



**ÇAPRAZ SEVKİYAT DÜZENİ KAPI ATAMA VE ARAÇ ÇİZELGELEME
PROBLEMİ: BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI**

Türkan KARABULUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Türkan KARABULUT tarafından hazırlanan “ÇAPRAZ SEVKİYAT DÜZENİ KAPI ATAMA VE ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEMİ: BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ertan GÜNER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Tamer EREN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Türkan KARABULUT

21/06/2019

ÇAPRAZ SEVKİYAT DÜZENİ KAPI ATAMA VE ARAÇ ÇİZELGELEME
PROBLEMİ: BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Türkan KARABULUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Çapraz sevkiyat; arz noktalarından gelen malların, depolanmadan, talep noktalarına gidecek şekilde birleştirilmesi ve giden araçlara aktarılmasıdır. Bu aktarma işlemi eş zamanlı olabileceği gibi, 24 saatten fazla depoda kalmamak şartı ile malların bekletilmesi şeklinde de olabilmektedir. Çapraz sevkiyat, tedarik zinciri yönetimi için çok güçlü bir iş aracıdır. Stok azaltma, sabit kaynak azaltma ve daha esnek operasyonel sistemlerinin temel iş hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olur. Bu çalışmada; çapraz sevkiyat ile ilgili sınıflandırmalar, alınan kararlar ve performans ölçütlerinden bahsedilmiş, operasyonel kararlardan kapı atama ve araç çizelgeleme problemi, malzeme akışları ile birlikte dikkate alınmıştır. Çapraz sevkiyat düzenine sahip bir sistem incelenmiştir ve çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme problemi ile ilgili literatürdeki modeller araştırılmıştır. İncelemeler sonucu problemin matematiksel modeli oluşturulmuştur ve GAMS ile çözümleri elde edilmiştir. Ayrıca daha karmaşık bir problem için benzetim çalışması yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 90610
Anahtar Kelimeler : Çapraz sevkiyat, kapı atama, araç çizelgeleme, modelleme
Sayfa Adedi : 129
Danışman : Prof. Dr. Ertan GÜNER

CROSS DOCK DOOR ASSIGNMENT AND VEHICLE SCHEDULING PROBLEM: AN
APPLICATION STUDY

(M. Sc. Thesis)

Türkan KARABULUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Cross docking is to combine the goods coming from the supply points to the demand points without storing them and transfer them to the outgoing vehicles. This transfer may be simultaneous or in the form of holding the goods on condition that they do not remain in the warehouse for more than 24 hours. Cross docking is a very powerful business tool for supply chain management. Inventory reduction, fixed resource reduction, and more flexible operational systems help achieve key business objectives. In this study; classifications, decisions and performance criteria related to cross docking are mentioned and door assignment and vehicle scheduling problem from operational decisions are considered together with material flows. A system with a cross docking was examined and models in the literature on the problem of cross docking door assignment and vehicle scheduling were investigated. The mathematical model of the problem was created and solutions were obtained with GAMS. In addition, a simulation study was conducted for a more complex problem and the results were evaluated comparatively.

Science Code : 90610

Key Words : Cross docking, door assignment, vehicle scheduling, modeling

Page Number : 129

Supervisor : Prof. Dr. Ertan GÜNER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyerek bana yol gösteren, özveri ve sabırla beni yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertan GÜNER'e en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca yanımda olan ve beni her zaman destekleyen sevgili eşim Hakan KARABULUT'a sonsuz teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca desteklerini ve yardımlarını benden esirgemeyen sevgili Babam Fevzi ALTUNTAŞ ve sevgili Annem Ayşe ALTUNTAŞ'a, moral ve motivasyonumu arttırarak her an yanımda olan kardeşim Emel ALTUNTAŞ' a teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ VE GELENEKSEL DEPOLAR.....	3
2.1. Lojistikte Tedarik Zincirinin Rolü	3
2.2. Depolama Faaliyeti	4
3. ÇAPRAZ SEVKİYAT	9
3.1. Çapraz Sevkiyata Giriş ve Literatürdeki Tanımlar	9
3.2. Çapraz Sevkiyat Karakteristikleri	11
3.2.1. Fiziksel karakteristikler	12
3.2.2. Operasyonel karakteristikler	14
3.3. Çapraz Sevkiyatın Yapısı ve Operasyonları.....	17
3.4. Çapraz Sevkiyatın Uygulanma Durumları	21
3.5. Çapraz Sevkiyatın Avantaj ve Dezavantajları.....	24
3.6. Geleneksel Depolar ve Çapraz Sevkiyat Merkezleri Arasındaki Fark.....	25
3.7. Çapraz Yerleştirmede Kararlar.....	28
3.7.1. Stratejik kararlar	29
3.7.2. Taktik kararlar	33

	Sayfa
3.7.3. Operasyonel kararlar	35
3.8. Performans Ölçütleri	48
4. PROBLEMİN SİSTEMDE TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ.....	53
4.1. Probleme İlişkin Sistem Analizi.....	53
4.1.1. Sistemin çapraz sevkiyat düzeni	54
4.1.2. Sistemin çapraz yükleme özellikleri	56
4.2. Problemin Matematiksel Modeli.....	58
5. PROBLEM İÇİN UYGULAMA ÇALIŞMASI	63
5.1. Problem Verileri.....	63
5.2. Problemin Matematiksel Modelinin GAMS ile Çözülmesi	67
5.3. Problemin Benzetim Çalışması ile İncelenmesi.....	70
5.3.1. Benzetim modelinin kurulması.....	70
5.3.2. Benzetim sonuçları ve değerlendirme	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	89
EK-1. Rıhtım kapı ataması problemi	90
EK-2. Kamyon çizelgeleme problemi	93
EK-3. Gams kodu	97
EK-4. Gams maliyet hesaplaması detayları	103
EK-5. Arena açıklamaları	113
EK-6. Arena çıktıları.....	124
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyatın uygulanmasını etkileyen faktörler.....	23
Çizelge 3.2. Araştırmanın endüstri ile karşılaştırılması	51
Çizelge 5.1. Alıcı kapılar ile nakliye kapıları arasındaki mesafeler ($distance_{ij}$)	65
Çizelge 5.2. Alıcı kapılar ile nakliye kapıları arasındaki işlem süreleri (Δt_{ij})	65
Çizelge 5.3. Tedarikçi bilgileri	65
Çizelge 5.4. Müşteri bilgileri	66
Çizelge 5.5. m. tedarikçiden n. müşteriye taşınması gereken mal miktarı	66
Çizelge 5.6. Kamyonların varış ve ayrılış zamanları (dk)	66
Çizelge 5.7. GAMS maliyet sonuçları	68
Çizelge 5.8. GAMS maliyet sonuçları detayları	68
Çizelge 5.9. Arena ürün çıktılarının özet tablosu (ortalama).....	75
Çizelge 5.10. Arena barkod makinesi çıktılarının özet tablosu	76
Çizelge 5.11. Arena kuyruk çıktıları özet tablosu.....	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Depo operasyon	5
Şekil 2.2. Depo dağıtımını	6
Şekil 3.1. Çapraz sevkiyat örneği	11
Şekil 3.2. Çapraz sevkiyat şekilleri.....	13
Şekil 3.3. Çapraz sevkiyat tesisinde yapılan işlemler	19
Şekil 3.4. Perakende endüstrisindeki bir çapraz sevkiyatta takip edilen adımlar	19
Şekil 3.5. Perakende endüstrisindeki bir çapraz sevkiyatta takip edilen adımlar 2	20
Şekil 3.6. Tedarik zinciri yönetimi modeli (geleneksel depolama)	27
Şekil 3.7. Tedarik zinciri yönetimi modeli (çapraz sevkiyat).....	28
Şekil 4.1. Dikey taşıma	55
Şekil 4.2. Yatay taşıma	55
Şekil 5.1. Çapraz sevkiyat merkezi.....	64
Şekil 5.2. GAMS girdileri çıktılarına dönüştürme	67
Şekil 5.3. Modül diyagramı	73
Şekil 5.4. Barkod makinelerinden günlük geçen toplam ürün sayısı.....	77
Şekil 5.5. Müşterileri ürünleri.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m

Metre

dk

Dakika

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASN

Tedarikçi sevkiyat bildirimi

ÇSDKAAÇ

Çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme

ÇSO

Çapraz sevkiyat operatörü

DC

Çapraz yerleşim

GAMS

The general algebraic modeling system

LTL

Kamyon yükünden daha az

VMI

Tedarikçi kontrollü envanter

1. GİRİŞ

Şirketler için hammadde, yarı mamul ve nihai ürün gibi malzemelerin dağıtım işlemlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi önemlidir. Müşteriler daha doğru ve zamanında gönderime dönüşen daha iyi hizmetler talep etmektedirler. Ürünlerin hızlı ve etkin bir şekilde taşınması şirketlere belirgin karşılaştırmalı avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle, artan sayıda şirket çapraz sevkiyat işlemlerinin dağıtım modellerinin ayrılmaz bir parçası olacağını ve mevcut depolama politikalarını kısmen değiştirerek veya tamamlayarak çapraz sevkiyatın uygulanabileceğini düşünmektedirler.

İmalat faaliyetlerinde önemli gelişmeler sağlayan birçok şirket, lojistik ve dağıtım operasyonlarını iyileştirmeye odaklanmaktadır. Tedarik ve dağıtım ağını yönetmek zor bir süreçtir. Lojistik hizmet uygulayıcıları, artan müşteri talebi nedeniyle dağıtım sistemindeki hızlı yanıt verme yeteneğini geliştirmek için büyük çaba sarf etmektedirler. Son dönemlerde yaygın olarak algılanan performans mükemmelliği nedeniyle çapraz sevkiyat, mal akışını hızlandırmak ve tedarik zincirindeki bazı büyük depo fonksiyonlarını ortadan kaldırmak için güçlü bir araç olarak tanınmaktadır ve bu şekilde kabul görmektedir (Yan ve Tang, 2009).

Çapraz sevkiyat, müşteri memnuniyetinin seviyesini korurken aynı zamanda lojistik ve dağıtım maliyetlerini kontrol etmek için büyük bir potansiyele sahip yenilikçi bir depolama stratejisidir. Çapraz sevkiyat, ürünlerin dağıtım merkezleri olmadan depolanması için bir süreçtir. Çapraz sevkiyat işleminin düzgün çalışması için, gelen yük ile giden yük arasında bir denge bulunmalıdır; çünkü ürünler çapraz sevkiyat deposunda 24 saatten fazla kalamaz. Bu nedenle, depoya gelen ürünler perakendeciler veya varış noktaları tarafından hızla talep edilmeli veya çekilmelidir (Apte ve Viswanathan, 2000).

Kinnear (1997)'a göre çapraz sevkiyat, “bir lojistik ağında farklı noktalardaki tedarikçilerden yükleri alan ve bunları ortak bir nihai teslimat noktası için diğer tedarikçilerin yükleri ile birleştiren bir platformdur”. Lojistik bir ağda çapraz yerleştirmenin ekonomik avantajı, platform stoğuna bağlı olmaksızın tüm kamyon yükleme yükünü gerçekleştirmek için farklı ürünleri birleştirme yeteneğidir. Başka bir deyişle çapraz yerleştirme işlevi, ürün depolamadan daha çok ürün koordinasyonu ile

ilgilidir (Waller, Cassady ve Ozment, 2006). Ayrıca çapraz yerleştirme, sipariş döngü süresinin azaltılması gibi başka avantajlara da sahiptir. Bu avantajlar arasında; lojistik şebekede ürünlerin aktarımı, taşıt kapasitesinin etkin kullanımı (tam kamyon yükü önceliği) ve görevlerini minimum maliyetle yerine getirmek için uygun bir çapraz yerleştirme çizelgeleme sistemi vardır (Apte ve Viswanathan, 2000).

Çapraz sevkiyat atama probleminin amacı, toplama (alıcı) kapıları ve nakliye kapıları için gelen ve giden kamyon sırasını eniyilemektir. Bir kapı sadece bir kamyonu atanmıştır ve gelen/giden kamyonların sayısı alıcı/nakliye kapıları sayısını aşamaz. Ancak çizelgeleme problemleri, terminalin belirli bir yükleme kapısı setindeki gelen ve giden kamyonların sayısını belirlemeyi amaçlar, bir kapıya birden fazla kamyon atanabilir. Çizelgeleme problemi, zaman penceresi kısıtlamalarıyla birden fazla aracın kapılara atanmasını mümkün kılan olan bir atama problemi olarak düşünülebilir. Bu nedenle kamyon çizelgeleme problemleri, kapı atama problemlerinin özel bir zamanlama problemi durumu olarak düşünülebilir.

Çapraz sevkiyat, tedarik zinciri operasyonlarında nispeten yeni bir tekniktir ve sağladığı avantajlar nedeniyle artan ilgi görmektedir. Bu çalışmada çapraz sevkiyatın lojistik faaliyetlerindeki artan önemi ve bu konuda yapılan çalışmaların gittikçe önem kazanması nedeniyle çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme (ÇSDKAAÇ) problemi, belirli kısıtlar ve varsayımlarla incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde tedarik zinciri ve geleneksel depolar ile ilgili genel bilgiler verilmiş, üçüncü bölümde çapraz sevkiyatın tanımları, karakteristikleri, operasyonları, avantaj ve dezavantajları, performans ölçütleri, çapraz sevkiyatta alınan kararlar (stratejik, taktik ve operasyonel), geleneksel depolar ile çapraz sevkiyat merkezinin farkı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, probleme ilişkin bir uygulama çalışması yapmak için çapraz sevkiyat düzenine sahip bir sistem incelenmiştir; sistemin çapraz sevkiyat düzeni, çapraz yükleme özellikleri ve akış özellikleri tanımlanmıştır. ÇSDKAAÇ probleminin matematiksel modeli, Bermudez ve Cole (2001); Lim ve diğerleri (2006); Miao ve diğerleri (2014); Zhang, Trouillet ve Semet (2016)'nın çalışmalarından yararlanarak, Zhang (2016) tarafından karma tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Beşinci bölümde, GAMS ile en iyi çözümler elde edilmiştir. Ayrıca daha karmaşık bir problemi çözmek için benzetim çalışması yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak çalışmaya yönelik değerlendirme yapılmıştır.

2. TEDARİK ZİNCİRİ VE GELENEKSEL DEPOLAR

Bu bölümde çapraz sevkiyata geçmeden önce, lojistikle ve geleneksel depolarla ilgili bazı temel bilgilere yer verilmiştir. Çapraz sevkiyat ile geleneksel sürecin karşılaştırılmasında bu bölüm faydalı olacaktır.

