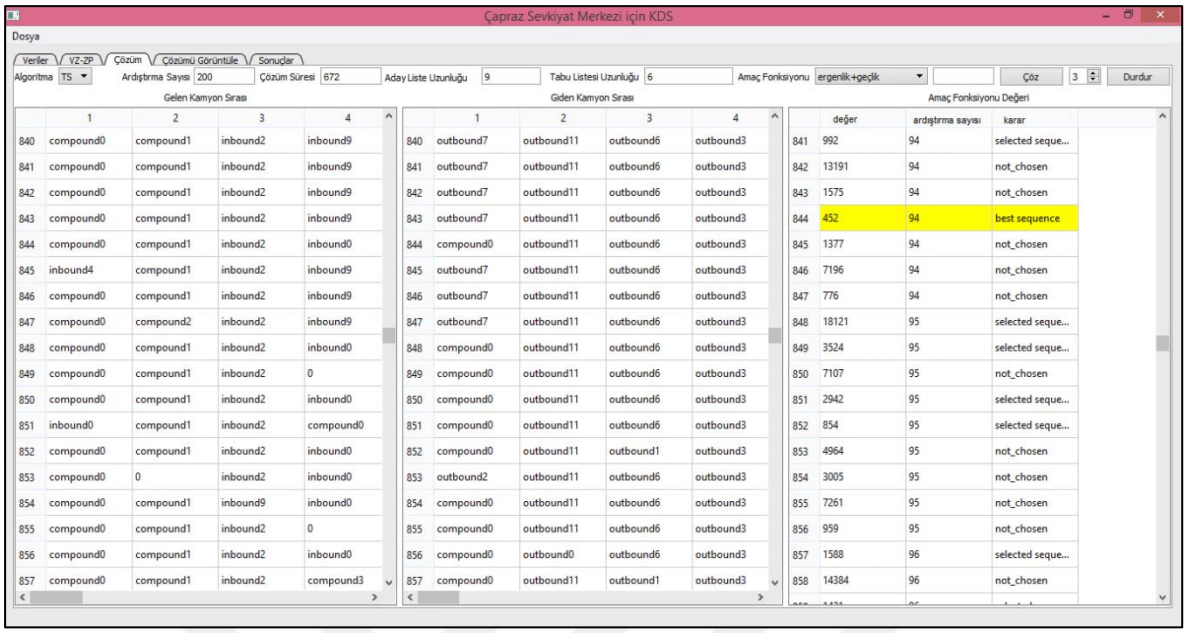
Belirtilen verilerle birlikte teslim zaman pencerelerinin ve kamyonların varış zamanlarının türetilebilmesi için ($\propto$=0; β=2), ($\propto$=0,25; β=1,75), ($\propto$=0,5; β=1,5), (ρ=0,1; 0,2; 0,3) katsayılarının da aynı ekrana girilmesi sağlanmıştır. Her kamyon için çapraz sevkiyat merkezine geliş zamanının, giden kamyonlar için teslim zaman pencerelerinin alt ve üst sınırın verildiği arayüz Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Kamyon varış zamanları ve zaman pencereleri arayüzü

Şekil 5.4'de, bir önceki arayüzdeki (Şekil 5.3) bilgilere göre her kamyon için çapraz sevkiyat merkezine varış zamanı, teslim zaman pencerelerinin alt ve üst sınırları "Veri Türet" tuşuna basılarak türetilmektedir. Veri girişinin yapıldığı ilk ara yüzde belirlenen "∝, β" ve "ρ" değerleri kullanılarak üç adet veri kümesi türetilmiştir. Şekildeki "Varış Zamanları" isimli birinci tablonun ilk sütünü birinci veri kümesine ilişkin varış zamanlarını, ikinci ve üçüncü sütunlar da ikinci ve üçüncü veri kümelerine ilişkin varış zamanlarını göstermektedir. Benzer şekilde, zaman pencerelerinin alt ve üst sınırlarını gösteren "Teslim Zaman Penceresi Alt Sınırı- Teslim Zaman Penceresi Üst Sınırı" isimli tablolar, üç veri kümesine göre kamyonların ayrılma zaman pencerelerinin alt ve üst sınırlarını vermektedir. Verilerin kullanıcı tarafından türetilmediği ve gerçek sistem verilerinin kullanıldığı durumda, aynı tablolara elle veri girişi yapmak mümkün olmaktadır.

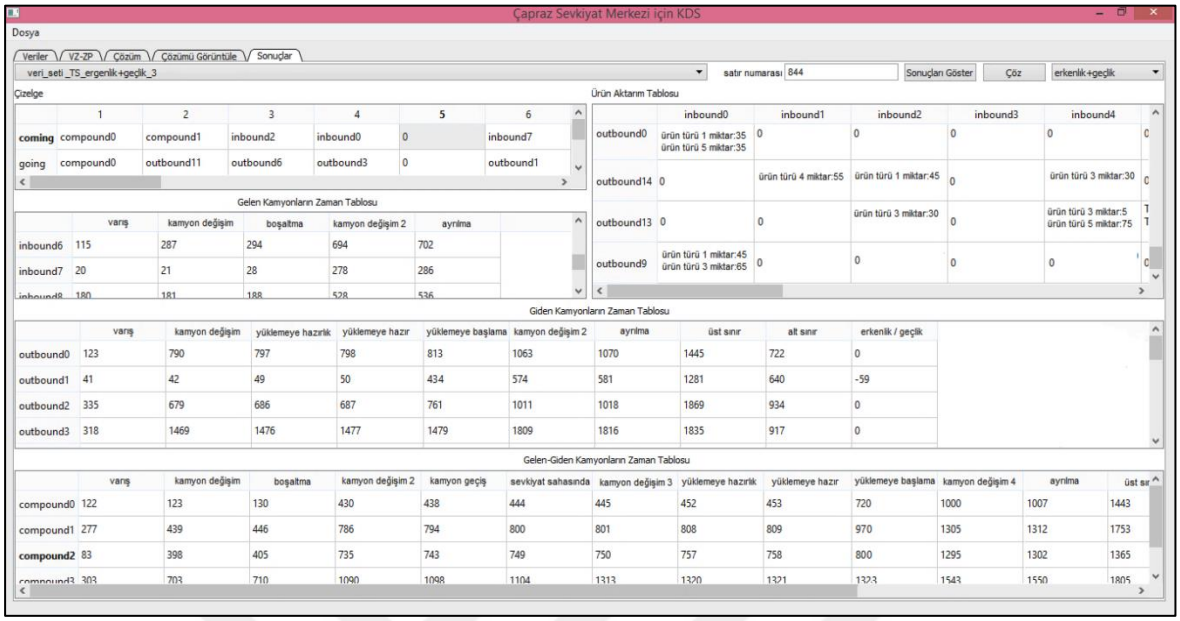
Varış zamanları ve zaman pencerelerinin tanımlanmasının ardından "Çözüm" arayüzüne geçilmektedir. Verilere göre problemin çözümünü veren ekran Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Çözüm ekranı

Şekil 5.5'de seçilen algoritmaya ve algoritmaya ilişkin parametrelere (örn:SA için başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı, TS için aday liste uzunluğu, tabu listesi uzunluğu vb.) göre "Çöz" tuşuna basılarak çözüm yapılmaktadır. Algoritma ekranın en başındaki sekmeden seçildikten sonra istenilen ardıştırma sayısı yanındaki kutucuktan girilebilmektedir. Algoritmaların çözülmesi sırasında bulunan uygun çözümler ve ilgili çözümleri veren gelen ve giden kamyonların kapılardaki sıralamaları ekranın birinci ve ikinci tablolarında gösterilmektedir. Kullanıcı eniyi çözümün sonucunu üçüncü tablodaki en son sarıya boyalı satırdan ve çözüm süresini "Çözüm Süresi" kutucuğundan görebilmektedir. Kullanıcı türetilen verilere göre çözmek istediği veri kümesinin numarasını "Çöz" tuşunun yanındaki kutucuktan belirleyebilmektedir. Algoritmalar çalışırken belirli bir süre sonra program durdurulmak istenirse "Durdur" tuşuna basılmakta ve o zamana kadar elde edilen eniyi çözüm görülebilmektedir.

Eklenen diğer amaçlarla birlikte çözümü istenilen amaç fonksiyonu "Amaç Fonksiyonu" bölümünden seçilebilmektedir. Eniyi çözümün sonucu "Sonuçlar" sekmesi yardımıyla incelenebilmektedir (Şekil 5.6).

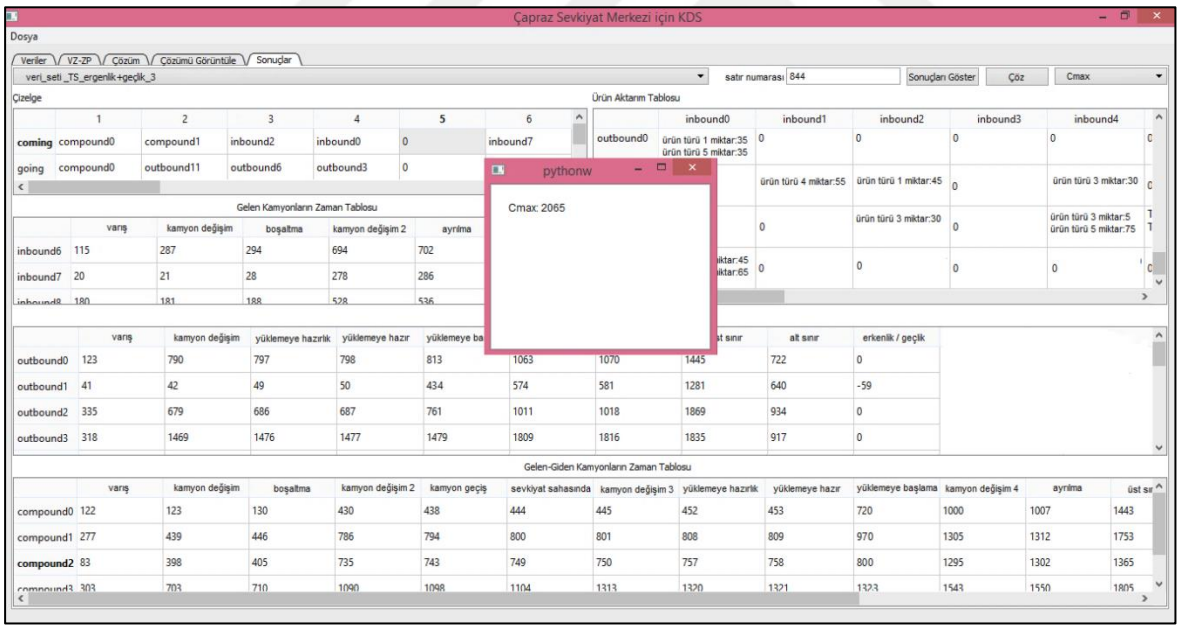


Şekil 5.6. Sonuç Ekranı

Şekil 5.6'da kullanıcı, sol üst köşedeki ilk tabloda (Çizelge) gelen ve giden kamyonların atandıkları kapıları ve ilgili kapılardaki sıralarını görebilmektedir. Gelen kamyonların ataması ve sırası birinci satırda, giden kamyonlarınki ise ikinci satırda verilmiştir. Ekrandaki ikinci tablo (Gelen Kamyonların Zaman Tablosu) gelen kamyonların boşaltma işlemi için beklemeye başladığı (varış), boşaltma işlemine başlamak için kabul kapısına yanaştığı (kamyon değişim), boşaltma işlemine başladığı (boşaltma), boşaltma işlemini bitirip kapıdan ayrılmak için hazırlandığı (kamyon değişim2) ve kapıdan ayrılma işleminin tamamlandığı (ayrılma) zamanları göstermektedir. Benzer şekilde üçüncü tabloda (Giden Kamyonların Zaman Tablosu), giden kamyonların yükleme işlemi için beklemeye başladığı (varış), yükleme işlemine başlamak için kabul kapısına yanaştığı (kamyon değişim), yükleme işlemi için beklediği (yüklemeye hazırlık), yüklemeye hazır olduğu (yüklemeye hazır), yükleme işlemine başladığı (yüklemeye başlama), yükleme işlemini bitirip kapıdan ayrılmak için hazırlandığı (kamyon değişim2) ve kapıdan ayrılma işleminin tamamlandığı (ayrılma) zamanlar izlenebilmektedir. Gelen kamyonlardan farklı olarak ele alınan "yüklemeye hazır olma zamanı", giden kamyonlara yüklenecek olan ürünlerin gelen kamyonlardan boşaltılıp sevkiyat sahasına aktarılmasından dolayı gösterilmiştir. Bir giden kamyona

yüklenecek olan ürünler hazır olana kadar, giden kamyonun beklemesi gerekmektedir. İlgili tabloda ayrıca, giden kamyonların teslim zaman pencerelerinin alt ve üst sınırlarıyla erkenlik ve geçlik değerleri de görülebilmektedir. Ekrandaki dördüncü tabloda (Gelen-giden Kamyonların Zaman Tablosu) gelen-giden kamyonlar için tanımlanan zamanlar diğer kamyonlara benzer şekilde gösterilmiştir. Diğer kamyonlara ilişkin tablolardan farklı olarak gelen- giden kamyonlar için kabul sahasından sevkiyat sahasına geçiş süresi (kamyon geçiş) de ilgili tabloda görülebilmektedir. Ekrandaki son tabloda (Ürün Aktarım Tablosu) gelen kamyonlardan giden kamyonlara yapılan ürün aktarımı, ürün türü ve adetlerine göre gösterilmiştir.

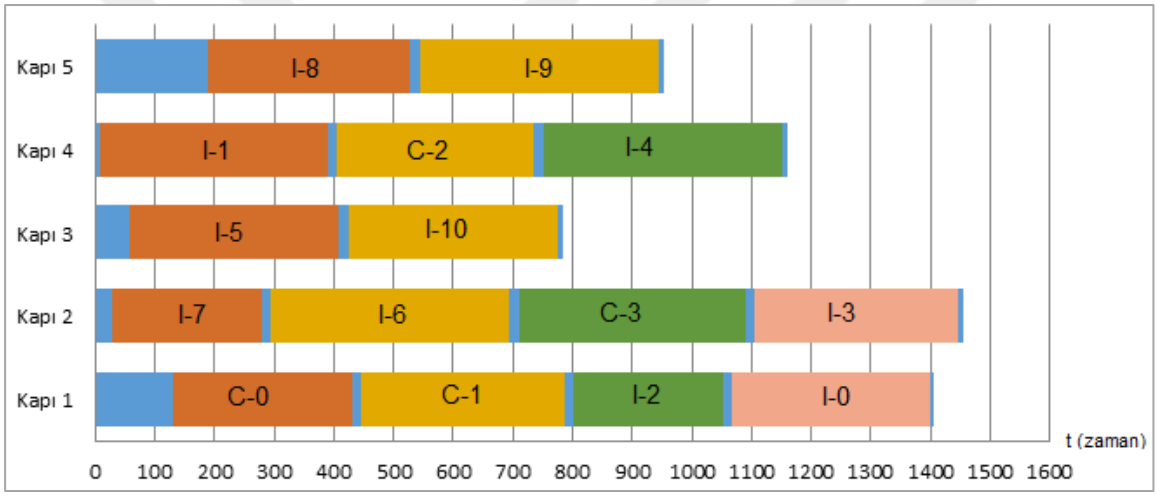
Aynı sıralama kullanılarak farklı bir amaç fonksiyonuna göre çözüm sonucu incelenmek istenirse istenilen amaç fonksiyonu seçilerek yanındaki "Çöz" tuşuna basılır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Farklı bir amaca göre çözüm sonucu

Şekil 5.7'de önce toplam erkenlik ve geçliğin en küçüklenmesi amacına göre çözülen bir problemin verdiği en iyi sıralamanın, C_{max} amacına göre verdiği sonuç "2065" görülmektedir.

Ekran görüntüleri verilen kapı atama ve kamyon çizelgeleme probleminde, 15 gelen kamyon (I=15), 20 giden kamyon (O=20), 4 gelen-giden kamyon (C=4), 5 kabul kapısı (R=5), 5 sevkiyat kapısı (S=5) ve 5 farklı ürün türünden (k=5) toplam 5140 adet ürün bulunmaktadır. Giden kamyonlar için erkenlik ve geçliğin en küçüklenmesi amacına göre problemin çözüm sonuçları incelenmiştir. Gelen, giden ve gelen-giden kamyonlara ilişkin zaman tabloları Excel'e aktarılarak Gantt şeması oluşturulabilmektedir. Problemin verilen parametrelere göre çözümü sonucunda elde edilen gelen kamyonların ürünleri boşaltmaya başlama ve boşaltmayı bitirme zamanları Şekil 5.8'de izlenebilmektedir.