2.1. Lojistikte Tedarik Zincirinin Rolü

Son yıllarda özellikle dağıtım ve lojistik büyük ilgi görmektedir. Verimlilik iyileştirmeleri, daha kısa ürün yaşam döngüleri, daha yüksek rekabet baskısı ve perakendecilerin artan gücü gibi faktörler lojistiğin artan önemine katkıda bulunmaktadır. Bu yüzyılda, şirketler etkin bir üretime ve kârları artırmaya odaklandılar ancak küreselleşmeyle rekabet arttı ve şirketler artık müşteri deneyimini geliştirmeye odaklanmaktadırlar. Bu durum, şirketlerin rekabetçi ve avantajlı bir tedarik zinciri yönetimine sahip olmaları için gittikçe daha fazla baskı altında oldukları anlamına gelir. Şirketler genel maliyetleri düşürerek veya ürünlerin teslim sürelerini kısaltarak rekabet edebilirlik avantajı sağlamaya çalışmaktadırlar.

Lojistik, yüksek miktardaki sipariş ve müşteri talepleri nedeniyle dağıtımda önemli bir rol oynamaktadır. Müşteriler siparişlerini daha yüksek kalite, daha düşük maliyetle ve daha hızlı almayı beklerler. Tedarik zinciri, toplam maliyeti en aza indirirken müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkaracak şekilde düşük maliyetli bir çerçevede faaliyet gösterme eğilimindedir. Toplam maliyet; tedarik, üretim, lojistik ve gecikme maliyetlerini içerir. Tedarik zinciri yönetimi performansı, günümüz pazar etkilerinin baskısı altındadır. Pazarın da etkisiyle ürünlerin akışı üzerindeki talepler artmaktadır ve daha az miktarda stok bulundurulması zorunlu hale gelmiştir.

Tedarik zinciri; tedarikçiler, aracılar, üçüncü taraf hizmet sağlayıcıları ve müşteriler ile koordinasyon ve işbirliğini de içerir. Her tedarik zincirinde hedef, genellikle toplam maliyet azaltma ve müşteri hizmetleri iyileştirme için önemli bir bileşen olan üretim, taşıma ve bekleme sürelerinin toplamı olan yanıt sürelerini kısaltmaktır. Günümüzde şirketler, bu süreleri azaltmaya çalışmaktadırlar ve aynı zamanda depolama maliyetlerini ve risklerini en aza indirmeye olanak tanıyan dağıtım alternatifleri aramaktadırlar. İşte bu yüzden çapraz yerleştirme, bu konuda artan ilgiye sahip stratejidir.

Tedarik zinciri yönetimi, şirketler içinde ve şirketler arasında arz ve talep yönetimini bütünleştirmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, büyük işletme fonksiyonlarını ve iş süreçlerini tutarlı ve yüksek performanslı bir iş modeline dönüştürme konusunda birincil sorumluluğa sahip bütünleşik bir fonksiyondur. Tedarik zinciri, yukarıda belirtilen tüm lojistik yönetim faaliyetlerinin yanı sıra üretim operasyonlarını kapsamakta ayrıca pazarlama, satış, ürün tasarımı, finans ve bilgi teknolojileri ile süreçler ve faaliyetlerin koordinasyonunu da sağlamaktadır.

Malların fiziksel dağıtımı, günümüzün hızlı hareket eden pazarlarında kilit başarı faktörlerinden biridir. Müşteri siparişlerinin yerine getirilmesi için gereken süre kısaltılırken, depolama maliyetlerinin ve risklerinin en aza indirilmesi gerektiğinden birçok şirket etkin dağıtım alternatifleri arayışında yer almaktadır. Çapraz sevkiyat, öğeleri akış birleştirme merkezleri veya çapraz yerleştirmeler yoluyla, depoya taşımadan hareket ettiren bir operasyonel strateji olarak tanımlanır. Bu, tedarik zincirindeki dağıtım depolarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve müşterilerin siparişleri için tam ve zamanında teslimat almasını sağlar. Ancak, tüm ürünler çapraz sevkiyat işlemleri için uygun değildir. Gerçek uygulamada salt bir çapraz sevkiyat senaryosu yaygın değildir. Çapraz sevkiyat merkezi veya dağıtım merkezi normalde çapraz sevkiyat ve depolama tesislerinin birleşimidir. Endüstriler, çapraz sevkiyat ve depolama kararlarının uygunluğunu desteklemek ve çapraz sevkiyat işlemlerinin belirli iş durumları için uygulanabilirliğini değerlendirmek için rehber ve modele ihtiyaç duyarlar (Li, Low, Lim ve Ma, 2008).

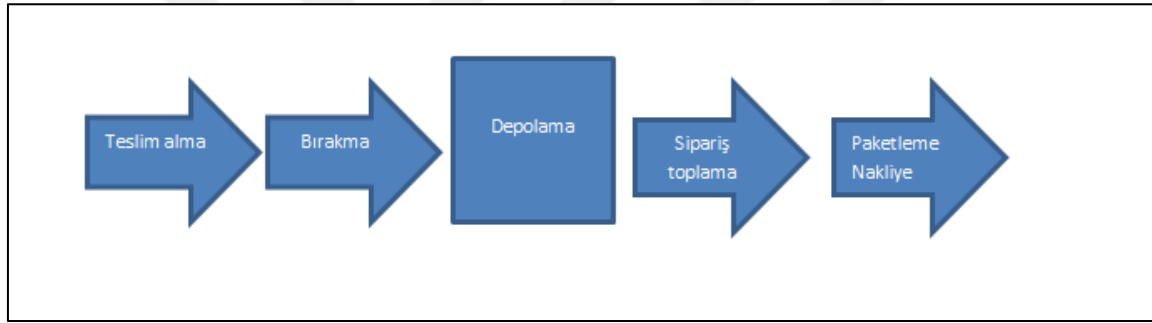
2.2. Depolama Faaliyeti

Depolar; hammaddelerin, süreç içinde işlenen ürünlerin veya bitmiş ürünlerin depolandığı ve envanter olarak tutulduğu fiziksel konumlardır. Şirketler artan müşteri taleplerini karşılamaya, ölçek ekonomisine ulaşmaya ve ürün teslim etmek için gereken teslim süresini azaltmaya yardımcı olduğu için bir depo yönetimi kavramından yararlanabilir. Ancak depolamanın bazı dezavantajları vardır. Depo operasyonları, ürünlerin stokta kalma süresini azaltmak için sürekli olarak baskı altındadırlar (Li ve diğerleri, 2008). Stokta kalma süresi uzadıkça bununla ilişkili maliyetler de artar (yani stok tutma maliyetleri yüksektir). Ayrıca bir depoya sahip olmak fırsat maliyetleri, bakım maliyetleri ve amortisman maliyetleri gibi başka sorunları da beraberinde getirmektedir. Depolamanın temel işlevleri arasında alma, depolama, sipariş toplama ve nakliye yer almaktadır.

Genel olarak, bir depo malların depolanması için ticari bir yapıdır. Depolar üreticiler, ithalatçılar, ihracatçılar, toptancılar, nakliye şirketleri, gümrük vb. tarafından kullanılmaktadır. Genellikle malları kamyonlara yüklemek ve kamyonlardan boşaltmak için yükleme iskeleleri vardır. Şirketler depolar kullanarak ürünü birleştirebilir, ani sipariş değişiklikleriyle baş edebilir ve böylece müşterilerin talebini daha iyi karşılayabilir.

Şekil 2.1’de depo operasyonları süreci basitçe üç işlem olarak tanımlanabilir (Ji, 2010).

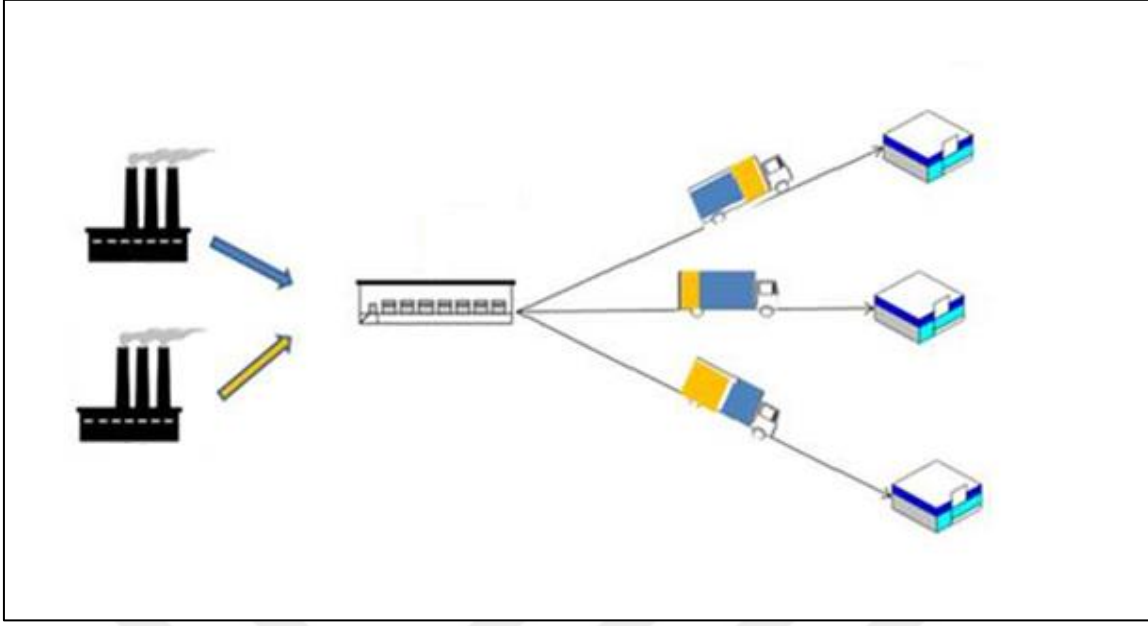
- Gelen işlemler (teslim alma, bırakma)
- Depolama işlemleri (depolama)
- Giden işlemler (sipariş toplama, kontrol, paketlenme, nakliye)



Şekil 2.1. Depo operasyon (Ji, 2010)

Direkt dağıtım, tedarikçilerden müşterilere gönderimin doğrudan olduğu dağıtımdır. Doğrudan dağıtımda, müşterinin kamyon yükünden daha az (LTL) olması gerekir. Bu bir kaynak kaybıdır ve hem tedarikçiler hem de müşteriler için ekonomik değildir. Bu nedenle depolama ortaya çıkmıştır. Aralarında depo bulunduktan sonra tedarik zinciri depo dağıtımını dediğimiz hale gelir.

Şekil 2.2’de depo tedarikçiler için depolama sağlamaktadır ve müşterilerin siparişlerini almak, birleştirmek, paketlenmek ve sevkiyat yapmak için hizmet etmektedir. Bu durumda tam kamyon yükleme nakliye mümkündür. Depolama ve nakliye masrafları etkin bir şekilde kaydedilir.



Şekil 2.2. Depo dağıtımı (Ji, 2010)

Müşteri türlerine göre, depo dört farklı tipte sınıflandırılabilir (Rouwenhorst ve diğerleri, 2000):

Fabrika deposu: Fabrika deposunda az sayıda büyük sipariş vardır ve sipariş hakkında önceden bilgi sahibidirler. Fabrika depoları, genellikle üreticiler tarafından işletildikleri için sadece belirli tür mallara sahiptirler. Maliyet ve sipariş doğruluğuna odaklanmışlardır.

Perakende dağıtım merkezi: Bu tür bir depo, farklı tipte perakende birimleri içeren çok sayıda sipariş vermek için uygundur. Siparişler ve toplama süreci hakkında kesin bilgi gereklidir. Depo içindeki toplama işlemi, farklı öğelerin çok büyük siparişleri nedeniyle daha karmaşıktır. Emek maliyeti, göz önünde bulundurulması gereken en önemli şeydir.

Katalog perakendeci: Bu tür bir tesis genellikle çok sayıda küçük sipariş verir. Siparişlerin durumlarına göre toplama işlemi genellikle farklıdır ve bu depo türünün cevap süresi için bir gereksinimi vardır.

3PL (Üçüncü Parti-lojistik) Depo: Üretim işlemlerine hammadde ve/veya işlem sırasında iş sağlayan bir depodur. Bu depo tipinin genel olarak zaman gereksinimleri vardır, bu büyük miktarlarda küçük siparişler için hızlı tepkilerin gerekli olduğu anlamına gelir (örn. 30 dakika). Öncelikli odak, maliyetleri düşürürken tepki süresi ve doğruluğudur.

Günümüzün müşteri odaklı ekonomisine göre; ürünleri hızlı, etkin ve uygun maliyetli bir şekilde taşımak şirketlere rekabet üstünlüğü sağlayacaktır. Depolama için bu gelişme eğilimindedir. Müşterilerin gereksinimlerini karşılamak için depolama süreci daha hızlı hale getirilmelidir. Bu amaçla, sınırlı depolama alanlı ancak etkili verimlilik oranına sahip yeni bir depolama konsepti birçok üretici, perakendeci ve 3PL şirketi için yaygın bir depolama politikası haline gelmektedir.





3. ÇAPRAZ SEVKİYAT

Çapraz sevkiyat konusunda önemli sayıda araştırma makalesi 2004'ten beri yayınlanmakta olup, önümüzdeki yıllarda çapraz sevkiyatın artan önemi nedeniyle daha fazla araştırma yapılması beklenmektedir (Belle, Valckenaers ve Cattrysse, 2012). Çapraz sevkiyat kavramı, özellikle son on beş yılda endüstride ve akademide dikkat çekmesine karşın aslında çapraz yerleştirme fikri posta servisi kadar eskidir. Ertek (2012), İpek Yolu'nun tam bir çapraz yerleştirme operasyonu olduğunu fark ederken; Wal-Mart, 1980'lerin sonlarında onu uygulayan ilk perakendeci olarak sık sık dile getirilir. Wal-Mart'ın 1992'deki başarısının analizinde, “çapraz yerleştirme olarak bilinen büyük ölçüde görünmez bir lojistik tekniği” olduğunu söylemektedirler (Stalk, Evans ve Shulman, 1992).

Bu sistemde, mallar süreklilik içinde Wal-Mart'ın depolarına teslim edilir. Depolarda mallar genellikle depolanmazlar; seçilir, yeniden ambalajlanır ve daha sonra mağazalara teslim edilir. Depoda zaman harcamak yerine, mallar bir yükleme kapısından diğerine 48 saatte veya daha az bir sürede geçerler. Çapraz sevkiyat, Wal-Mart'ın her zamanki stok ve taşıma maliyetlerinden kaçınarak tam kamyon yükü satın alma ile ekonomik taşımaya ulaşmasını sağlamaktadır. Ürünlerinin %85'ini çapraz sevkiyat ile çalıştırmak Wal-Mart'ın satış maliyetlerini 1992'deki sanayi ortalamasına göre %3'den %2'e düşürmesini sağlamıştır ve o dönemde dünyanın en yüksek kâr perakendecisi haline gelmiştir (Stalk ve diğerleri, 1992).