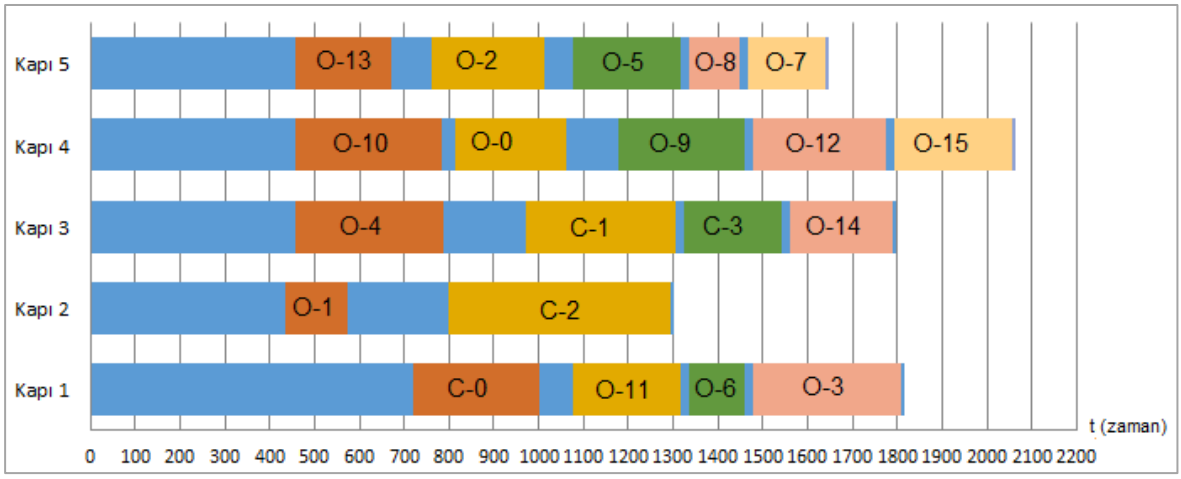


Şekil 5.8. Gelen ve gelen-giden kamyonların çizelgesi

Şekil 5.8'deki çizelgede gelen (I) ve gelen-giden (C) kamyonların hangi kapıda hangi sıra ile boşaltma işlemini yapabileceği problemin çözümü sonucunda elde edilen değerlere göre gösterilmiştir. Örneğin, çapraz sevkiyat merkezinin dördüncü kapısında önce gelen kamyon 1 sonra gelen-giden kamyon 2 ve sonrasında gelen kamyon 4 boşaltılır. Çizelgede kamyonlar boşaltma işlemine başlamadan geçen zaman ve iki kamyonun işlemi arası geçen zaman mavi renkle gösterilmiştir. Her kamyonun boşaltma işlemine başlama ve bitirme zamanları da çizelge üzerinde görülmektedir. Gelen kamyonlardan (I) boşaltılan ürünler müşterilere gönderilmek üzere giden kamyonlara (O) aktarılmaktadır. Her gelen kamyondan boşaltıldıktan sonra giden kamyonlara yüklenmesi gereken ürün sayıları ve türleri Ek Açıklama-B bölümünde

verilmiştir. İlgili çizelgede tüm gelen kamyonlardan giden kamyonlara aktarılması gereken ürünler izlenebilmektedir.

Tasarlanan KDS ile büyük boyutlu problemlerin çözümü sonucunda elde edilen ürün aktarım bilgisi kullanıcıya büyük bir yarar sağlamaktadır. Aynı zamanda, giden kamyonların hangi kapıda ve hangi sıra ile yükleneceği belirlenmekte, yüklemeye başlama ve bitirme zamanları takip edilebilmektedir (Şekil 5.9).

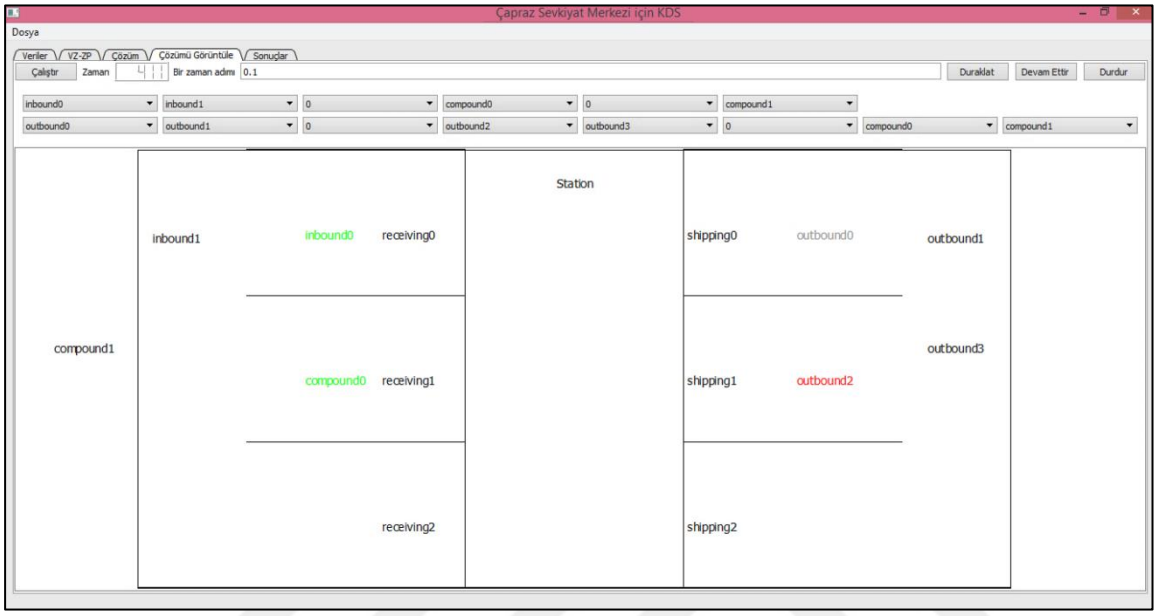


Şekil 5.9. Giden ve gelen-giden kamyonların çizelgesi

Şekil 5.9'daki çizelgede giden (O) ve gelen-giden (C) kamyonların hangi kapıda hangi sıra ile yükleme işlemini yapabileceği problemin çözümü sonucunda elde edilen değerlere göre gösterilmiştir. Örneğin çapraz sevkiyat merkezinin ikinci kapısında önce giden kamyon 1 sonra gelen-giden kamyon 2 yüklenir. Her kamyonun yükleme işlemine başlama ve bitirme zamanları çizelgede izlenebilmektedir.

Toplam erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesine yönelik çözülen problemin amaç fonksiyonu değeri "452" olarak bulunmuştur. Bu değeri oluşturan erkenlik değerleri giden kamyon 1 için "59"; geçlik değerleri giden kamyon 11 için "122", giden kamyon 12 için "260, giden kamyon 15 için "11" olarak bulunmuştur. İlgili değerler "Giden Kamyonların Zaman Tablosu" nun yer aldığı sonuç ekranında görülebilmektedir.

Karar verici eniyi sıralama ya da gözlemlemek istediği bir sıralama için çözüm sonuçlarını "Çözümü görüntüle" sekmesine geçerek görebilmekte ve sistemin benzetimini yapabilmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Sistemin belirli bir sıraya göre benzetimi

Şekil 5.10'daki arayüz yardımıyla kullanıcı kamyonların sıralamasını kendi vererek çözüm alabilir. İstenilen sıra şekildeki sekmeler kullanılarak hazırlanır. Benzetim "Çalıştır" tuşuna basılarak başlatılır ve sistemin ilerleyişi ekranda görülebilir. Çapraz sevkiyat merkezinin herhangi bir zamandaki durumu gözlenebilir. Şekildeki renkli kamyon isimleri benzetim çalışırken hareket halinde olmakta ve kamyonların sistemdeki farklı durumlarını göstermektedir. Örneğin kabul kapısı 1'de (receiving1), gelen-giden kamyon 0 (compound0) boşaltma işlemini gerçekleştirmektedir. Kamyonların sistemdeki renkleri: kırmızı ise kamyon değişim (sıradan çıkma) durumunda olduğunu, yeşil ise yükleme veya boşaltmanın gerçekleştiriliyor olduğunu, mavi ise kamyonun yüklemeye hazır olmadığını, sarı ise yüklemeye hazır olduğunu belirtmektedir. Aynı zamanda, arayüzdeki kapılara, kamyonlara ve istasyona tıklanarak ve benzetim durdurularak o anda kapıda, merkezde veya kamyonda bulunan ürün türleri ve adetleri görülebilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çapraz sevkiyat, bir tedarik zinciri boyunca oluşan maliyetlerde ve tedarik sürelerinde kayda değer bir tasarruf sağlayan önemli bir tedarik zinciri stratejisidir. Çapraz sevkiyat merkezlerinde klasik anlamdaki depolardan farklı olarak, merkeze gelen ve giden ürün akışı düzenlenerek depolama ortadan kaldırılmıştır. Günümüzde, çapraz sevkiyat stratejisinin bilgi teknolojileriyle birlikte kullanımı, tedarik zinciri içindeki üretici, dağıtıcı ve müşteri arasında etkin ve doğru bir bilgi akışı sağlamıştır. Küreselleşme ile birlikte kargo sektörünün büyümesi çapraz sevkiyat stratejisinin uygulanmasını arttırmış, dünyanın farklı yerlerinde mağazaları olan perakendeciler ilgili stratejiyi kullanarak büyük başarılar elde etmiştir.