3.1. Çapraz Yerleştirmeye Giriş ve Literatürdeki Tanımlar

“Çapraz sevkiyat, malzemenin alıcı istasyonundan gönderim istasyonuna doğrudan ve en kısa bekleme süresi ile taşınmasını içeren bir depolama stratejisidir“ (Apte ve Viswanathan, 2000). Çapraz sevkiyat; tedarikçi ve tüketici arasında ürün depolamaktan kaçınan, gelen ve giden gönderileri koordine etmek için kullanılan lojistik bir stratejidir. Dağıtım sürecinde, gelen kamyonlar gönderilerini sınıflandırma işlemi için çapraz sevkiyat merkezine teslim ederler. Daha sonra, son varış yerlerine gönderilmek üzere çıkış yapan kamyonu transfer edilir. Çapraz yerleştirme, gelen bir yarı römork kamyon veya raylı taşıttan boşaltılan malzemelerin az veya hiç depolanmadan doğrudan çıkan kamyonlara, treylere veya vagonlara yüklendiği bir lojistik uygulaması olarak tanımlanır. Çapraz

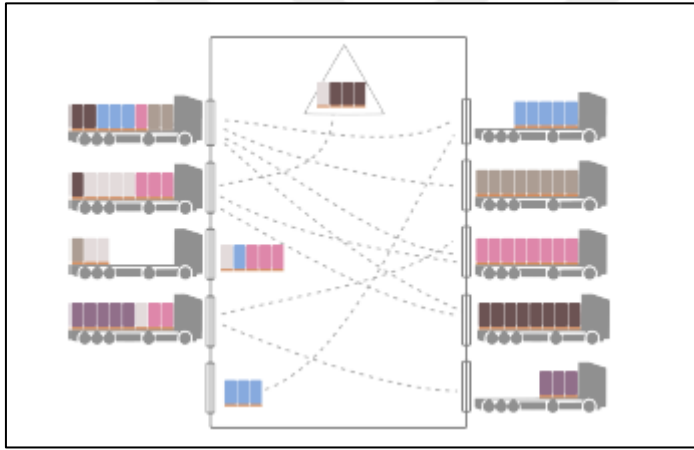
sevkiyat, teslim süresini kısaltmak için tedarikçiden müşterilere ürün akışını hızlandırmanın bir yoludur. Aynı zamanda depoda mallar depolanmadığı ve doğrudan yükleme istasyonundan nakliye iskelesine taşındığı için depodaki stok seviyesinin azaltılmasına ve hatta ortadan kaldırılmasına yönelik bir yaklaşımdır (Yan ve Tang, 2009).

Çapraz sevkiyat, Kinnear (1997) tarafından "çeşitli hedef noktaları için, çeşitli tedarikçi ve üreticilerden ürün alan ve bu ürünleri hedef noktalarına göre diğer tedarikçilerden gelen ürünlerle birleştirmektir" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, ölçek ekonomileri elde etmek için sevkiyatların birleştirilmesine odaklanmaktadır ve aynı zamanda maliyet avantajlarına da sahiptir. Kinnear (1997)'e göre çapraz yerleştirme terimi bir demiryolu ve deniz arka planına sahiptir. Denizcilik açısından bakıldığında gemiler "rıhtımın üstündeki" yükü daha küçük gemilere ve vagonlara ekonomik teslimat için tahliye edeceklerdir. Belirtildiği gibi bu tedarik zinciri yönetimi kavramı, depoda uzun süreli depolama gerektirmeksizin dışarıdaki kamyonlara farklı yüklerle envanter maliyetlerinde düşüş sağlamayı amaçlamaktadır.

Çapraz rıhtımlar; kamyonların diğer tedarikçilerden gelen mallarla bir araya getirildikleri, bu mallarla birleştirildiği ve giden kamyonlara yüklenmesi gereken mallarla birlikte kamyonu yüklendiği aktarma faaliyetinin yapıldığı yerdir. Bir çapraz sevkiyat işleminin son ürünü, araca veya terminale bağlı yüklü bir konteynerdir (Luo ve Noble, 2012). Gönderiler genellikle 24 saatten daha kısa bir süre içerisinde çapraz sevkiyat merkezinden transfer edilir. Bu süre bazen bir saat bile olabilmektedir. Çapraz sevkiyat, farklı nihai varış yerleri için bir üreticiden mal almayı içerir. Çapraz sevkiyat, bu yükleri diğer üreticilerin ortak müşteriler için yaptığı yüklerle birleştirir (Shakeri, Low ve Li, 2008). Bu birleştirme, tedarik zincirindeki nakliye maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Boysen ve Fliedner (2010) de tanımında, birleştirme ilkesini ele alınmış ve çapraz sevkiyatı "bir dağıtım ağında taşımanın ekonomik olmasını sağlamak için, birden fazla küçük sevkiyatın, tam kamyon yüklerine birleştirilebileceği bir birleştirme noktası" olarak tanımlamıştır. Bartholdi ve Gue (2004) bu tanıma bir zaman kısıtlaması eklemektedir ve bunu şu şekilde formüle etmektedir: "çapraz yerleştirmenin ardındaki fikir, gönderileri gelen kamyonlardan giden kamyonlara, aralarında depolama olmaksızın transfer etmektir". Bu birleştirmeler, daha etkin taşımayı gerçekleştirmek ve bir tedarikçiden perakendeci ve mağazalarına kadar araç hareketlerinin sayısını azaltmak için yapılmıştır (Liao, Lin ve Shih, 2010).

Yu, Sharma ve Murty (2008)'e göre tipik bir çapraz yerleştirme sisteminde birincil amaç depolamayı ve aşırı malzeme kullanımını ortadan kaldırmaktır. Liu ve Takakuwa (2009) ise bu iki kısıta ek olarak amacını müşteriye olan hizmetlerin seviyesini korurken, aşırı taşımayı ortadan kaldırmak, teslim süresine uygunluk ve nakliye ve depolama maliyetlerini en aza indirmek olarak belirtmiştir.

Çapraz sevkiyatta işlemin gerçekleştiği platforma depo veya dağıtım merkezi de denmektedir. Şekil 3.1'de çapraz sevkiyat örneği gösterilmektedir. Sol taraftaki gelen kamyonlar, farklı varış noktalarına sahip (farklı renkler) ürünler içerir. Ürünler boşaltılır, sınıflandırılır ve içerikleri farklı taraflara giden sağ taraftaki giden kamyonlara yeniden yüklenir.



Şekil 3.1. Çapraz sevkiyat örneği (Ladier ve Alpan, 2015)

Çoğu gönderi 24 saatten daha az zaman harcadığı için, çapraz yerleştirme için en iyi adaylar sürekli talep gören hızlı hareket eden öğelerdir. Napaolitano (2000) ve Gue (2001), çapraz dağıtmayı “dağıtım sistemleri için tam zamanında” olarak tanımlamaktadır.

3.2. Çapraz Sevkiyat Karakteristikleri

Bu bölümde, çapraz sevkiyat platformunu ve performans göstergelerini karakterize etmek için kullanılan farklı öğeler açıklanmaktadır. Bu öğeler çapraz yerleştirme platformunun iç operasyonları hakkında günlük veya haftalık olarak alınacak kararlarda etkin rol oynar. Ayrıca, orta veya uzun vadeli bir zaman ölçeğinde daha önce alınan kararların operasyonlar üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle, stratejik (uzun vadeli) ve taktik

(orta vadeli) seviyeleri de dikkate almak gerekmektedir. Bu seviyeler incelenen çapraz sevkiyatın tipini tanımlamak için karşılaştırma elemanlarıdır. Ayrıca platformun fiziksel özelliklerinin getirdiği kısıtlamalardan veya bu noktada sorgulanmayacak taktiksel kararlardan veya dış paydaşlardan oluşurlar.

Listelenen öğelerin çoğu, Boysen ve Flidner (2010) ve Belle ve diğerleri (2012)'nin yaptıkları çalışmalarda açıklanmıştır.

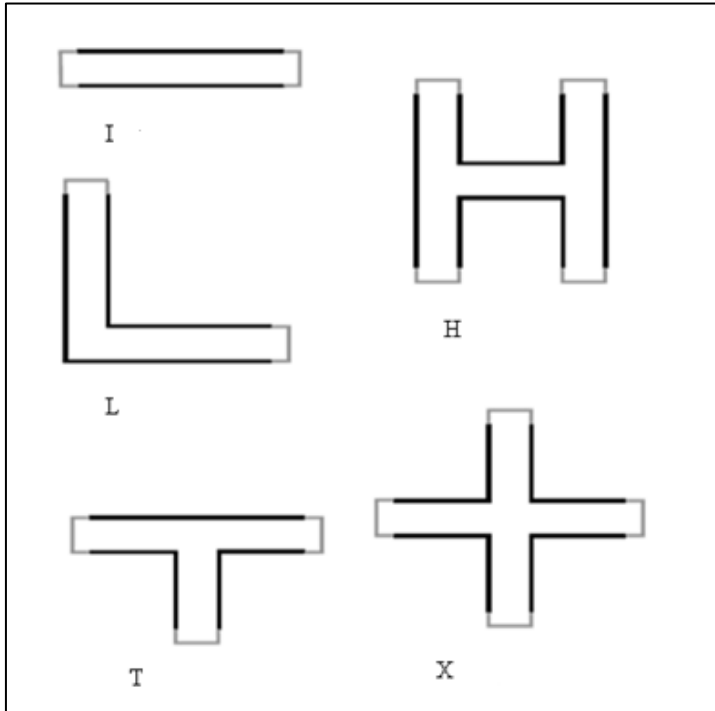
3.2.1. Fiziksel karakteristikler

Çapraz yerleştirmenin fiziksel karakteristiğinin çok uzun bir süre sabit kalması gereklidir. Çapraz yükleme şekli, yükleme kapısı sayısı ve ayrıca dahili/iç taşıma, çapraz yerleştirmenin fiziksel özellikleri olarak kabul edilir.

Çapraz yerleşimin şekli: Çapraz sevkiyatta tesis tasarımı, çapraz sevkiyat uygulamasının önemli bir parçasıdır. Çünkü tesisin verimliliğini ve işletmeyle bağlantılı maliyetleri büyük ölçüde etkileyebilir. Çapraz iskenelin şekli tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Bartholdi ve Gue (2000)'e göre, çapraz yerleştirme çeşitli şekillerde olabilir; I, L veya T gibi farklı alfabetik şekiller en yaygın olanıdır. Bununla birlikte U, H veya E gibi başka şekiller de bulunabilir. Çapraz sevkiyatın şekli ve düzeni performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basitçe, iyi bir platform büyüklüğü operasyonların verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Standart platform şekli dikdörtgen bir I şeklindedir. Dar I şeklindeki terminal iç tıkanıklıkta bir artışa neden olur. Daha büyük platformlar için, kapılar açısından L, X, T ve H şekilleri gibi diğer alternatifler önerilmektedir.

Bartholdi ve Gue (2004) işgücü maliyetleri açısından, yerleşim düzenlerinin çapraz bağlantıların büyüklüğüne göre değişebileceğini araştırmaktadır. Belirlenen koşullar altında hangi şeklin en iyi olduğunu belirlemek için, çeşitli şekillerde (I, L, T, H) ve ortalama seyahat mesafesine bağlı olarak işgücü maliyetinin tahmini ile deneyler yapmışlardır. Her şekil için dört özellik araştırmışlardır; boyut (40 ila 350 kapı), düzen (yerleşim), yük akışlarının düzenleri ve alıcı kapıların oranı. Deneysel sonuçlara dayanarak; küçük ve orta ölçekli, 150 kapıdan az, çapraz sevkiyat merkezi için en iyi şekil dar bir dikdörtgen veya I şeklindedir. Daha büyük çapraz sevkiyat mekezi için, 150-200 kapı, T şekli, 200 kapıdan büyük rıhtımlar için X şekli en iyisidir. Ek

köşelerin maliyeti nedeniyle L veya U gibi şekillerden kaçınılmalıdır sonucuna varmışlardır. Çalışmalarında, çapraz yükleme tasarımına odaklanmışlardır ve en iyi şekli seçmeye karar verirken, alıcı ve nakliye kapılarının sayısını belirleme, asgari yükleme genişliği ve tesisin daha sonra artması gibi sorunları göz önünde bulundurmuşlardır. Park ihtiyaçları, kamyonların dönüş yarıçapları veya ofis ya da bakım binalarına duyulan ihtiyaç gibi çapraz platform tasarımını tehlikeye atabilecek ve gerçekte sorun yaratan sorunları dikkate almamışlardır.



Şekil 3.2. Çapraz sevkiyat şekilleri (Bartholdi ve Gue, 2004)

Toplam iskele kapısı sayısı: Toplam iskele kapısı sayısı, bir iskele hakkındaki en önemli karardır. Nakliye kapıları, iskelenin hizmet etmesi gereken son varış yerinin sayısına göre belirlenebilir. Literatürde bazı araştırmacılar çalışmalarını yalnızca bir ya da iki kapıyla sınırlandırmaktadır. Her ne kadar gerçekçi olmasa da, temel bir çapraz yerleştirme için basitleştirilmiş bir model sağlayabilir (Belle ve diğerleri, 2012).

Çapraz sevkiyat içinde ulaşım: Çapraz iskelede iki tür iç ulaşım vardır. Nakliye, forklift kullanan işçiler tarafından elle yapılabilir veya bir taşıma bandı ağıyla otomatik olarak taşınabilir. Çapraz sevkiyat içinde bulunan ürün tipi taşımacılığın alt yapısını belirler (Belle ve diğerleri, 2012). Bu iki taşıma türünün birleşimi de mümkündür.

3.2.2. Operasyonel karakteristikler

Çapraz sevkiyat sistemlerinin bazı operasyonel özellikleri platform yöneticisi tarafından değil dış paydaşlar yani müşteri veya ulaşım sağlayıcıları tarafından uygulanmaktadır. Bu özellikler günlük işlemlerde çok önemli bir rol oynamasına rağmen gerektiğinde anlaşma sağlanabilse bile yöneticinin kolaylıkla ayarlayabileceği bir karar değişkeni değildir.