Çapraz sevkiyat merkezlerinde gelen, giden ürün akışını senkronize edebilmek ve müşteriye zamanında ürün gönderebilmek için ele alınması gereken en temel problemlerden biri kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemidir. Çalışmada, çok kapılı bir çapraz sevkiyat merkezinde kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi, giden kamyonlar için teslim zaman penceresi özelliği dikkate alınarak incelenmiştir. İlgili problemde, gerçek hayat problemlerinde olduğu gibi kamyonların çapraz sevkiyat merkezine farklı zamanlarda ulaştığı kabul edilmiştir. Ayrıca kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemlerinde yer alan gelen ve giden kamyonlar dışında, ürün boşaltmak için merkeze gelen ve boşaltma işlemi bittikten sonra sevkiyat sahasına geçerek yükleme yapan "gelen-giden" kamyonlar da probleme dahil edilmiştir. İlgili problemde, çapraz sevkiyat merkezine istenilen miktarda tedarikçilerden gönderilen ürünler, ayrıştırılarak müşteri taleplerine göre giden kamyonlara yüklenmektedir. Problemin çözümünde kamyonların atandıkları kapılar ve kapılardaki sıralarının belirlenmesinin yanı sıra hangi gelen kamyondan hangi giden kamyona ürün türlerinden kaç adet aktarılacağı da tespit edilebilmektedir. Farklı varış zamanları, zaman penceresi, gelen-giden kamyonlar gibi özellikler dikkate alınarak oluşturulan kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi, giden kamyonların toplam erkenlik ve geçliğinin enküçüklenmesi için çözülmüştür.

Ele alınan problemin matematiksel modeli kurulmuş, türetilen küçük boyutlu test problemleri için GAMS CPLEX çözücüsü kullanılarak eniyi çözümler elde edilmiştir. Kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi NP-Zor problem yapısına sahip olduğu için problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi artmaktadır. 7 gelen, 7 giden kamyon içeren bir test probleminin model yardımıyla çözümünün üç saati aştığı görülmüştür. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde makul sürede iyi sonuçlar elde etmek için meta-sezgisellerin kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla SA ve TS algoritmaları kullanılmıştır. İlgili algoritmalarda kullanılmak üzere başlangıç uygun çözüm, komşu çözüm türetme ve ürün dağıtım mekanizmaları önerilmiştir. Küçük boyutlu test problemlerinde, matematiksel modelin çözülmesiyle elde edilen eniyi çözümler kodlanan meta-sezgisel algoritmaların performansını test etmek için kullanılmıştır. Meta-sezgisel algoritmaların test problemlerinin çoğunda CPLEX çözücüsüyle aynı sonucu bulduğu ve sonuçlar arasında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür.

Büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan SA ve TS algoritmaları çözüm süresi ve çözüm kalitesi bakımından birbiriyle karşılaştırılmıştır. Her test problemi için her algoritma 10 kez çözdürülmüştür. Çözüm sonuçlarının her iki algoritma tarafından bulunan eniyi çözüm değerlerinden sapma miktarları incelendiğinde SA'nın ortalama %11,18 ve TS'nin ortalama %2,73 sapma değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca box ve whisker diyagramları ile her 10 çözüme ait uç değerler (en iyi ve en kötü) ve bu değerlerin hangi aralıkta değiştiği gözlemlenmiştir. Ele alınan amaç fonksiyonu enküçükleme olduğu için enküçük değerlerin daha çok TS algoritmasının tekrarlı testlerinden elde edildiği ve SA algoritmasıyla elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bu durum SA ve TS algoritmalarının tekrarlı testlerinde TS algoritmasının daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Çözüm süresi bakımından incelendiğinde, SA'nın ortalama çözüm süresinin %87 oranında TS'den daha kısa olduğu görülmüştür. Bulunan sonuçlar çözüm kalitesi bakımından TS, çözüm süresi bakımından SA algoritmasının kullanımının daha iyi olduğunu göstermiştir.

Tez çalışması kapsamında, ele alınan problemin çapraz sevkiyat merkezlerinde çözümü için bir KDS tasarlanmıştır. Tasarlanan KDS, çok kapılı çapraz sevkiyat merkezlerinde kamyonların kapılara atanması ve zamanında istenen yere ulaşabilmesi için zaman pencereli kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemini çözen, aynı zamanda karar vericiye kullanıcı dostu arayüzler aracılığıyla sonuçları ortaya koyan bir sistemdir. Belirtilen sistem kullanılarak, ilgili problem için veriler ve çözüm sonuçları kaydedilebilmekte, SA veya TS algoritması kullanılarak çözüm bulunabilmekte ve çapraz sevkiyat merkezi için çözümün benzetimi yapılabilmektedir.

Çapraz sevkiyat konusundaki çalışmalar oldukça kısıtlı olup özellikle ele alınan kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi için yapılan çalışma çapraz sevkiyat merkezleri için uygulamaya dönük bir sistem ortaya koymaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda problem farklı özellik, kısıt ve amaçlar doğrultusunda ele alınarak incelebilir. Ayrıca çapraz sevkiyat merkezi içindeki kabul ve sevkiyat kapıları arasındaki mesafeler de dikkate alınarak ürünlerin merkez içerisinde izlediği yolu enküçükleyecek şekilde aktarım gerçekleştirilebilir. Çapraz sevkiyat merkezi içindeki faaliyetler de probleme katılarak kapı atama ve kamyon çizelgeleme problemi çözülebilir. Giden kamyonlar için erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesi dışında diğer amaçlar da dikkate alınarak birden fazla amacı eniyileyecek şekilde çok amaçlı bir yapı oluşturulabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Aarts, E., Korst, J., 1988, Simulated Annealing and Boltzmann Machines, Wiley& Sons.

Acar, M.K, Yalcin, A., Yankov, D., 2012, Robust door assignment in less-than-truckload terminals, Computers & Industrial Engineering, 63(4),729–738.

Alpan, G., Larbi, R., Penz, B., 2011, A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform, Computers and Industrial Engineering, 60, 385–396.

Alvarez-Perez, G.A., Gonzalez-Velarde, J.L., Fowler, J.W., 2009, Crossdocking-just in time scheduling: an alternative solution approach, Journal of the Operational Research Society, 60(4):554–64.

Amini, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2016, A bi-objective truck scheduling problem in a cross-docking center with probability of breakdown for trucks, Computers and Industrial Engineering, 96, 181-190.

Anonim, 2011, Glossary of the Material Handling Industry of America (MHIA) /http://www.mhia.org/learning/glossary.

Anonim, 2011, Cross-docking trends report /http://www.saddlecrk.com/ whitepapers.

Anonim, 2008, Cross-docking trends report /http://www.saddlecrk.com/ whitepapers.

Apte, M. U., Viswanathan, S., 2000, Effective cross docking for improving distribution efficiencies, International Journal of Logistics: Research and Applications, 3, 291– 302.

Bachlaus M, Pandey MK, Mahajan C, Shankar R, Tiwari MK., 2008, Designing an integrated multi-echelon agile supply chain network: a hybrid taguchi-particle swarm optimization approach, Journal of Intelligent Manufacturing;19(6):747–61.

Bartholdi, J.J, Gue, K.R., 2004, The best shape for a crossdock, Transportation Science, 38(2):235–44.

Bozer, Y., Carlo, H., 2008, Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload cross docks, IIE Transactions, 40:1007–18.

Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M., 2010, A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 49, 741–756.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M., 2011, Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage, Expert Systems with Applications, 38, 1964–1979.

Boloori Arabani, A. R., Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., 2012, A cross-docking scheduling problem with sub-population multi-objective algorithms, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58, 741–761.

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

Boysen, N, Fliedner, M., 2010, Cross dock scheduling: classification, literature review and research agenda, Omega, 38(6):413–22.

Boysen, N., 2010, Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals, Computers & Operations Research, 37, 32–41.

Boysen, N., Briskorn, D., Tschöke, M., 2013, Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departure, OR Spectrum, 35, 479–504.

Boysen N., 2008, Uber die Synchronisierung von Guterstromen in der Umschlaglogistik. Zeitschrift fur Betriebswirtschaft, 78:1285–315.

Cerny, V., 1985, Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm, Journal of Optimization Theory and Applications, 45, 41-51.

Chen, F., Song, K., 2009, Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem, Computers & Operations Research, 36:2066–73.

Chmielewski, A., 2007, Entwicklung optimaler Torbelegungsplane in Stuckgutspeditionsanlagen, Dissertation, University of Dortmund, Germany.

Chen, F., Lee, C. Y., 2009. Minimizing the makespan in two-machine cross-docking flow shop problem, European Journal of Operational Research, 193, 59–72.

Cook RL, Gibson B, MacCurdy D., 2005, A lean approach to cross docking, Supply Chain Management Review, 9(2):54–9.

Çelik, C., İşlerin Bölünebilir Olduğu Paralel Makine Çizelgeleme Problemi için Tabu Arama Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.

Dammayer, F., Vob, S., 1993, Dynamic tabu list management using reverse elimination method, Annals of Operations Research, 41, 31-46.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dondo, R., Mendez, C.A., Cerda, J., 2011, The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management, Computers and Chemical Engineering, 35, 3002-3024.

Ertek, G., 2010, Çapraz sevkiyat için temel bilgiler, Lojistik, Sayı: 13.

Forouharfard, S., Zandieh, M., 2010, An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 51(9), 1179–93.

Glover, F., 1989, Tabu Search-Part I, ORSA J. Comput. 1 (3), 190–206.

Glover, F., 1990. Tabu Search-Part II, ORSA J. Comput. 2 (1), 4–32.

Glover, F., Laguna, M., 1997, Tabu Search, London: Kluwer Academic Publishers.

Glover, F., Taillard, E., Werra, D., 1993, A user's guide to Tabu Search, Annals of Operations Research, 41, 3-28.

Gue, K.R., 1999, The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals, Transportation Science, 33(4):419–28.

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

Gümüs, M, Bookbinder, J.H., 2004, Cross-docking and its implications in location–distribution systems, Journal of Business Logistics, 25(2):199–228.

Güner, E., Alıparmak, F., 2003, İki Ölçütlü Tek Makinalı Çizelgeleme Problemi için Sezgisel Bir Yaklaşım, Gazi Üniversistesi Mühendislik Mümarlık Fakültesi Dergisi, 18, 27-42.

Jayaraman, V, Ross A.A, 2003, Simulated annealing methodology to distribution network design and management, European Journal of Operational Research, 144(3):629–645.

Joo, C. M., Kim, B. S., 2013, Scheduling compound trucks in multi-door crossdocking terminals, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64, 977–988.

Kaplan, S., Rabadi, G., 2012, Exact and heuristic algorithms for the aerial refueling parallel machine scheduling problem with due date-to-deadline window and ready times, Computers & Industrial Engineering, 62, 776–785.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Karaboğa, D., 2014, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel.

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

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P., 1983, Optimization by simulated annealing, Science, 220, 671-680.

Konur, D., Golias, M. M., 2013, Cost-stable truck scheduling at a cross-dock facility with unknown truck arrivals: A meta-heuristic approach, Transportation Research Part E, 49, 71–91.

Kuo, Y., 2013, Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system, Expert Systems with Applications, 40, 5532-5541.

Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P., Penz, B., 2011, Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals, Computers & Operations Research, 38(6):889–900.

Lee, Y.H., Pinedo, M., 1997, Theory and Methodology: Scheduling jobs on parallel machines with sequence dependent setup times, European Journal of Operational Research, 100, 464-474.

Lee, Y.H., Jung, J.W., Lee, K.M., 2006, Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain, Computers & Industrial Engineering, 51(2):247–56.

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.

Liao, C.J, Lin, Y, Shih, SC., 2010, Vehicle routing with cross-docking in the supply chain, Expert Systems with Applications; 37(10):6868–73.

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.

Li, Y., Lim, A., Rodrigues, B., 2004, Crossdocking-JIT scheduling with time windows, Journal of the Operational Research Society, 55(12):1342–51.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

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

McWilliams, D.L., Stanfield, P.M., Geiger, C.D., 2005, The parcel hub scheduling problem: a simulation-based solution approach, Computers & Industrial Engineering, 49(3):393–412.

McWilliams, D.L., Stanfield, P.M., Geiger, C.D., 2008, Minimizing the completion time of the transfer operations in a central parcel consolidation terminal with unequal-batch-size inbound trailers, Computers & Industrial Engineering, 54(4):709–720.

McWilliams, D.L., 2009, Genetic-based scheduling to solve the parcel hub scheduling problem, Computers & Industrial Engineering, 56(4):1607–1616.

McWilliams DL., 2009, A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem, Computers & Industrial Engineering, 57(3), 958–962.

McWilliams, D.L., 2010, Iterative improvement to solve the parcel hub scheduling problem, Computers & Industrial Engineering, 59(1):136–44.

Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., Teller, E., 1953, Equation of state calculations by fast computing machines, Journal of Chemical Physics, 21: 1087-1092, 1953.

Mohtashami, A., 2015, Scheduling trucks in cross docking systems with temporary storage and repetitive pattern for shipping trucks, Applied Soft Computing, 36, 468-486.

Mousavi, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013, A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain, Journal of Manufacturing Systems, 32, 335-347

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).

Napolitano, M., 2011, Cross dock fuels growth at Dots, Logistics Management, 50(2):30–4.

Pinedo, M., 2002, Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, (2nd ed.), Prentice Hall.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Richardson, H.L, 1999, Crossdocking: information flow saves space, Transportation & Distribution, 40(11):51–4.

Ross, A, Jayaraman V., 2008, An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design, Computers & Industrial Engineering, 55(1):64–79.

Sadykov, R. 2012. Scheduling incoming and outgoing trucks at cross docking terminals to minimize the storage cost, Annals of Operations Research, 201, 423–440.

Saricicek, S., Celik, C., 2011, Two meta-heuristics for parallel machine scheduling with job splitting to minimize total tardiness, Applied Mathematical Modelling, 35, 4117- 4126.

Schaffer, B., 1997, Implementing a successful crossdocking operation, IIE Solutions 1997, 29(10):34–36

Soltani, R., Sadjadi, S.J., 2010, Scheduling trucks in cross-docking systems: a robust meta- heuristics approach, Transportation Research Part E:Logistics and Transportation Review, 46, 650–666.

Stalk, G., Evans, P., Shulman, L.E., 1992, Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy, Harvard Business Review, 70(2):57–69.

Sung CS, Song SH., 2003, Integrated service network design for a cross-docking supply chain network, Journal of the Operational Research Society, 54(12):1283–1295.

Sung CS, Yang W., 2008, An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem, Journal of the Operational Research Society, 59(1):119–136

Tarantilis, C.D., 2013, Adaptive multi-restart Tabu Search algorithm for the vehicle routing problem with cross-docking, Optim Lett, 7, 1583-1596.

Temiz, İ., 2010, Çok Kriterli Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı, Çankaya University Journal of Science and Engineering, volume: 7, No:2; 141-153.

Türkbey, O., Alabaş, Ç., 2002, Tesis Yerleşim Problemi için Bir Bulanık Tabu Arama Yaklaşımı, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3: 77-88.

Vahdani, B., Zandieh, M., 2010, Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics, Computers & Industrial Engineering, 58, 12–24.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vahdani, B., Moghaddam, R.T., Zandieh, M., Razmi, J., 2012, Vehicle routing scheduling using an enhanced hybrid optimization Approach, Journal of Intelligent Manufacturing, 23, 759-774.

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

Van Belle, J., Valckenaers, P., Berghe, G. V., Cattrysse, D., 2013, A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows, Computers and Industrial Engineering, 66, 818–826.

Vis, I.F., Roodbergen, K.J., 2008, Positioning of goods in a cross-docking environment, Computers & Industrial Engineering, 54(3):677–689.

Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J.F., Laporte, G., 2009, Vehicle routing with cross- docking, Journal of the Operational Research Society, 60(12):1708–1718.

Witt, C.E.,1998, Crossdocking: concepts demand choice, Material Handling Engineering, 153(7):44–49.

Yu, W., 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.

Ek Açıklama-A: Test problemleri

Test Problemi_1

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*4/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*1/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 11 2 5 3 36 4 32 /;	parameter GD(j)/ 1 11 2 5 3 71 4 61 /;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 /;	parameter D(j)/ 1 847 2 835 3 967 4 947 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 60 40 10 0 80 2 0 0 50 150 0 3 60 0 50 0 80 4 0 85 0 60 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 40 0 100 0 2 45 0 0 0 150 3 35 40 55 45 55 4 40 45 55 65 55	

Test Problemi_2

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*4/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*1/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 0 2 36 3 51 4 54 /;	parameter GD(j)/ 1 0 2 36 3 89 4 45 /;	parameter d(j)/ 1 103 2 112 3 125 4 114 /;	parameter D(j)/ 1 721 2 784 3 877 4 800 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 60 40 10 0 80 2 0 0 50 150 0 3 60 0 50 0 80 4 0 85 0 60 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 40 0 100 0 2 45 0 0 0 150 3 35 40 55 45 55 4 40 45 55 65 55	

Test Problemi_3

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*4/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*1/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 64 2 47 3 85 4 98 /;	parameter GD(j)/ 1 64 2 47 3 128 4 167 /;	parameter d(j)/ 1 238 2 229 3 270 4 289 /;	parameter D(j)/ 1 714 2 689 3 810 4 869 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 60 40 10 0 80 2 0 0 50 150 0 3 60 0 50 0 80 4 0 85 0 60 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 40 0 100 0 2 45 0 0 0 150 3 35 40 55 45 55 4 40 45 55 65 55	

Test Problemi_4

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 2 2 60 3 35 4 22 /;	parameter GD(j)/ 1 2 2 60 3 31 4 19 5 35 /;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 /;	parameter D(j)/ 1 1066 2 1182 3 1124 4 1100 5 1132 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 55 30 65 65 35 4 40 10 65 0 45 5 35 55 85 75 40	

Test Problemi_5

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 111 2 74 3 0 4 68 /;	parameter GD(j)/ 1 111 2 74 3 51 4 77 5 71 /;	parameter d(j)/ 1 160 2 151 3 145 4 152 5 150 /;	parameter D(j)/ 1 1123 2 1058 3 1018 4 1064 5 1053 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 55 30 65 65 35 4 40 10 65 0 45 5 35 55 85 75 40	

Test Problemi_6

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 173 2 196 3 2 4 178 /;	parameter GD(j)/ 1 173 2 196 3 38 4 115 5 165 /;	parameter d(j)/ 1 352 2 363 3 284 4 323 5 348 /;	parameter D(j)/ 1 1056 2 1090 3 853 4 969 5 1044 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 55 30 65 65 35 4 40 10 65 0 45 5 35 55 85 75 40	

Test Problemi_7

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*6/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 1 2 35 3 8 4 17 /;	parameter GD(j)/ 1 1 2 35 3 18 4 18 5 27 6 24/;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0/;	parameter D(j)/ 1 985 2 1053 3 1019 4 1019 5 1037 6 1031/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 25 65 65 35 4 25 10 50 0 25 5 35 25 35 40 25 6 35 35 65 35 35	

Test Problemi_8

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*6/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 0 2 59 3 41 4 69 /;	parameter GD(j)/ 1 0 2 59 3 23 4 51 5 38 6 36/;	parameter d(j)/ 1 122 2 137 3 128 4 135 5 132 6 131/;	parameter D(j)/ 1 860 2 963 3 900 4 949 5 926 6 923/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 25 65 65 35 4 25 10 50 0 25 5 35 25 35 40 25 6 35 35 65 35 35	

Test Problemi_9

Sets i inbountrucks /1*4/ j outboundtrucks /1*6/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 26 2 38 3 124 4 41 /;	parameter GD(j)/ 1 26 2 38 3 68 4 75 5 24 6 55/;	parameter d(j)/ 1 258 2 264 3 279 4 283 5 257 6 273/;	parameter D(j)/ 1 776 2 794 3 839 4 850 5 773 6 820/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 25 0 80 2 0 150 90 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 125 0 120 110		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 0 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 25 65 65 35 4 25 10 50 0 25 5 35 25 35 40 25 6 35 35 65 35 35	

Test Problemi_10

Sets i inbountrucks /1*5/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 2 2 26 3 14 4 37 5 12/;	parameter GD(j)/ 1 2 2 26 3 5 4 2 5 65/;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 5 0/;	parameter D(j)/ 1 1052 2 1100 3 1058 4 1052 5 1178/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 0 0 80 2 0 100 60 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 100 0 100 110 5 0 100 80 100 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 25 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 35 65 65 35 4 65 50 75 80 60 5 30 35 75 75 25	

Test Problemi_11

Sets i inbountrucks /1*5/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 22 2 51 3 23 4 64 5 79 /;	parameter GD(j)/ 1 22 2 51 3 107 4 48 5 149 /;	parameter d(j)/ 1 136 2 143 3 157 4 143 5 168 /;	parameter D(j)/ 1 955 2 1006 3 1104 4 1001 5 1177 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 0 0 80 2 0 100 60 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 100 0 100 110 5 0 100 80 100 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 25 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 35 65 65 35 4 65 50 75 80 60 5 30 35 75 75 25	

Test Problemi_12

Sets i inbountrucks /1*5/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*3/ n shippingdocks /1*2/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 37 2 94 3 122 4 141 5 132 /;	parameter GD(j)/ 1 37 2 94 3 107 4 25 5 221 /;	parameter d(j)/ 1 280 2 309 3 315 4 274 5 372 /;	parameter D(j)/ 1 841 2 927 3 946 4 823 5 1117 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 0 0 80 2 0 100 60 100 0 3 80 0 100 0 100 4 0 100 0 100 110 5 0 100 80 100 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 180 25 80 0 2 50 0 0 0 170 3 35 35 65 65 35 4 65 50 75 80 60 5 30 35 75 75 25	

Test Problemi_13

Sets i inbountrucks /1*6/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 46 2 13 3 99 4 89 5 4 6 8/;	parameter GD(j)/ 1 46 2 13 3 32 4 37 5 13 /;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 /;	parameter D(j)/ 1 1558 2 1492 3 1530 4 1540 5 1492 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 170 0 80 2 0 150 100 100 0 3 80 0 100 0 150 4 0 150 0 120 110 5 90 50 30 0 80 6 50 90 0 100 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 190 0 100 0 2 165 0 0 0 200 3 55 100 185 65 100 4 50 100 115 65 120 5 50 50 100 90 100	

Test Problemi_14

Sets i inbountrucks /1*6/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 172 2 116 3 152 4 233 5 112 6 204/;	parameter GD(j)/ 1 172 2 116 3 110 4 32 5 6 /;	parameter d(j)/ 1 226 2 212 3 210 4 191 5 184 /;	parameter D(j)/ 1 1584 2 1486 3 1475 4 1339 5 1293 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 170 0 80 2 0 150 100 100 0 3 80 0 100 0 150 4 0 150 0 120 110 5 90 50 30 0 80 6 50 90 0 100 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 190 0 100 0 2 165 0 0 0 200 3 55 100 185 65 100 4 50 100 115 65 120 5 50 50 100 90 100	

Test Problemi_15

Sets i inbountrucks /1*6/ j outboundtrucks /1*5/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 364 2 176 3 287 4 25 5 98 6 69/;	parameter GD(j)/ 1 364 2 176 3 4 4 171 5 148 /;	parameter d(j)/ 1 548 2 454 3 368 4 452 5 440 /;	parameter D(j)/ 1 1646 2 1364 3 1106 4 1356 5 1322 /;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 100 0 170 0 80 2 0 150 100 100 0 3 80 0 100 0 150 4 0 150 0 120 110 5 90 50 30 0 80 6 50 90 0 100 100		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 190 0 100 0 2 165 0 0 0 200 3 55 100 185 65 100 4 50 100 115 65 120 5 50 50 100 90 100	