Operasyonel kararlar çapraz yükleme fonksiyonelliğini etkileyebilir. Boysen ve Flidner (2010)'un sınıflandırmasına göre bazı operasyonel kısıtlamalar şu şekildedir:

Kapı ortamı - Servis modu: Çapraz yerleştirme terminalindeki servis modu, gelen ve giden araçların kapılara tahsis etme konusundaki serbestlik derecelerini etkiler. Özel servis modunda her bir rıhtım kapısı sadece boşaltma veya yükleme işlemlerine adanmıştır. Normalde terminallerde kapıların bir tarafı gelen (inbound), diğer tarafı giden (outbound) işlemlerine atanır (Boysen ve Flidner, 2010). Başka bir mod karışık moddur. Bu modda kapı başına işlenecek karıştırılmış bir alma ve nakliye araç dizisine izin verilebilir. Özel servis modunda rıhtım yalnızca gelen veya giden bir hedefi daha uzun bir süre için, örneğin bir ay boyunca sunar. Bu çalışanlar için verimli olacaktır çünkü her varış noktasını ezbere bilir ve öğrenirler. Bununla birlikte, dalgalanmalar meydana geldiğinde bu çözüm daha az esnektir veya araştırmacılara göre kısa süreli kamyon tarifesi için serbestlik derecelerini sınırlar. Oh ve diğerleri (2006), varış yeri özel servis modunda kapılara varış yerlerini atamanın taktiksel problemini incelemişlerdir. Orta vadeli ufukta atama, liman ve varış yerlerinin birleştirilmesiyle yapılır. Bir kamyonun atanması bu nedenle kamyonların varış yerleri tarafından belirlenir. Orta vade modu forklift tarifesinin karmaşıklığını azaltır, ancak öngörülemeyen koşullara uyum sağlama olasılığını da azaltır. Her özel durumda en uygun çözümün ne olduğu mevcut bilgilere ve çapraz sevkiyattaki akış tiplerine göre seçilmelidir.

Kesinti: Kesinti kavramı, yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında kamyonların kesintiye uğramasıdır. Bu yarı dolu bir kamyonun rıhtımdan çıkarılıp başka bir kamyonla değiştirilmesine izin verilip verilmeyeceği anlamına gelir (Boysen ve diğerleri, 2008). Bu durumda istif aracı, kapıda başka bir istif aracı işlemine izin vermek için bir park yerine taşınır. Kesilen işlem daha sonra muhtemelen başka bir iskelede yapılmaya devam edilir.

Geçici depolama alanı kapasitesi: Bir ürün boşaltılırken ilgili kamyon mevcut değilse ürünler kısa bir süre için bir depolama alanına konulur. Mevcut alan azsa bu alan sınırlı bir kapasiteye sahip olabilir aksi halde kapasite sınırsız olarak kabul edilebilir. Örneğin, donmuş ürünlerde ürünlerin platformda geçici olarak kalmasına izin verilmemesi de mümkündür. Bu durumda depolama kapasitesini sıfır olarak kabul edilmektedir.

İç kaynak kapasitesi: Otomatik bir taşıma modunda konveyör bant ağının kapasitesinin veya taşıma manuel olarak yapılırsa mevcut maksimum işçi sayısının sınırlı veya sınırsız olduğu kabul edilebilir.

Kamyonların kullanılabilirliği (hazır bulunması) kavramı: Araçların hâlihazırda kuyrukta bekletilip bekletilmediklerine karar verilmesini içeren bir kavramdır. Kamyonlar ya operasyonları için hazırlardır ya da sıfır zamanında hazır değildirler. Yönetici, başlangıç saatlerini ve varış saatlerini beklemek zorundadır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Ürün değiştirilebilirliği: Belirli bir ürün tipi için biri yerine diğeri kullanılabilirse, ürünler birbirleriyle değiştirilebilir. Ürünler birbirleriyle değiştirilebilir olduğunda iki durum ortaya çıkabilir. İlk durumda her giden kamyonun yüklenmesi gereken ürün türlerinin bir listesi varsa, bu bir dağıtım sonrasıdır (post-distribution). İkinci durum, bir çapraz iskelede boşaltılan her ürünün belirli bir hedefe tahsis edildiği durumdur. Her iki durumda da ürün ve kamyon dağıtımının tam olarak tanımlanması operasyonel bir karar olarak kalmaya devam etmektedir. Ürünler birbirinin yerine geçmediğinde her ürün belirli bir giden kamyonu adanmıştır, bu nedenle sevkiyat bilgisi gelen taraftan bilinmektedir (bu bir ön dağıtımdır). Dağılım öncesi ve sonrası karşılaştırmalı bir çalışma Yan ve Tang (2009) ve Tang ve Yan (2010) tarafından yapılmıştır.

Varış zamanı: Herhangi bir anda herhangi bir kamyon boşaltılabilirse, tüm kamyonların planlama ufkunun başlangıcından itibaren (sıfır zaman), herhangi bir zamanda işlenmeye hazır olduğunu varsaymak kısıtlayıcı değildir. Aksine, eğer araç varışları kısıtlamalara tabi ise (örneğin araçların platforma gelmeden önce başka atamaları varsa), varış zamanları araç başına belirlenir. Bu durum hem gelen hem de giden kamyonlar için geçerlidir.

Hareket saati: Kamyonların kalkış saatlerinde herhangi bir kısıtlama olmayabilir. Bununla birlikte, eğer bir kamyonun çapraz sevkiyat merkezini terk ettikten sonra planlanan başka

bir taşıma görevi varsa ayrılmak için son tarih olacaktır. Ayrıca kargo sektöründe planlanan teslim tarihlerinden dolayı, belirlenen bir son hareket saati de olabilmektedir. Bu son tarih gelen kamyonlar, giden kamyonlar veya her ikisi için tanımlanabilir. Her ürünün platformdan ayrılması için belirli bir süreye sahip olması da mümkündür. Belle ve diğerleri (2012)'ne göre, varış düzenleri bir çapraz sevkiyat içindeki tıkanıklık ve kapasiteye etki etmektedir. Varış saatleri, örneğin akşamları veya geceleri sıralanmış olarak, günün belirli zamanlarına dağıtılabilir. Diğer seçenek, varış planının gün boyunca dağılmış olmasıdır yani gelen kamyonlar her gün farklı zamanlarda gelirler. Bu, planlamayı daha karmaşık hale getirir, ancak genellikle daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Birçok durumda (gerçek dünya ve akademik deneyler) kalkış saatleri sınırlandırılmamaktadır ve tüm yük yüklendiğinde veya boşaltıldığında kamyonların kalktığı düşünülmektedir (Belle ve diğerleri, 2012). Kalkış zamanını kısıtlayan gelen kamyonlar ceza alınmasını önlemek için zamanında boşaltılmalıdır. Pratikte kamyonlar, tüm yükler boşaltılmadan önce asla ayrılmaz. Ancak, örneğin kargo endüstrisindeki giden kamyonlar, teslimat randevularını müşterileriyle karşılamak için tam zamanında vaktinde bulunmalıdır. Bir miktar navlun geciktiği zaman diğer bütün parsel teslimatlarını geciktirmemek için istif aracı tam navlun olmadan çapraz limandan ayrılacaktır (Belle ve diğerleri, 2012). Bu sınırlı süreler, servis modlarının seçimi üzerinde etkilidir. Karışık modlar, sabit kalkış saatleri ile uğraşırken daha karmaşıktır.

Kamyon dolumu: Platformdan çıkmadan önce gelen tüm kamyonlar tamamen boşaltılmalıdır; ancak giden kamyonların son teslim tarihleri varken planlanan zamanda tamamen yüklenmeden ayrılabilirler. Bu durum, tam kamyon yükünden daha az yükle (LTL) kalkışa izin verildiği durumdur. Aksi halde, kamyonlar yalnızca dolu olduklarında çapraz sevkiyat merkezinden ayrılırlar.

İşlem süresi: Bu süre, bir kamyonun yüklerini almakla (yükleme-boşaltma) geçen süre ile ilgilidir. Bazı çalışmalarda, tüm kamyonların aynı işlem süresine sahip olduğu düşünülmektedir. Bu tip römorklarda ürünler aynı büyüklüktedir (Boysen ve Flidner, 2010).

Son teslim tarihi: Gelen ve giden araçların kalkış zamanını kısıtlamakla ilgilidir. Bir nakliye aracının belirli bir süre önce platformdan ayrılmasına izin verilmesi

kararlaştırılabilir. Benzer şekilde, gelen araçların belli bir süre önce boşaltılmasının sınırlandırılması da mümkündür (Boysen ve Fliedner, 2010; Belle ve diğerkleri, 2012).

Depolama/stok: Her ne kadar çapraz yerleştirme hedefi depolamayı en aza indirmek olsa da, çoğu zaman engellenemeyen depodaki asgari stok miktarıdır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Atama kısıtlamaları: Bu zellik, araçların kapılara tahsis edilmesindeki serbestlik derecesi ile ilgilidir. Herhangi bir kısıtlama yoksa herhangi bir boş rıhtım kapısı araç işlemine atanabilir (Boysen ve diğerkleri, 2008).

Transfer süresi: Boşaltma işleminden sonra terminal içerisindeki ürünlerin yüklenmesine kadar arada geçen süre olarak tanıtılır (Shakeri ve diğerkleri, 2008). Bazı çalışmalarda problemin karmaşıklığını azaltmak için bu süre sabit kabul edilir. (Boysen ve Fliedner, 2010).

Giden organizasyon: Önceden tanımlanmış olan yk kümesi yüklendiğinde, nakliye aracının platformdan çıkmasına veya belli bir anda ayrılmasına izin verme stratejisi olarak sunulan bu kavramdır (Boysen ve Fliedner, 2010).

3.3. Çapraz Sevkiyatın Yapısı ve Operasyonları

Dağıtım merkezlerinin çoğu üç ana bölümden oluşur; gelen kargo iskelesi, depolama ve giden kargo iskelesi. Bir apraz sevkiyat çoklu yükleme ve boşaltma kapılarına sahiptir. Boşaltma kamyonlarının işlem göreceği kapılar ve boş nakliye kamyonlarının nihai varış yerleri için yük taşımacılığına hazır olduğu kapılar mevcuttur. Tedarikçiler tarafından yüklenen birimler (rnler, paletler veya kutular) kamyon ile platforma gelir ve alıcı kapılara (veya şerit kapısına) tahsis edilir. Gelen römorklar boş bir şerit kapıya doğrudan atanabilir ya da hiçbiri boş değilse kuyrukta bekleyebilirler (Bartholdi ve Gue, 2000). Tüm rnler tamamen boşaltıldığında kamyon platformu terk eder. Boşaltılan rnler son varış yerlerine göre sıralanır ve ayırt edilir. Daha sonra ürünler nakliye kamyonlarının müşterilere teslim edilebileceği uygun alıcı kapılarına (şerit kapı) taşınır. Bu nihai varış noktasına ilişkin nakliye kamyonu nakliye iskelesinde mevcutsa doğrudan bir nakliye platformuna aktarılır; aksi halde geçici depoya aktarılırlar. Bir gelen kamyon tamamen

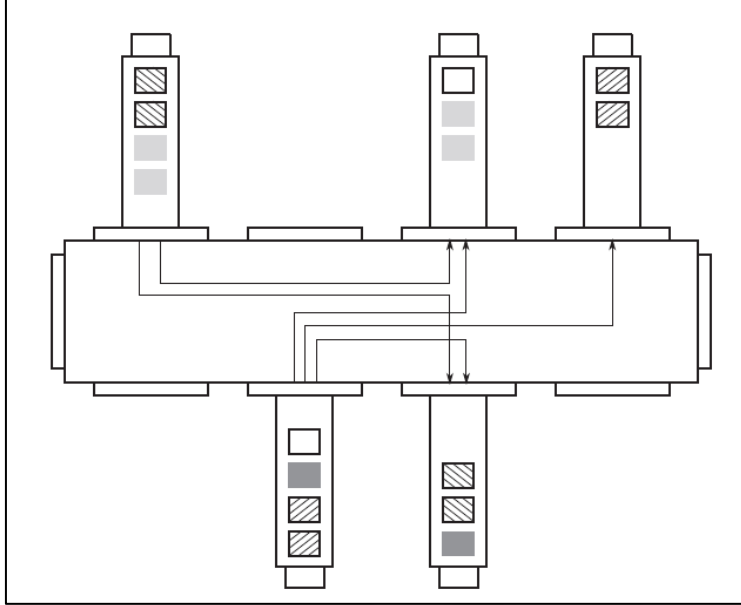
boşaltıldıktan sonra kuyrukta bekleyen başka bir alıcı kamyon ile değiştirilir. Ayrıca, nakliye kamyonları ürünleri ile doldurulduktan sonra doldurulması gereken boş bir kamyonla değiştirilir (Bartholdi ve Gue, 2000).

Çapraz yerleştirme malları depo envanterine giren öğeler olmaksızın aktarma ana fikri ile ürünleri gelen ve giden araçlarla transfer eder. Böylelikle yükler limana gelen iskeleden dışarıdaki rıhtım alanına geçmektedir (Kulwiec, 2004). Çapraz yerleştirme, tedarikçi ve müşteri arasındaki herhangi bir ek depolama alanını ortadan kaldırdığı için stok tutma maliyetinde bir azalmaya neden olur. Alma (toplama) ve nakliye işlemlerinin malzeme taşıma işlemleri ürünün fiziksel akışını temsil eder. Bu fiziksel akışla ilişkili olarak çapraz yerleştirilmiş ürünle ilgili bilgi akışıdır. Artan hacimler ve ürün çeşitliliği ile bilgi akışı yönetimi de çapraz sevkiyat işleminin başarısında kritik bir faktör haline gelmiştir (Apte ve Viswanathan, 2000).

Bir çapraz yerleştirme terminali, bir dağıtım şebekesinde özellikle kamyon yüklerinin aktarılmasına adanmış bir ara düğümdür (Boysen ve Fliedner, 2010). Çapraz bağlantı merkezi veya dağıtım merkezi normalde çapraz iskele ve deponun birleşimidir. Bazı ürünler çapraz sevkiyat için giderken; bazı ürünler ürünün özelliği, kullanıcı talebi ve tesis kapasitesine göre depolamaya gitmektedir. Aynı tür ürünler için bile ürünlerin bir kısmı çapraz sevkiyat için gidebilir ve geri kalanı da depolama için kullanılabilir. Bunun nedeni, tüm ürünlerin çapraz sevkiyat için uygun olmaması ve uygun olsa bile lojistik yöneticilerinin herhangi bir güvenlik stoğu olmaması fikrine alışkın olmamaları veya çapraz sevkiyat merkezinin tüm uygun ürünler için taşıma kapasitesine sahip olmamasıdır. Ürünlere yönelik dağıtım stratejisi seçimi; ürün hacmi, ürün değeri, ürün yaşam döngüsü ve tesis alanı kısıtlamaları gibi bir dizi faktöre bağlıdır (Li ve diğerleri, 2008).

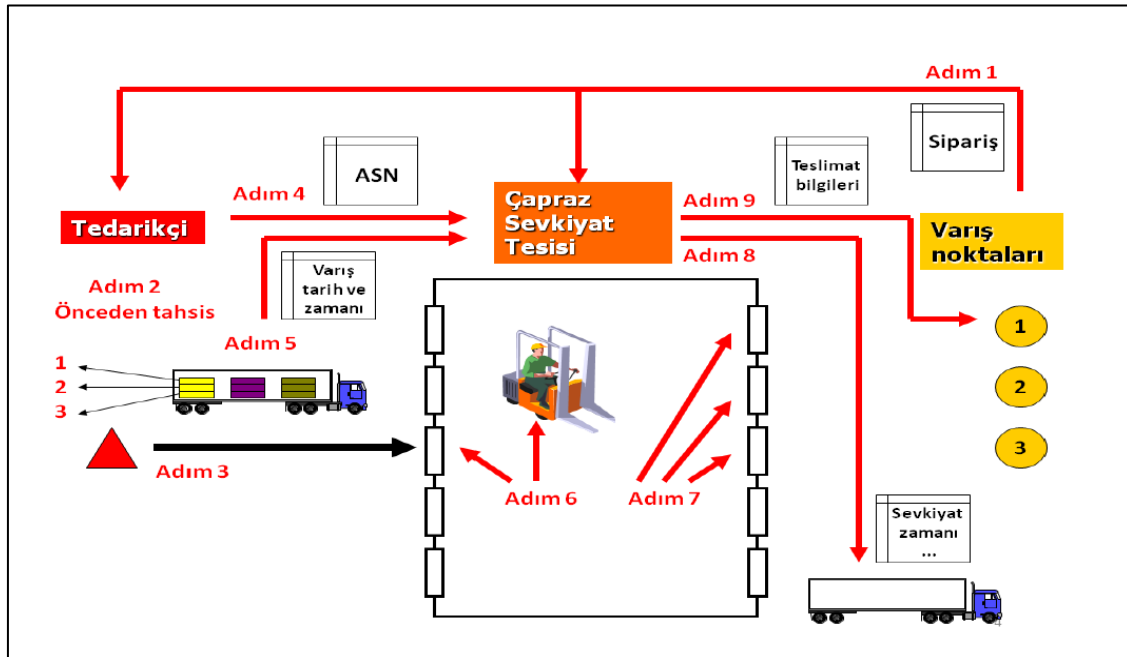
Çapraz yerleştirmede iki tür ürün akışı mevcuttur; dolaylı ve doğrudan aktarım. Şerit kapısından nakliye kapısına doğrudan aktarım, şerit kapısından geçici depolama alanına dolaylı aktarım (ilerideki varış noktalarına gelecekteki gönderiyi beklemek için) ve depolama alanından giden kapıya dolaylı aktarım. Dolaylı transferde depolanma, stok maliyetlerini ve ek maliyetlere yol açan nakliye faaliyetlerini artırır. Şerit kapısında, farklı tedarikçilerden gelen gönderiler boşaltılır, işlenir ve giden kapısına gönderilmeye hazırdır. Gelen ürünler gönderen varış yerlerine ve tüketicilere göre farklılık göstermektedir.

Şekil 3.3’de çapraz bağlantı içindeki malzeme taşıma işlemlerini sunulmuştur. Bu çapraz iskelenin düzeni I şeklindedir ve 10 adet iskele kapısına sahiptir.

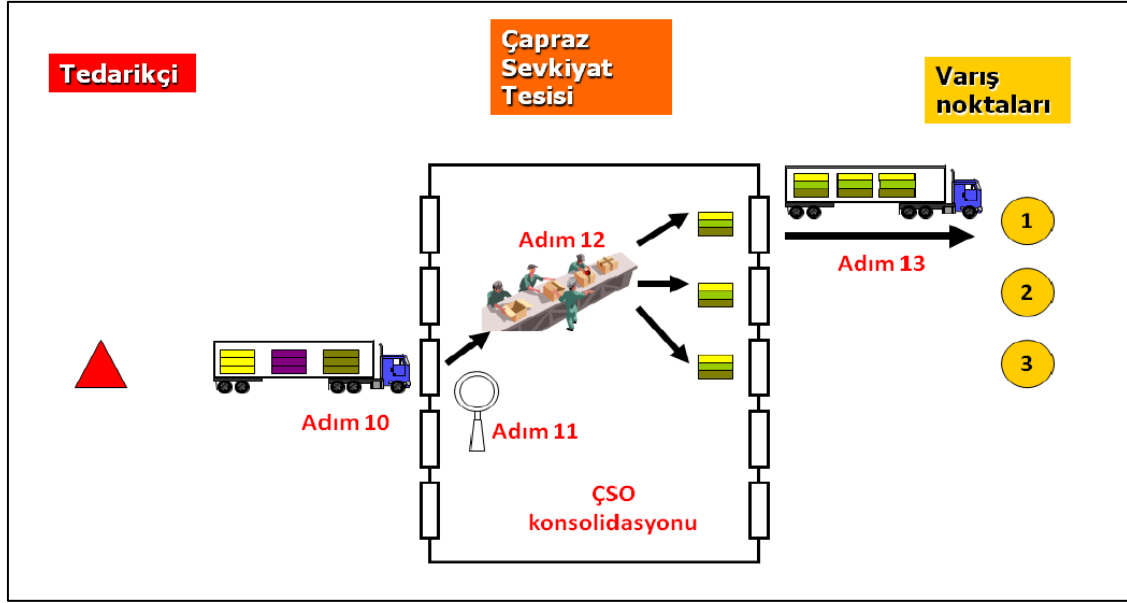


Şekil 3.3. Çapraz sevkiyat tesisinde yapılan işlemler (Belle ve diğerleri, 2012)

Şekil 3.4 ve 3.5’de perakende sektöründeki tipik bir çapraz sevkiyat sürecinde yer alan adımlar gösterilmektedir. Bu adımlar şu şekilde listelenebilir (Ertek, 2010):



Şekil 3.4. Perakende endüstrisindeki bir çapraz sevkiyatta takip edilen adımlar



Şekil 3.5. Perakende endüstrisindeki bir çapraz sevkiyatta takip edilen adımlar 2

Adım 1: Çapraz sevkiyat operatörü (ÇSO) ve tedarikçi sipariş detaylarını perakende mağazasından alır. Eğer siparişe dayalı bir sistem yerine tedarikçi kontrollü envanter sistemi uygulanıyorsa satış noktası verisi perakende satış gerçekleştiği anda mağazadan tedarikçiye doğrudan akar ve tedarikçi gerekli olduğunda sevkiyatı başlatır.

Adım 2: Önceden tahsis edilmiş tedarikçi konsolidasyonu söz konusu ise tedarikçi mağazaya özel paletleri hazırlar ve etiketler. Bu paletler çoklu ürün paletleri olabilir. ÇSO konsolidasyonu söz konusu ise tedarikçi paletlerin çapraz sevkiyat tesisinde (ÇST) gruplandırılması için sadece tekli ürün paletleri hazırlar. Önceden tahsis edilmiş ÇSO konsolidasyonu söz konusu ise paletteki her bir paket hangi mağazaya yönlendirileceğini belirten bir bilgi ile etiketlenmelidir.

Adım 3: Tedarikçi teslimatı ÇST'ne taşıyacak olan araca yükler.

Adım 4: Tedarikçi sevkiyat bildirimini ÇSO'ne yollar.

Adım 5: Nakliyecinin ÇSO'ne varış tarih ve zamanı bilgisini iletir.

Adım 6: ÇST'de gelen ürünlerin indirileceği rampa belirlenir ve mal kabul sırasında gerekli olacak işgücü ve ekipman hazır edilir.

Adım 7: ÇST'den mağazalara sevkedilecek ürünler için bir sevkiyat rampası belirlenir.

Adım 8: Sevkedilecek ürünler için yapılacak nakliyenin yükleme zamanı, yük tanımı, varış noktası ve teslimat tarihi ve zamanı hakkında bilgi verilir.

Adım 9: Perakende mağazaya sevkedilecek ürünlerin detayları iletilir.

Adım 10: Tedarikçinin teslimatını taşıyan araç ÇST'ne ulaşır.

Adım 11: Sevkiyat bildiriminin doğruluğunu teyit etmek için tedarikçinin teslimatının küçük bir yüzdesi üzerinden manuel kontroller yapılır.

Adım 12: Önceden tahsis edilmiş tedarikçi konsolidasyonu söz konusu ise gelen teslimattaki paletler çıkış rampasına/araca transfer edilir. Aksi takdirde paletler paketlenir. Sonradan tahsis edilmiş tedarikçi konsolidasyonu durumunda ise paletler varış yerlerine göre açık siparişler halinde tahsis edilir. Sonrasında her bir perakende mağazaya göre gruplandırılır ve çıkış kapısından çıkan araca yüklenirler.

Adım 13: Sevkiyatı yapacak olan araç ÇST'den ayrılır ve ürünleri perakende mağazaya teslim eder.

3.4. Çapraz Sevkiyatın Uygulanma Durumları

Malların fiziksel dağıtımı, günümüzün hızlı hareket eden pazarlarında kilit başarı faktörlerinden biridir. Müşteri siparişlerinin yerine getirilmesi için gereken süre kısaltılırken depolama maliyetlerinin ve risklerinin en aza indirilmesi gerektiğinden birçok şirket etkin dağıtım alternatifleri arayışında yer almaktadır. Çapraz sevkiyat, öğeleri akış konsolidasyon merkezleri veya çapraz yerleştirmeler yoluyla depoya taşımadan hareket ettiren bir operasyonel strateji olarak tanımlanır. Bu, tedarik zincirindeki dağıtım depolarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve müşterilerin siparişleri için tam ve zamanında teslimat almasını sağlar. Ancak, tüm ürünler çapraz sevkiyat işlemleri için uygun değildir. Gerçek uygulamada salt bir çapraz sevkiyat senaryosu yaygın değildir. Çapraz sevkiyat merkezi veya dağıtım merkezi normalde çapraz sevkiyat ve depolama tesislerinin birleşimidir. Endüstriler, çapraz sevkiyat ve depolama kararlarının uygunluğunu

desteklemek ve çapraz sevkiyat işlemlerinin belirli iş durumları için uygulanabilirliğini değerlendirmek için rehber ve modele ihtiyaç duyar (Li ve diğerleri, 2008).

Çapraz rıhtım tesisini uygularken ve işletirken, çalışmasını sağlamak için belirli şartlar yerine getirilmelidir. Schaffer (2000)'e göre, bu şartlar aşağıdaki gibi altı kategoriye ayrılabilir:

1. Dağıtım zincirinin diğer üyeleriyle ortaklık yapmak (örneğin, dağıtım zincirinin tüm üyelerinin çapraz yerleştirme uygulamaması durumunda, bu şirketlerin tarafındaki maliyetleri arttırmamak için daha fazla planlama ve işbirliğine ihtiyaç vardır);
2. Ürünün kalitesine ve ulaşılabilirliğine mutlak bir güven (çapraz yerleştirme gerçek zamanlı bir süreçtir, ürünlerin kesintisiz olarak akışına ihtiyaç duyar, yani çapraz yerleştirme işlemlerinin talebe göre, gereken kalitede doğru ürünlerin mevcut olduğundan emin olunması gerektiği anlamına gelir);
3. Tedarik zinciri üyeleri arasındaki iletişim (çapraz yerleştirme çalışmaları ile ilgili tüm bilgiler, mümkün olan en kısa zamanda işbirliği yapan şirketlerde ilgili yerlere dağıtılmalıdır);
4. Çapraz yerleştirme işlemlerinde iletişim ve kontrol (ürünler çapraz yükleme tesisine ulaştığında, depo yönetim sistemi yardımıyla tesis içerisinde kesintisiz ve hızlı bir şekilde hareket etmelidir);
5. Personel, ekipman ve tesisler (çapraz yerleştirme uygulamalarından önce, tüm alanların, kamyon, ekipman ve tesis içinde ürün aktarımı için personel gibi alanların kapsanması için yeterli kaynak tahsis edilmelidir);
6. Taktik yönetim (bazı problemler ortaya çıktığında, genellikle ek görev yükünün olağan görevlere ek olarak ek insan kaynaklarının bulunması gereklidir).

Ayrıca çapraz sevkiyat uygunluğunu etkileyebilecek diğer bazı durumlar ise; tedarikçiler ve müşteriler arasındaki mesafe (uzun mesafe, sipariş birleştirmeyi daha faydalı kılar) ve bölgedeki iş hacmidir.

Çapraz yerleştirme işlemlerinin başarısı ekipmanlara ve insan gücüne bağlıdır (Apte ve Viswanathan, 2000). Bu nedenle uygun yetenekli insan gücü, ekipmanın seçimi ve yönetimi çapraz yerleştirme işlemleri için kritik öneme sahiptir. Başka bir deyişle çapraz yerleştirmenin amaçlarından biri depolama ve toplama faaliyetlerini ortadan kaldırarak gerekli insan gücünü ve ekipmanı en aza indirmektir. “Her bir çapraz yerleştirme eniyilemesi, tedarik zincirinin tüm üyeleri arasında yüksek nitelikli işlem gerektirir. Etkili süreçler ve yüksek güvenilirlikle bilgi paylaşımı, her başarılı çapraz yerleştirme için önemli rollerdir” (Vogt, 2010).

Farklı tedarik zincirlerinde çapraz yerleştirme uygulanır. Bununla birlikte, kesişim noktalarında malzeme kullanımı oldukça karmaşık ve emek yoğunudur (Liu ve Takakuwa, 2009). Bu nedenle, farklı süreçlerin ele aldığı ürün çeşitliliği ile ilgilenmek için personel gereksinimini eniyilemek için ekstra özen gösterilmelidir. “Alıcı ve gönderim alanlarının düzeni ve tasarımı da çapraz yerleştirme sistemi için önemli faktörlerdir” (Apte ve Viswanathan, 2000). İyi tasarlanmış ve iyi donanımlı bir platform, belirtilen tüm aktiviteleri daha hızlı ve daha etkin bir şekilde işleyebilir. Çapraz yerleştirme tesisinde; gelen bir kamyonun her bir kartonu veya paleti alındıktan sonra doğru bir şekilde tanımlanmalı, bir satın alma siparişine anında tahsis edilmeli ve daha sonra teslimat için uygun bir giden kapıya yönlendirilmelidir. Tüm sürecin mümkün olan en kısa sürede olması ve olası hatalara yer bırakmaması gerekir. Bu nedenle bilgi akışının mal akışı kadar doğru bir şekilde yönetilmesi de çok önemlidir. Yu ve diğerleri (2008)’ne göre, çapraz yerleştirme yönetiminin endişelerinden biri çapraz yerleştirme işlemlerini yönetmek ve hızlandırmak için bilgi sistemleri veya yazılım tasarlamak olmalıdır. Ayrıca çapraz bağlantıya geçebilmek için bir şirketin olgun tedarik zinciri organizasyonuna ve etkin bir bilgi teknolojisi sistemine sahip olması gerekir.