Test Problemi_16

Sets i inbountrucks /1*7/ j outboundtrucks /1*7/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 5 2 75 3 61 4 31 5 76 6 21 7 58/;	parameter GD(j)/ 1 5 2 75 3 47 4 33 5 38 6 46 7 41/;	parameter d(j)/ 1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0/;	parameter D(j)/ 1 835 2 975 3 919 4 891 5 901 6 917 7 907/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 70 0 0 0 100 2 0 100 100 0 0 3 120 0 75 0 80 4 0 100 0 100 0 5 0 0 65 105 0 6 0 0 0 100 100 7 80 50 100 0 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 55 105 70 0 2 65 0 0 0 70 3 35 25 65 70 55 4 35 45 55 45 55 5 60 65 50 65 55 6 35 25 20 25 25 7 40 35 45 30 20	

Test Problemi_17

Sets i inbountrucks /1*7/ j outboundtrucks /1*7/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 136 2 7 3 77 4 127 5 122 6 109 7 142/;	parameter GD(j)/ 1 136 2 7 3 11 4 88 5 103 6 55 7 19/;	parameter d(j)/ 1 137 2 104 3 105 4 125 5 128 6 116 7 107/;	parameter D(j)/ 1 960 2 734 3 741 4 876 5 902 6 818 7 755/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 70 0 0 0 100 2 0 100 100 0 0 3 120 0 75 0 80 4 0 100 0 100 0 5 0 0 65 105 0 6 0 0 0 100 100 7 80 50 100 0 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 55 105 70 0 2 65 0 0 0 70 3 35 25 65 70 55 4 35 45 55 45 55 5 60 65 50 65 55 6 35 25 20 25 25 7 40 35 45 30 20	

Test Problemi_18

Sets i inbountrucks /1*7/ j outboundtrucks /1*7/ w compoundtrucks /1*2/ m receivingdocks /1*2/ n shippingdocks /1*3/ k producttypes /1*5/	parameter GL(i)/ 1 9 2 112 3 19 4 159 5 251 6 37 7 283/;	parameter GD(j)/ 1 9 2 112 3 140 4 55 5 44 6 107 7 53/;	parameter d(j)/ 1 210 2 262 3 276 4 233 5 228 6 259 7 232/;	parameter D(j)/ 1 632 2 787 3 829 4 701 5 685 6 779 7 698/;
	table r(i,k) 1 2 3 4 5 1 70 0 0 0 100 2 0 100 100 0 0 3 120 0 75 0 80 4 0 100 0 100 0 5 0 0 65 105 0 6 0 0 0 100 100 7 80 50 100 0 0		table s(j,k) 1 2 3 4 5 1 0 55 105 70 0 2 65 0 0 0 70 3 35 25 65 70 55 4 35 45 55 45 55 5 60 65 50 65 55 6 35 25 20 25 25 7 40 35 45 30 20	

Ek Açıklama-B: Gelen kamyonlardan giden kamyonlara ürün atamaları

	I- 0	I- 1	I- 2	I- 3	I- 4	I- 5	I- 6	I- 7	I- 8	I- 9	I- 10	C-0	C-1	C-2	C-3
O- 0	ü.t.:1 / 35 ü.t.:5 / 35					ü.t.:4 / 40					ü.t.:4 / 25 ü.t.:2 / 30 ü.t.:3 / 15			ü.t.:1 / 20 ü.t.:3 / 50	
O- 1								ü.t.:3 / 30 ü.t.:5 / 45	ü.t.:1 / 45			ü.t.:1 / 5	ü.t.:3 / 15		
O- 2				ü.t.:1 / 5 ü.t.:4 / 75					ü.t.:1 / 5	ü.t.:1 / 45 ü.t.:3 / 65			ü.t.:2 / 55		
O- 3				ü.t.:1 / 45 ü.t.:4 / 70 ü.t.:5 / 80				ü.t.:1 / 10 ü.t.:5 / 5		ü.t.:3 / 75			ü.t.:2 / 35 ü.t.:3 / 10		
O- 4						ü.t.:4 / 75 ü.t.:2 / 60 ü.t.:3 / 65							ü.t.:4 / 35	ü.t.:1 / 65 ü.t.:5 / 65	
O- 5		ü.t.:4 / 55			ü.t.:1 / 15 ü.t.:3 / 75 ü.t.:5 / 5		ü.t.:1 / 40					ü.t.:5 / 40			ü.t.:4 / 10
O- 6										ü.t.:3 / 35 ü.t.:5 / 55					
O- 7	ü.t.:3 / 35				ü.t.:3 / 30		ü.t.:1 / 55								ü.t.:2 / 55
O- 8					ü.t.:3 / 45				ü.t.:4 / 70						
O- 9	ü.t.:1 / 45 ü.t.:3 / 65						ü.t.:1 / 5 ü.t.:2 / 55 ü.t.:5 / 65				ü.t.:4 / 40 ü.t.:2 / 10				

Ek Açıklama-B: Gelen kamyonlardan giden kamyonlara ürün atamaları (devam)

	I- 0	I- 1	I- 2	I- 3	I- 4	I- 5	I- 6	I- 7	I- 8	I- 9	I- 10	C-0	C-1	C-2	C-3
O- 10		ü.t.:5 / 70	ü.t.:1 / 45	ü.t.:4 / 45	ü.t.:3 / 15			ü.t.:2 / 50	ü.t.:4 / 30			ü.t.:1 / 10 ü.t.:5 / 5 ü.t.:3 / 50	ü.t.:2 / 5		
O- 11	ü.t.:5 / 85										ü.t.:4 / 35 ü.t.:2 / 35 ü.t.:3 / 85				
O- 12	ü.t.:5 / 30					ü.t.:4 / 35 ü.t.:2 / 40 ü.t.:3 / 35					ü.t.:2 / 25			ü.t.:1 / 65 ü.t.:3 / 30 ü.t.:5 / 35	
O- 13			ü.t.:3 / 30		ü.t.:3 / 5 ü.t.:5 / 75										ü.t.:4 / 70 ü.t.:2 / 35
O- 14		ü.t.:4 / 55	ü.t.:1 / 45		ü.t.:3 / 30							ü.t.:5 / 35			ü.t.:2 / 65
O- 15				ü.t.:5 / 20						ü.t.:1 / 55 ü.t.:3 / 25 ü.t.:5 / 45			ü.t.:4 / 65 ü.t.:2 / 55		
C-0		ü.t.:2 / 150 ü.t.:4 / 10							ü.t.:4 / 90						ü.t.:2 / 30
C-1		ü.t.:5 / 40			ü.t.:1 / 85			ü.t.:1 / 80 ü.t.:5 / 30	ü.t.:5 / 100						
C-2			ü.t.:2 / 50 ü.t.:5 / 80		ü.t.:5 / 20		ü.t.:2 / 95 ü.t.:5 / 85				ü.t.:4 / 50				ü.t.:4 / 100 ü.t.:2 / 15
C-3												ü.t:1/85 ü.t.:3 / 70	ü.t.:3 / 65		

Ek Açıklama-C: Literatürdeki matematiksel modellere ilişkin gösterimler

	gelen kamyon i nin kabul kapısına geldiği zaman			gelen kamyon i'nin kabul kapısından ayrıldığı zaman				giden kamyon j'nin sevkiyat kapısına geldiği zaman			giden kamyon j'nin sevkiyat kapısından ayrıldığı zaman				k ürün türünden gelen kamyon i'den giden kamyon j'ye aktarılan miktar		Eğer gelen kamyon i'den giden kamyon j'ye ürün transfer ediliyorsa	Gelen kamyon i, gelen kamyon j'den önce geliyorsa	Giden kamyon i, giden kamyon j'den önce geliyorsa
	Ci	ei	ri	Fi	Ci	Eİ	ei	fj	dj	sj	Lj	Cj	Fj	fj	xijk	tijk	vij	pij	qij
Yu ve Egbelu (2008)	*			*					*		*				*		*	*	*
Arabani vd. (2010)					*							*			*		*	*	*
Vahdani ve Zandieh (2010)	*			*					*		*				*		*	*	*
Vahdani vd. (2010)															*		*	*	*
Arabani vd. (2011)	*			*					*		*				*		*	*	*
Arabani vd. (2011)					*							*				*	*	*	*
Arabani vd. (2012)					*							*				*	*	*	*
Lee vd. (2012)		*				*		*					*		*		*		
Liao vd. (2012)				*							*					*	*	*	*
Joo ve Kim (2013)	*								*						*		*		
Van Belle vd. (2013)			*				*			*				*					