Çizelge 3.1. Çapraz sevkiyatın uygulanmasını etkileyen faktörler

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

Çizelge 3.1’de belirtildiği gibi, çapraz yerleştirme yüksek hacimli ürün için etkilidir (Apte ve Viswanathan, 2000). Çapraz yerleştirme uygulaması kolay görünmesine rağmen, çapraz yerleştirme gereksinimlerinin çok iyi düşünülmemesi durumunda sistem düzgün çalışmaz. Çapraz yerleştirme uygulaması ürünlerin nakliye yolu ve kamyon dizileri hakkında tam bilgiye ihtiyaç duyar. Senkronize bir tedarik ve talep zincirine sahip olmak çok önemlidir.

Çapraz sevkiyat yaklaşımını en iyi şekilde kullanabilen yüksek düzeyde bütünleşmiş tedarik zinciri göz önüne alındığında, bekleneceği gibi tüm faktörlerin birbiriyle ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir. Tedarik zinciri etkinliğini uzun vadede oluşturmak ve sürdürmek için bazı faktörler açıkça anlaşılmalıdır (Vogt, 2010). Bu dokuz faktör; uygun ürünler, güvenilir tedarikçiler, uzman ve güvenilir tedarik zinciri hizmet sağlayıcıları, süreç iyileştirme ve problem çözme yeteneği, benzersiz yetenekli yönetim ve personel, iyi seçilmiş bilgisayar sistemleri, iş dengeleme ve en aza indirgeme, etkin fiziksel tesis tasarımı ve düzeni, tedarik zincirlerinde çapraz sevkiyatın nasıl anlaşıldığını anlamaktır.

3.5. Çapraz Sevkiyatın Avantaj ve Dezavantajları

Diğer modern teknikler gibi çapraz yerleştirme, tedarik zinciri yönetimi için avantajlar ve dezavantajlar sağlar. Çapraz bağlama kullanılmayı planlayan kuruluş bu süreci değerlendirir ve ardından çapraz yerleştirmenin kuruluşlarına yararlı olarak uygulanıp uygulanmayacağına karar verir.

Literatür geleneksel dağıtım merkezleri, depolara ve noktadan noktaya teslimatlara kıyasla çapraz yerleştirmenin birçok avantajını sunmaktadır (Boysen ve Fliedner, 2010; Chen ve Lee 2009; Vis ve Roodbergen, 2008). Bu avantajlar şunlardır:

Maliyetlerde indirim (Bu maliyetler arasında depolama maliyetleri, taşıma ve işçilik maliyetleri bulunur); üreticiden müşteriye teslim süresinde indirim; müşteri hizmet kalitesinde artış; stok ve depolamanın fiziksel alanında azalma; hasarların kaybı ve sipariş hasarlarında azalma.

Bu avantajlar, tedarik zinciri yönetiminde yüksek miktarda dikkat çeken bir lojistik stratejisini, çapraz sevkiyat tekniğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, çapraz sevkiyatı daha etkili hale getirmek için daha fazla yönetim dikkati vermek şarttır. Çapraz yerleştirme

teknikini uygulayarak gecikmeli teslimat için cezalar, stok maliyetleri ve envanterin depolanması için geniş bir alanın dikkate alınması önemli ölçüde azaltılabilir. Böylece gelen kamyon çapraz sevkiyat kapısına ulaştığında kapıya atanan çalışanların yükleri boşalttıkları, hedeflerini belirlemek için sıraladıkları, kategorize ettikleri ve taradıkları mevcut bir boşatma kapısına tahsis edilir. Daha sonra bu ürünler giden kamyonlara yüklenir ve perakendecilere teslim edilmek üzere istif veya nakliye platformundan ayrılır.

Çapraz yerleştirme uygulamasıyla önemli envanter tasarrufu sağlanır. Bu nedenle envanter alanlarına yönlendirme, envanterden sonraki tespit ve tekrar rıhtım kapılarına yeniden yönlendirme gibi bazı işlemler ortadan kaldırılmaktadır (Kulwiec, 2004). Çapraz yerleştirme tekniklerini kullanmak için temel iş motivasyonları; artan stok akışı, azalan stok tutma, gelişmiş kaynak kullanımı ve azalan teslimat sağlama zamanlarını içerir. Çapraz sevkiyat, ürünü kullanıcı dostu son teslim noktası siparişine dönüştürmek için kullanılır (Kinneer, 1997). Çapraz yerleştirme avantajları “yalın bir tedarik zinciri” kavramı ile uyumludur.

Ayrıca arz ve talep arasındaki daha iyi eşleşmedir. Çapraz yüklemeler geleneksel depolardan daha etkin ve esnek olduğundan değişkenlik ve dalgalanmalar daha iyi tahmin edilebilir ve böylece arz ve talep daha iyi bir eşleşmeye yol açabilir. Bununla birlikte, esneklik hala sürekli olarak geliştirilmesi gereken bir şeydir. Örneğin; piyasa talebinde ani bir artışla karşı karşıya kalındığında aynı kapılara daha fazla kamyon tahsis etmek, kapı sayısını arttırmak ya da çapraz yerleştirme tesisini başka bir şekilde düzenlemek (planlamak) mümkün olan tüm kararlardır (Belle ve diğerleri, 2012).

Schaffer (1997)’e göre ise çapraz sevkiyatın etkili olarak uygulanabilmesi için çok yönlü planlama gereklidir. Kurulumu için sermaye ihtiyacı vardır ve uygulamaya başlayabilmesi zaman alır. Ayrıca çapraz sevkiyatın maliyet açısından etkin olması için yüksek miktarda ürün gerekmektedir ve sevkiyatın doğru planlanabilmesi için yeterli miktarda araca ihtiyaç vardır.

3.6. Geleneksel Depolar ve Çapraz Sevkiyat Merkezleri Arasındaki Fark

Geleneksel lojistik; giriş aşamasından ürünleri almak, depo aşamasında depolamak ve müşterilere nakliye sürecinden oluşmaktadır. Bu yapı, taşıma sistemindeki depolama ve

verimsizliğe bağlı maliyetler nedeniyle tedarik zincirine yüksek masraflar getirmektedir. Günümüzde maliyetli bu yapıyı optimize etmek için tedarik zincirine çapraz yerleştirme adı verilen yeni bir yaklaşım uygulanmaktadır. Kinnear (1997), tedarik zincirinde çapraz yerleştirme sistemini ürünlerin başlangıç aşamasından alındığı ve müşterilerin siparişlerine göre nihai varış yerleri için düzenlendiği bir aktarma platformu olarak sunmaktadır. Çapraz taşıma geleneksel nakliyeyle kıyasla depolamayı en aza indirdiğinden ve etkili taşımaların maksimize edilmesinden dolayı tercih edilir. Geleneksel şekilde dağıtım merkezi tedarikçilerden ürün alır ve ardından bir envantere depolar. Deponun içindeki ürünler sipariş için yükseltildiğinde dağıtım merkezi onları nihai perakendecilere gönderilir (Kulwiec, 2004).

Geleneksel bir depoda dört ana işlev vardır: alma, depolama, sipariş toplama ve nakliye. Dört ana fonksiyon arasında emek yoğun olduğu için depolama (stok tutma) ve sipariş toplama en masraflı olanlarıdır. Çapraz yerleştirme, bir deponun depolama işlevini ortadan kaldırırken, birleştirme ve nakliye işlevlerini yerine getirmesine izin verir. Buradaki fikir, gelen gönderileri doğrudan aralarında depolamaksızın giden treylerlere transfer etmektir. Buna bağlı olarak gönderiler genellikle 24 saatten daha az zaman harcarlar bazen bu süre bir saatten daha kısa olabilir. Çapraz sevkiyat merkezleri esas olarak kamyonlardan gelen ürünlerin birleştirilmesi, varış noktalarına göre sıralanması ve giden kamyonlara yüklenmesini sağlayan aktarma tesisleridir. Giden kamyonlar uygulamaya bağlı olarak bir üretim yeri, bir perakende satış mağazası veya başka bir çapraz yükleme için yüklenebilir. Bir depoda mallar satıcılardan alınır ve palet rafları veya raflar gibi cihazlarda saklanır. Bir müşteri bir ürün isterse çalışanlar onu raflardan alıp hedefe gönderir. Bir çapraz iskelede satıcıdan gelen mallar zaten bir müşteriye tahsis edilmiştir. Bu nedenle çalışanlar gönderileri yalnızca gelen römorktan uygun varış noktasına bağlı bir giden treylere yönlendirmelidir.

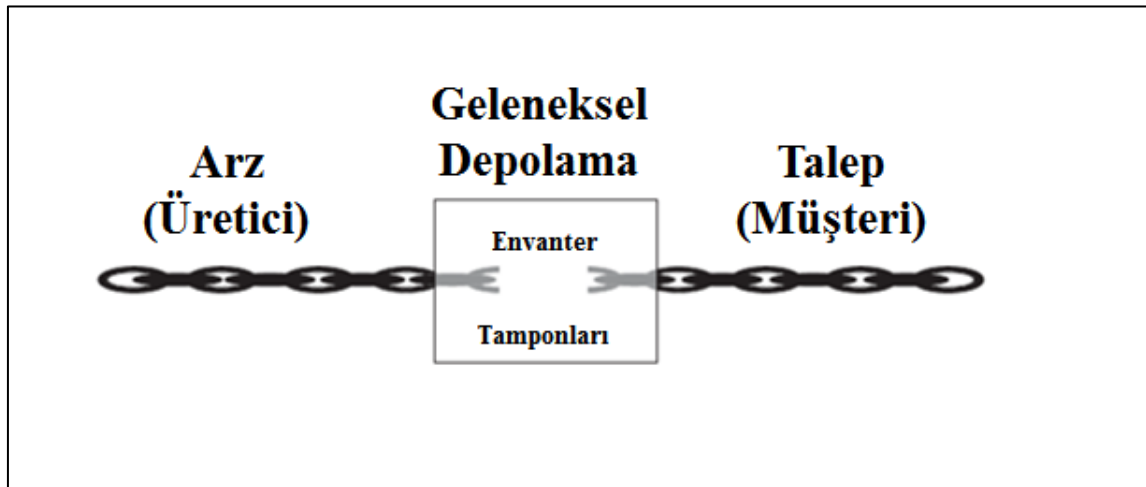
Geleneksel depolama ve dağıtım, artan tüketici talebini yerine getirme zorluğuyla karşı karşıyadır. Yeni zorluklar öncelikle şirketlerin depolama ve dağıtım sistemine baskı yapmaktadır (Li ve diğerleri, 2008). Bir geleneksel depoların aksine, çapraz sevkiyat merkezi hiç stok bulundurmaz ya da en azından önemli ölçüde azaltılmış miktarda stok taşır. Çapraz yerleştirme ağında depolar envanter depolarından teslim noktalarına, birleştirilmeye ve toplamaya dönüştürülür (Chen, Guo, Lim ve Rodrigues, 2006). Çapraz yerleştirme terminalleri en az bekleme süresiyle mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde

giden bağlantı birimine doğrudan bir akış yaratır. Depolama alanına girmeyen mallar stok olarak işaretlenmezler (Apte ve Viswanathan, 2000).

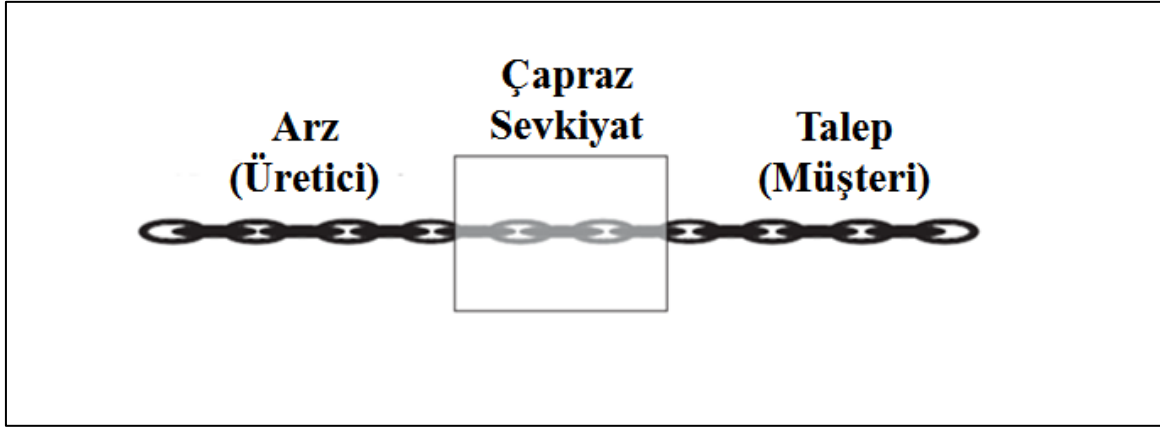
Geleneksel noktadan noktaya teslimatların aksine, çapraz yerleştirme terminalindeki ek bir mal aktarımı dağıtım işlemini yavaşlatır ve önemli miktarda taşıma meydana gelir. Sonuç olarak, gelen ve giden kamyon yüklerinin senkronize edildiği yerlerde etkin aktarma süreçleri gereklidir. Böylece terminal içindeki ara depolama düşük tutulur ve zamanında teslimat sağlanır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Vis ve Roodbergen (2011) de çapraz yerleştirme ve geleneksel depolama arasındaki büyük farklılıkları ele almaktadır. Geleneksel olarak mallar, üreticiden geldiği ve depoda stokta depolandığı yaklaşımla işlenir. Mallar tesiste yer kaplar ve beklenen talep için belirli bir süre orada depolanırlar.

Bugünün dağıtım stratejilerinde amaç, üretici ve müşteri zincirlerini senkronize etmektir (Kulwiec, 2004). Çapraz bağlantıyı kullanan bir tedarik zinciri, üreticiden nihai varış yerlerine hızlı ve düşük maliyetli olarak gönderilmesini hızlandırabilir. Uygun stratejilerle uygun çapraz bağlantı tipinin seçilmesi ve tasarlanması zorunludur. Şekil 3.6 geleneksel depolama da tedarik zinciri yönetimi modelini, Şekil 3.7 ise çapraz sevkiyatta tedarik zinciri yönetimi modelini göstermektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi çapraz sevkiyat, arz ile talep arasındaki dengenin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.6 Tedarik zinciri yönetimi modeli (geleneksel depolama) (Kulwiec, 2004)



Şekil 3.7. Tedarik zinciri yönetimi modeli (çapraz sevkiyat) (Kulwiec, 2004)

Çapraz bağlantı merkezi veya dağıtım merkezi normalde çapraz sevkiyat ve depo birleşimidir. Bazı ürünler çapraz sevkiyat için giderken ve bazı ürünler ürün mülkiyeti, kullanıcı talebi ve tesis kapasitesine göre depolamaya giderler. Aynı tür ürünler için bile ürünlerin bir kısmı çapraz sevkiyat için gidebilir ve geri kalanı da depolama için kullanılabilir. Bunun nedeni, tüm ürünlerin çapraz sevkiyat için uygun olmaması ve uygun olsa bile lojistik yöneticilerinin herhangi bir güvenlik envanteri veya çapraz taşıma kapasitesine sahip olmaması fikrine hâlâ şüphele duymalarıdır (Li ve diğerleri, 2008).

Yüksek stok taşıma maliyetleri nedeniyle tüm ürünleri dağıtım deposunda stoklamak mümkün değildir. Üreticilerden doğrudan teslimatlar tedarik zincirinde depoya olan ihtiyacı ortadan kaldırır ancak çoğu zaman müşteriye yüksek nakliye masrafları ile birden fazla teslimatla sonuçlanır. Çapraz sevkiyat, öğeleri depoya yerleştirmeden akış konsolidasyon merkezleri veya çapraz bağlantılar aracılığıyla hareket ettiren bir işlem stratejisidir. Envanteri azaltmaya ve aynı zamanda nakliyeyi sağlamlaştırmaya yardımcı olabilmektedir (Li ve diğerleri, 2008).

3.7. Çapraz Yerleştirmede Kararlar

Çapraz yerleştirme uygulayıcıları, çapraz yerleşimin tasarım ve operasyonel aşamalarında birçok kararla uğraşmak zorundadırlar. Bu kararların verim üzerinde ciddi bir etkisi olabilir. Literatürde çeşitli karar problemleri incelenmiştir. Bu kararlardan bazıları uzun vadeli (stratejik veya taktiksel) etkilerle ilgili kararlar konusıyla ilgilenirken diğerleri kısa vadeli kararlarla (operasyonel) ilgilenmektedir.

Önceki araştırmalar temel olarak çapraz bağlamada aşağıdaki karar düzeylerinden birini araştırmaktadır: Kısa vadeli planlama ufkunu (operasyonel), ara vadeli planlama ufkunu ve uzun vadeli planlama ufkunu (stratejik veya taktik) ele alan karar problemleri. Çapraz yerleştirmenin etkin çalışması ve yönetimi kısa vadeli planlamadaki bazı kararlara dayanmaktadır. Bu planlama günlük veya haftalık operasyonel kararları içerir. Bu stratejik düzeydeki araştırmalar; kamyon planlaması (çizelgelemesi) problemi, kamyonların kapılara tahsisi, çapraz yerleşimde yükleri yönetmeye odaklanan ve çeşitli tedarikçilerden gelmeden önce onları çeşitli araçlardan toplayan araç rotalama problemi ve yüklerin birleştirilmesinden sonra birden fazla hedefe teslim etme, geçici depolama alanı gibi farklı problem alanlarındaki gruplandırmalardır. Çapraz yerleştirme için diğer problemler; ürün tahsisi, ulaştırma problemi, kaynakların planlanması ve malların yüklenmesi ve boşaltılması için stratejiler olabilir.

Bu bölümde, çapraz yerleştirme problemleri ile ilgili mevcut literatür gözden geçirilmiştir. Literatür taraması, temel planlama sürecine göre yapılandırılmıştır. Stratejik kararlar üzerine yapılan araştırmalar, çapraz yerleştirme ve yerleşim tasarımının yerine odaklanmaktadır. Çapraz sevkiyat, tedarik zinciri ağının tek başına bir parçası olabilir veya daha fazla bağlantı ile birleştirilebilir. Önce rıhtımların yeri ve yerleşim düzeni tasarımı gibi stratejik kararlar açıklanmaktadır. Ardından, çapraz sevkiyat ağlarındaki taktik sorunla ilgili makaleler incelenmiştir. Son olarak araç rotalama problemi, kamyonların kapıya atanması ve kamyon planlaması problemi, geçici depolama alanı gibi operasyonel kararlar açıklanmıştır.

3.7.1. Stratejik kararlar

Stratejik kararlar, çapraz sevkiyatın ömrü üzerinde güçlü bir etkiye sahip uzun vadeli kararlardır. Bunlar genellikle yönetim kurulunun sorumluluğundadır. Bu kısımda, rıhtımların konumunun stratejik değerlendirmesi ve en iyi yerleşim tasarımının tespit edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar açıklanmaktadır. Yeni bir çapraz yerleştirme sistemi tasarlarken yapılacak stratejik kararların örnekleri şunlardır:

Çapraz sevkiyatın yeri: Platformun coğrafi olarak ve tedarikçiler, müşteriler ve diğer platformlar ağı içinde yeridir. Mevzuat, sosyal konular ve yol erişiminden etkilenen seçim, ağdaki diğer faktörlerin durumuna bağlıdır. Tesis yeri çoğunlukla nakliye masraflarını

veya süreyi en aza indirmek için yaygın olarak çalışılan bir sorundur. Eğer geçici depolamaya izin verilmiyorsa veya ağ içinde en uygun mal akışı (aktarma ile) en iyi yeri belirlemede kullanılırsa tesis yeri problemleri çapraz yerleştirmeye özgü hale gelir. Çapraz yerleştirme konum problemleri ile ilgili makalelerin gözden geçirilmesi Belle ve diğerleri (2012)'nin çalışmasında yapılmıştır.

Şirketler, bir dağıtım ağının tasarımındaki ilk adımlarında çapraz bağlantıların konumuna karar vermek zorundadır. Dağıtım ağının tasarımı, bir ya da daha fazla karşılıklı yerleştirmenin (cross-docks) yerini tespit etmeyi ve bunların konumlarına ilişkin stratejik bir karar vermeyi gerektirir. Çapraz rıhtım yerleştirme problemi, son yıllarda daha çok dikkat çekmektedir. Çapraz rıhtımların yeri ile ilgili ilk çalışmalar, Sung ve Song (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ağ tasarımı problemini incelerken, çapraz yerleştirme merkezlerinin yerini ve ayrıca nakliye hizmetleri için kamyonların tahsisini düşünmüşlerdir. Yükler bir çapraz iskele ile üretimden nihai varış yerlerine taşınmaktadır ve doğrudan taşımalar dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada taleplerin bilindiği varsayılmıştır ayrıca araçların tahsisi, araç kapasitesi ve hizmet süresi kısıtlaması dikkate alınmıştır. Sung ve Song (2003) konum problemini tamsayı programlama modeli ile çözmüşlerdir. Bu araştırmanın amacı, en iyi dağıtımın bulunarak çapraz sevkiyat yerleştirme maliyetini ve kamyon tahsis maliyetini en aza indirmektir. Model için bir tabu arama algoritması önerilmiştir. 2008 yılında Sung ve Yang, 2003 yılında yaptıkları çalışmalarını genişletmişlerdir ve geliştirilmiş bir tabu araması önermişlerdir. Bir dal ve fiyat yöntemini ve aynı zamanda problemin kesin bir algoritma formülasyonu da modellemişlerdir.

Gümüş ve Bookbinder (2004) birden fazla ürün çeşidini göz önünde bulundurarak, Sung ve Song (2003) ile benzer bir problem üzerinde çalışmışlardır. Araştırmanın amacı, toplam maliyeti en aza indirmektir. Hem imalatçılarda hem de rıhtımlarda olası bir birleştirmeyi düşünmüşlerdir. Aynı zamanda birden fazla ürün çeşiti için çapraz sevkiyat maliyetleri ve transit envanter maliyetlerini de araştırmışlardır. Ağ tasarımı problemini çözmek için doğrusal programlama modeli önermişlerdir.

Chen ve diğerleri (2006)'nin modelinde amaç, ulaşım ve stok maliyetini en aza indirmektir. Doğrusal programlama, tabu arama ve tavlama benzetimini uygulamışlardır.

Sung ve Song ile (2003) benzer bir ulaşım problemi Musa, Arnaout ve Jung (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. Doğrudan sevkiyatı da göz önünde bulundurarak, kamyonların yükleme ve rotalama için en iyi yolu bularak toplam nakliye maliyetlerini minimize etmeleri amaçlanmıştır. Çapraz yerleştirme problemini incelemek için çapraz yerleştirme stokastik benzetim modeli önerilmiştir.

Jayaraman ve Ross (2003); Bachlaus, Pandey, Mahajan, Shankar ve Tiwari (2008); Ross ve Jayaraman (2008) çok ürünlü dağıtım ağı tasarım problemini düşünmüşlerdir. Bu ürünlerde (birden fazla ürün ailelerinden) malların merkezi üretim tesisinden farklı dağıtım merkezlerine taşınması ve buradan da çapraz sevkiyat yoluyla müşterilere ulaştırılması gerekir. Bu sorun iki aşamada çözülmüş; ilk aşamada dağıtım merkezleri ve çapraz sevkiyatların konumlandırılmasına, ikinci aşamada tesisden dağıtım merkezlerine taşınması gereken ürün ailesine odaklanmışlardır.

Jayaraman ve Ross (2003) yüklerin tedarikçiden dağıtım merkezlerine taşındığı ve daha sonra çapraz yerleştirmelerden son varış yerlerine gönderildiği bir model önermişlerdir. Çalışmalarının amacı toplam maliyeti en aza indirmektir. Tavlama benzetimi yaklaşımı önermişlerdir.

Bachlaus ve arkadaşları (2008) çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı tasarlamayı amaçlamışlardır. Burada tasarlanan tasarım ağı; tedarikçiler, tesisler, dağıtım merkezleri, çapraz bağlantılar ve müşteri bölgeleri dahil olmak üzere beş çeşit tedarik zincirine hitap etmektedir. Problem, maliyeti (sabit ve değişken) en aza indirmeyi ve tesis esnekliğini ve hacim esnekliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan çok amaçlı bir eniyileme modeli olarak matematiksel olarak formüle edilmiştir. Problemi çözmek için, deneylerin istatistiksel tasarımının özelliklerini ve rastgele arama tekniklerini içeren yeni bir algoritma önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen çözüm yönteminin problemi çözmek için etkili bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

Ross ve Jayaraman (2008), tedarik zinciri ağ tasarımında rıhtımların ve dağıtımın yeri için yeni sezgisel çözüm yöntemlerinin değerlendirilmesini ele almışlardır. Model; birden fazla ürün ailesi, bir merkezi üretim tesisi, çoklu çapraz yerleştirme ve dağıtım merkezi alanları ve çeşitli malların çoklu birimlerine ihtiyaç duyan perakende satış noktaları ile karakterize edilmiştir. Çalışmalarında, tavlama benzetimi yöntemi kullanmıştır. Ayrıca tedarik zinciri

ağ tasarımı ve konum problemi için genetik algoritma, tavlama benzetimi ve tabu arama ile bütünleşmesi önerilmiştir.

Yerleşim tasarımı: Yerleşim; iç kesişme alanlarının boyutları, şekli ve bunların düzenlenmesinin yanı sıra çapraz sevkiyatın boyut ve şekli olarak yorumlanmaktadır (Belle ve diğerleri, 2012). Bir terminalin düzenini değiştirmek, yeni sistemlere veya işçi eğitimine yatırım yapmadan işçilik maliyetlerini azaltmanın basit bir yoludur. Faydalar etkisini hemen göstermektedir. Çünkü işçiler çapraz sevkiyat alanına girdikleri an malzeme taşıma için daha az zaman harcarlar. Ve yük taşıma pahalı olduğu için, terminallerdeki işçilik maliyetinde küçük bir azalma bile kâr üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir (Bartholdi ve Gue, 2000).

Çapraz iskelenin etkinliğini ve operasyonel başarısını etkileyen bir faktör; tesis tasarımı, özellikle şekli ve büyüklüğüdür. Birçok literatür iyi bir yerleşimin çapraz yerleştirme terminalindeki operasyonu önemli ölçüde etkileyebileceğine inanır. Çapraz iskelenin yeri biliniyorsa yapılması gereken bir başka stratejik karar, çapraz iskelenin düzenini seçmektir. Bununla ilgili bir çalışma Bartholdi ve Gue (2004) tarafından yapılmıştır. Bartholdi ve Gue (2004), bir çapraz iskelenin farklı şekillerinin çapraz bağlantı performansını nasıl etkilediğini incelemiştir. Çapraz sevkiyatın şeklini ve şeklinin çapraz bağlantı performansını nasıl etkilediğine odaklanmışlardır. Çapraz yerleştirmenin şeklinin depodaki işgücü maliyetini ve seyahat süresini nasıl etkilediğine dair sezgisel deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak düzenin, tesisin büyüklüğüne ve malların modeline göre değiştiğini ortaya koymuşlardır. Sonuçlar en iyi şeklin kapıların sayısına bağlı olduğunu, 150'den daha az kapı için I şeklinde, ara için T ve 200'den fazla X'in tercih edildiğini göstermektedir. Bu sonuçları bir çapraz iskelenin köşelerinin diğer alanlardan daha az işlevsel olduğu ve köşeler arttıkça verimliliğin azaldığı varsayımına dayandırmışlardır. Bununla birlikte bir çapraz bağlantı için en iyi şeklin, onların dikkate almadıkları farklı malzeme akışı modelleri ile değişebileceğini de belirtmişlerdir. Ayrıca Bartholdi ve Gue (2004) bu araştırmanın gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır. Çünkü çapraz iskeleyi tasarlayan insanlar genellikle mimardır ve seyahat süreleri gibi performans ölçütlerine dikkat etmezler.

Heragu, Du, Mantel ve Schuur (2005) iç mekân yerleşimine odaklanmışlardır ve depodaki fonksiyonel alanlara ve her bir alanın boyutuna eniyi ürün dağılımını bulmak için bir

matematiksel model ve bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Amaç yıllık taşıma ve depolama maliyetlerini en aza indirmektir.

Hauser ve Chung (2006) çapraz yerleştirme alanındaki ekip üyelerinin iş yükünü azaltmak için rotaların düzenlenmesini planlamak üzere genetik algoritmalar kullanmıştır.