Ek Açıklama-C: Literatürdeki matematiksel modellere ilişkin gösterimler (devam)

	gelen kamyonların kümesi			giden kamyonların kümesi			ürün türü kümesi		kabul kapılarının sayısı			sevkiyat kapılarının sayısı			kamyon değişim süresi			ürünlerin giriş kapısından çıkış kapısına kadar harcadığı süre		birim ürün yükleme süresi			birim ürün boşaltma süresi		
	R	I	n1	S	O	n2	N	P	R	I	m1	S	m2	O	TC	T	D	V	TM	lk	TL	L	uk	TU	L
Yu ve Egbelu (2008)	*			*			*										*	*							
Arabani vd. (2010)	*			*			*										*	*							
Vahdani ve Zandieh (2010)	*			*			*										*	*							
Vahdani vd. (2010)	*			*			*										*								
Arabani vd. (2011)	*			*			*										*	*							
Arabani vd. (2011)	*			*			*										*	*							
Arabani vd. (2012)	*			*			*										*	*		*			*		
Lee vd. (2012)		*			*			*	*			*			*				*		*			*	
Liao vd. (2012)	*			*			*										*	*							
Joo ve Kim (2013)	*			*			*			*				*			*	*							
Van Belle vd. (2013)			*			*					*		*			*						*			*

Ek Açıklama-D: Literatürdeki çalışmaların amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri

NO	*Yayın Adı*	*Yazarlar*	*Yıl*	*Çözüm Yöntemi*	*Problem Türü*	*Amaç Fonksiyonu*
1	A cross-docking scheduling problem with sub-population multi-objective algorithms	Arabani vd.	2012	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresi ve gecikmenin enküçüklenmesi
2	A beam search heuristics to solve the parcel hub scheduling problem	McWilliams ve McBride	2012	H	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
3	A sweep-heuristic based formulation for the vehicle routing problem with cross-docking	Dondo ve Cerdá	2013	H	Çapraz sevkiyatta yer belirleme ve rotalama	Toplam operasyon süresi ve araç rotalama maliyetinin enküçüklenmesi
4	A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain	Mousavi ve Tavakkoli Moghadam	2013	MH	Çapraz sevkiyatta yer belirleme ve rotalama	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi
5	Analysis of different approaches to cross-dock truck scheduling with truck arrival time uncertainty	Konur ve Golias	2013	H	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam elleçleme ve bekleme süresinin enküçüklenmesi
6	A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform	Alpan vd.	2011	E	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam stok ve kamyon yer değişim maliyetlerinin enküçüklenmesi
7	A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem	McWilliams	2009	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
8	An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems	Forouharfard ve Zandieh	2010	MH	Kamyon çizelgeleme	Geçici stokta tutulan ürün sayısının enküçüklenmesi
9	A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach	Boloori vd.	2010	MH	Kamyon çizelgeleme	Erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesi
10	Adaptive multi-restart Tabu Search algorithm for the vehicle routing problem with cross-docking	Tarantilis	2013	MH	Çapraz sevkiyat ve araç rotalama	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi

NO	Yayın Adı	Yazarlar	Yıl	Çözüm Yöntemi	Problem Türü	Amaç Fonksiyonu
11	Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda	Boysen ve Fliedner	2010			
12	Cross-dock job assignment problem in spaceconstrained industrial logistics distribution hubs with a single docking zone	Choy vd.	2012	E ve MH	Kamyon çizelgeleme yle birlikte sipariş toplama ve iş atama	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
13	Cost-stable truck scheduling at a cross-dock facility with unknown truck arrivals: A meta-heuristic approach	Konur ve Golias	2013	H	Kamyon çizelgeleme	Toplam servis maliyeti ve maliyet aralığının enküçüklenmesi
14	Cross docking: JIT Scheduling with Time Windows	Li vd.	2004	H	Kamyon çizelgeleme	Erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesi
15	Exploring mathematical approximation for the time spans of transfer operations in parcel transshipment terminals	McWilliams ve McBride	2013	E	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
16	Genetic algorithms for door-assigning and sequencing of trucks at distribution centers for the improvement of operational performance	Lee vd.	2012	E ve MH	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Belirli bir sürede yüklenen ürün sayısının enbüyüklenmesi
17	Heuristic solutions for transshipment problems in a multiple door cross docking warehouse	Alpan vd.	2011	H	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam stok ve kamyon yer değişim maliyetlerinin enküçüklenmesi
18	Iterative improvement to solve the parcel hub scheduling problem	McWilliams	2010	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
19	Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage	Arabani vd.	2011	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi

NO	*Yayın Adı*	*Yazarlar*	*Yıl*	*Çözüm Yöntemi*	*Problem Türü*	*Amaç Fonksiyonu*
20	Minimizing makespanin two-stage hybrid crossdocking schedulin gproblem	Chen ve Song	2009	H	Çapraz sevkiyat çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
21	Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem	Chen ve Lee	2009	E	Çapraz sevkiyat çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
22	Multi-objective genetic-based algorithms for a cross-docking scheduling problem	Arabania vd.	2011	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresi ve gecikmenin enküçüklenmesi
23	Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system	Kuo	2013	MH	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
24	Robust door assignment in less-than-truckload terminals	Acar vd.	2012	H	Kamyon kapı atama	Boş geçen sürenin enküçüklenmesi
25	Scheduling incoming and outgoing trucks at cross docking terminals to minimize the storage cost	Sadykov	2012	E	Kamyon çizelgeleme	Stok maliyetinin enküçüklenmesi
26	Simultaneous dockassignment and sequencing o finbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door	Liao vd.	2013	MH	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam ağırlıklı gecikmenin enküçüklenmesi
27	Scheduling compound trucks in multi-door cross-docking terminals	Joo ve Kim	2013	E ve MH	Kapı atama ve kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
28	Scheduling crossdocking operations under full,partial and no information on inboundarrivals	Larbi vd.	2011	H	Kamyon çizelgeleme	Toplam stok ve kamyon yer değişim maliyetlerinin enküçüklenmesi
29	Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals	Boysen vd.	2010	E ve H	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
30	Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage	Yu ve Egbelu	2008	E ve H	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi

NO	Yayın Adı	Yazarlar	Yıl	Çözüm Yöntemi	Problem Türü	Amaç Fonksiyonu
31	Scheduling the truck holdover recurrent dock cross-dock problem using robust meta-heuristics	Vahdani vd.	2010	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
32	Scheduling trucks in cross-docking systems: A robust meta-heuristics approach	Soltani ve Sadjadi	2010	HMH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
33	Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics	Vahdani ve Zandieh	2010	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
34	Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operations	Liaoa vd.	2012	H	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
35	The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach	McWilliams vd.	2005	MH	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
36	Three-stagehybrid-flowshop model for cross-docking	Bellanger vd.	2013	E ve H	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresinin enküçüklenmesi
37	Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures	Boysen vd.	2013	H	Kamyon çizelgeleme	Toplam kaybedilen karın enküçüklenmesi
38	The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management	Dondo vd.	2011	E	Çapraz sevkiyat ve araç rotalama	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi
39	Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals	Boysen	2010	E ve H	Kamyon çizelgeleme	Toplam operasyon süresi, erkenlik ve geçliğin enküçüklenmesi

NO	*Yayın Adı*	*Yazarlar*	*Yıl*	*Çözüm Yöntemi*	*Problem Türü*	*Amaç Fonksiyonu*
40	Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks	Miao vd.	2009	MH	Kamyon kapı atama	Toplam operasyon maliyeti ve karşılanmayan sevkiyatların enküçüklenmesi
41	Vehicle routing scheduling using an enhanced hybrid optimization approach	Vahdani vd.	2012	MH	Çapraz sevkiyat ve araç rotalama	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi
42	Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain	Lee et vd.	2006	H	Çapraz sevkiyat ve topla-dağıt	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi
43	Vehicle routing with cross-docking in the supply chain	Liao et vd.	2010	MH	Çapraz sevkiyat ve araç rotalama	Toplam seyahat maliyetinin enküçüklenmesi
44	Vehicle Routing with Cross-Docking	Wen et vd.	2009	E ve H	Çapraz sevkiyat ve araç rotalama	Toplam seyahat süresinin enküçüklenmesi

ÖZGEÇMİŞ

Gökçe Özden, Eskişehir doğumlu olup T.C. vatandaşıdır. Lise eğitimini Eskişehir Anadolu Lisesinde, lisans ve yüksek lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Eskişehir Seramik Ltd. Şti.'de endüstri mühendisi olarak göreve başlamış daha sonra Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. Şuan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eskişehir Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.