Gelen yükün geçici olarak depolanması için depolama alanının tasarımı üzerine bir çalışma Vis ve Roodbergen (2008) tarafından yapılmıştır. Depolama alanlarının yüklere kolay erişim ve yükleme rıhtımlarına yüklerin hızla taşınmasını sağlamak amacıyla tasarlanması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Vis ve Roodbergen (2008) gelen yükler için geçici depolama yerlerini belirlemek amacıyla, doğrusal programlama yoluyla çözülen minimum maliyet akışı problemini kullanmışlardır. Algoritmanın amacı, toplam hareket mesafesini en aza indirmektir. Aynı araştırmacılar, 2011'de (Vis ve Roodbergen, 2011) kontrol politikalarını seçmek ve çapraz yerleştirme tesisleri için yerleşim kurallarını belirlemek için dinamik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Çalışmalarında üç farklı yerleşim düzeninin avantajlarını ve dezavantajlarını sunmuşlardır; sabit, kategori tabanlı ve esnek. İlk ve en geleneksel olanı, depolama alanının düzenini hatırı sayılır bir süre boyunca sabitlemekten ibarettir. İkincisi, tesis içindeki faaliyet seviyesine bağlı olarak ve her biri için bir düzen tanımlayan sınırlı sayıda farklı durumu ayırt etmekten oluşur. Ardından, günün düzeni beklenen durumun türüne göre belirlenir. Önerilen üçüncü ve son düzen, düzeni yalnızca gün için beklenen etkinlik düzeyine uyarlamaktan oluşur. Araştırmacılar daha sonra rotalama politikasını, atama politikasını ve kategori tabanlı yerleşim düzenlerini değiştirerek toplam seyahat mesafelerinin toplam tasarrufunun %16'sını elde ettikleri bir örnek olay incelemesi sunmuşlardır.

Werners ve Wülfing (2010) iç nakliye maliyetlerini azaltmak için bir model üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarının amacı, bitiş noktaları ve rıhtım kapıları arasındaki hareket mesafelerini en aza indirmektir. Doğrusal atama problemi, karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir.

3.7.2. Taktik kararlar

Taktik kararlar orta vadeli kararlardır. Bunlar genellikle yönetim kurulunun sorumluluğundadır. Bu kısımda çapraz bağlantı ağları ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Çapraz bağlantı ağları: Çapraz bağlantılar mevcut olduğunda, malların talebi karşılayan arzın karşılanması ve toplam maliyetlerin en aza indirgenmesini sağlayan bir çapraz bağlantı ağı üzerinden nasıl aktarıldığına dair kararlar alınmalıdır. Bu bölümde, maliyetlerin düşürülmesi ve arzın talebe uygun hale getirilmesi için çapraz bağlantı ağları yoluyla mal akışının belirlenmesini için bazı çalışmalar ele alınmıştır. Bazı çalışmalarda, bir veya daha fazla çapraz bağlantıya sahip bir ağ göz önünde bulundurulur. Bu araştırmaların temel amacı, maliyetleri en aza indirerek mal akışını optimize etmektir.

Bir lojistik ağında bir çapraz bağlantı kullanılması, ağ tasarımı ve uygulamasında ilave hususlar gerektirir. Çapraz yükleme nakliye maliyetlerini azaltacak bir konumda olmalıdır. Diğer bir ifadeyle, platform konumunu belirlerken platformdan geçen ürünlerin akışına özellikle dikkat gösterilmelidir (Belle ve diğerleri, 2012).

Lim, Miao, Rodrigues ve Xu (2005) üretici ve son müşteri zaman pencereleriyle aktarım problemini incelemişlerdir. Geçici depolamaya izin vererek stoğu en aza indirmek amacıyla ulaştırma problemini genişletmeye odaklanmışlardır. Amaçları maliyet akışını en aza indirmektir. Amaçları, zaman penceresini ve araçların kapasite kısıtlarını karşılamalıdır. Tamsayılı Programlama modeli formüle edilmiştir. Benzer bir çalışma Chen ve arkadaşları (2006) tarafından çok ürünlü akış problemi göz önüne alınarak yapılmıştır.

Buijs, Vis ve Carlo (2014) her bir çapraz yerleştirme problemi için girdilere ve çıktılara dayalı çapraz yerleştirme araştırması için yeni bir sınıflandırma şeması sunmuşlardır. Aynı problem Miao, Fu, Fei ve Wang (2008) tarafından sorunun özel durumunu ele almasıyla geliştirilmiştir. Varış ve kalkış saatlerini bir zaman aralığı içinde sınırlandırmışlardır. Ayrıca varış ve kalkış saatlerini düzeltmişlerdir. Tamsayılı programlama modeli formüle edilmiştir. Birden fazla çapraz yerleştirmeye benzer problem Chen ve arkadaşları (2006) tarafından yapılmıştır. Tamsayı programlama modeli sorunu çözmek için formüle edilmiştir. Tavlama benzetimi, tabu arama ve her ikisinin bir birleşimi bu sorunu çözmek için uygulamışlardır.

Küçükoğlu ve Öztürk (2014), ürünlerin tedarikçiden müşterilere uzun süreli depolanmadan çapraz sevkiyat yoluyla gönderildiği çapraz sevkiyat taşıma problemini incelemişlerdir. Her bir kamyonun tam kapasitesini bulmak amacıyla, farklı boyutlu ürünler için iki boyutlu kamyon yükleme kısıtlarını düşünmüşlerdir.

3.7.3. Operasyonel kararlar

Bu bölümde, sistemde yapılacak günlük kararlara odaklanan çalışmalar açıklanmaktadır. Operasyonel kararlar; araç rotalama, rıhtım kapısı atama kamyon çizelgeleme ve geçici depolamadır.

Araç rotalama: Araç rotalama problemleri dağıtım yönetiminde büyük rol oynamaktadırlar. Ürünler çeşitli tedarikçiler tarafından toplanmakta, çapraz sevkiyat merkezinde birleştirilmekte ve sınıflandırma işlemi yapıldıktan sonra, teslimat noktası için yönlendirilmektedir. Araçların yönlendirilmesi sorununa teslim alma ve teslim etme sorunu dâhildir. Bu sorun, araştırmacıların aynı anda çapraz yerleştirme ve araç rotalama konusundaki dikkatlerini çekmektedir (Belle ve diğerleri, 2012).

Mosheiov (1998) araç rotalama problemini incelemiştir. Bu çalışmanın amacı, kapasite kısıtlı bir araç için en kısa uzunlukta turu bulmaktır.

Tzoreff, Granot, Granot ve Sosic (2002) araç rotalama problemini bir şebeke üzerinde araştırmıştır. Bu çalışmanın amacı, kapasiteli bir araç için turu en aza indirmektir. Amaç toplama, teslim alma ve araç kapasitesi kısıtlaması taleplerini yerine getirmelidir. Bu problemi çözmek için doğrusal bir zaman algoritması formüle etmişlerdir.

Lee, Jung ve Lee (2006)'nin araştırmalarının amacı, ürünlerin hem toplanması hem de sevkiyatı için en iyi araç rotalamayı bulmaktır. Bu sorunu çözmek için bir tamsayı programlama modeli formüle etmişlerdir. Ayrıca bir tabu arama algoritmasına dayanan bir sezgisel algoritma önermişlerdir.

Lee ve arkadaşları (2006) araç rotalama problemi için tabu araştırmasını uygulamıştır.

Wen, Larsen, Clausen, Cordeau ve Laporte (2008) çapraz sevkiyatta siparişleri taşımak için kullanılan homojen araçlar ile araç rotalama problemini açıklamıştır. Siparişler çapraz bağlantıda birleştirilir, ancak ara depolamaya izin vermez. Temel amaç, çapraz sevkiyat merkezlerinde zaman penceresi kısıtlamalarına ve tüm ulaştırma işleminin zaman periyoduna uyarak toplam seyahat süresini en aza indirmektir.

Liao ve diğerleri (2010)'nin çalışmasının amacı, gerekli asgari araç sayısını bulmak ayrıca ulaştırma ve operasyonel maliyetin toplamını en aza indirmektir. Bir tabu arama algoritması önermişlerdir (Amaç araçların nakliye masraflarını ve sabit maliyetlerini en aza indirmek için tüm alıcı araçların aynı anda çapraz iskeleye ulaştığını varsayarak, giden kamyonların bekleme sürelerini engellemek için her bir işlem için en uygun araç yönlendirme çizelgesini bulmaktır).

Moghadam, Ghomi ve Karimi (2014) tedarikçi, müşteriler ve çapraz sevkiyat ağında bir araç rotalama ve planlama problemi sunmuştur. Zaman aralıklarında ziyaret edilmesi gereken terminaller arasında ürünleri transfer etmek için sınırlı kapasiteye sahip bir dizi homojen aracın olduğunu varsaymışlardır.

Ahmadizar, Zeynivand ve Arkat (2015) tedarikçilere ve çapraz rıhtımlara ürün atama amacı ile çapraz yerleştirme problemini incelemiştir. Satın alma, nakliye ve stokta tutma maliyetlerinin toplam maliyetini en aza indirerek giden ve gelen araçların planlamasını eniyilemeyi amaçlamışlardır.

Rıhtım kapısı atama problemi: Çapraz yerleştirmenin en önemli sorunlarından biri, rıhtım kapısı tahsisı problemidir. Gelen ve giden araçlar için belirli kapıların tahsis edilmesini içerir; böylece çapraz sevkiyat tesisindeki ürünlerin hareket mesafesi en aza indirilir.

Çapraz sevkiyat kapı atama problemiyle ilgili çok fazla çalışma vardır, bununla birlikte her biri aslında bir kapı tahsisı probleminin nasıl çözüleceğine dair kendi çözümlerini ve metotlarını sunmaktadır. EK-1'de bu bölümde detaylandırılan kararlar tablo halinde verilmiştir.

Çapraz sevkiyatta rıhtım kapısı atama, en çok incelenen çapraz sevkiyat problemlerinden biridir. Gelen ve giden kamyonların kapılara en uygun şekilde tahsis edilmesini içerir. İyi bir atama, çapraz sevkiyatın üretkenliğini artırabilir ve taşıma maliyetlerini azaltabilir (Belle ve diğerleri, 2012).

Bu karar kısa vadeli veya orta vadeli bir planlama ile yürütülebilir. Orta dönem planlama ufkunda ele alınan kararlarda, rıhtım kapılarını yönetici atamaları düzeltir. Bu nedenle, aynı tedarikçiden gelen tüm araçlar veya aynı nihai varış yerleri ile aynı şerit veya istif

kapılara atanır. Her ne kadar kapıların sabit zamanlaması işçiler için daha kolay bir durum olsa da çapraz bağlantı esnekliğini azaltır. Çapraz bağlantı, rıhtımların sabit atamasını kullansa bile ürünlerin teslimindeki her önemli değişiklik için rıhtım kapılarının yeniden planlanması yeniden yapılmalıdır (Belle ve diğerleri, 2012).

Öte yandan, bu kamyon kapısının görevlendirilmesi kısa vadeli bir planlama ufkunda kararlaştırılabilir. Bu tür bir karar, gelen araçların varış sıraları hakkında önceden tam bilgi sahibi olmayan şirketler için uygundur. Ayrıca, her iki durumun bir birleşimine sahip olmak da mümkündür. Literatürde, bazı çalışmalar orta vadede giden araçların tahsisini ve kısa süreli ufukta gelen araçların tahsisini dikkate almaktadır (Belle ve diğerleri, 2012).

Orta vadede rıhtım kapısı atama problemini tanımlamak için en çok kullanılan matematiksel model Tsui ve Chang (1990) tarafından yapılmıştır. Kaynakların alıcı kapılarına, varış yerlerinin nakliye kapılarına atandığı bir model geliştirmiştir. Araştırmacıların amacı, forkliftlerin toplam seyahat mesafesini en aza indirmek ve programlamaya dayalı bir mikrobilgisayar aracı kullanmaktır. Her bir kaynak ve hedefin sırasıyla bir gelen veya giden kapısına atanabileceğini varsayarlar. Atama problemi önce kaynakların alıcı kapılara sabitlenmesini ve daha sonra nakliye kapılarına en uygun yer tayinini tespit ederek çözülür. İkinci adımda, sonuçta ortaya çıkan bu görev (gönderim kapılarına en uygun yer tayinini) kaynakların kapılarının atanması için temel olarak kullanılır. Bu adımlar dönüşüm gerçekleşene kadar tekrarlanır. Daha sonra, Tsui ve Chang (1992) aynı modeli bir dal ve sınır algoritmasıyla çözerek çalışmalarını genişletmişlerdir. Atama problemine sezgisel bir çözüm ile bilineer programlama problemi formüle etmişlerdir. Kamyonların ataması yerine çapraz sevkiyat kapılarına kaynak ve teslimat yerlerini atamışlardır ve modeli forkliftlerin belirtilen yükü gelen rıhtımdan giden rıhtımlara taşıyacak şekilde yapmak zorunda oldukları yolların sayısını ve bu yola karşılık gelen mesafeleri asgariye indirecek şekilde oluşturmuşlardır.

Aickelin ve Adewunmi (2006) yaptıkları çalışmada kapı tahsisini daha iyi anlayabilmek amacıyla, çapraz yerleştirme kapı tahsisi probleminin benzetimini ve benzetim sonuçlarını eniyilemeyi içeren iki aşamalı bir çözüm önermiştir. Benzetim; çapraz sevkiyat tesisinin yerleşim şekli, alıcı ve nakliye kapılarının sayısı, römork planlanması, yük akışı ve karışım üzerinde parametre değişikliklerini dikkate alarak kontrollü bir ortamda gerçek performansı tahmin etmek için çapraz sevkiyat tesisi performansını taklit etmelidir.

Benzetim modellerinin eniyilenmesi, ihtiyaç duyulan karar değişkenine sahip bu modeller için eniyi çözüm arayışı olarak düşünülür. Modellemeleri için kullandıkları yöntemler, eniyileme kısmı için benzetim ve memetik (taklitçi) algoritma için genetik algoritmadır. Modelleme sonucu, kapı tahsis problemi problemini çözmek için yeni bir yöntem önermişlerdir.

Bermudez ve Cole (2001) toplam seyahat mesafesini en aza indirmek için bir genetik algoritma önermişlerdir. Kapılar gelen veya giden kamyonlar için özel olarak atanmamıştır.

Cohen ve Keren (2008) ve Cohen ve Keren (2009), Tsui ve Chang (1992)'ın aynı zamanda çok sayıda kaynak ya da varış yeri olarak atanmış kapıların kullanılamaması durumunda olan modelini değiştirmişlerdir (çoklu nakliye kapılarının aynı hedefe atanması durumu mümkündür). Hem kamyonlar hem de kapılar için kapasiteler getirmişlerdir. Tüm kamyonlar tüm varış noktaları için belirli miktarda yük içerir ve buradaki amaç, alıcı kapıları ve yükleri nakliye kapılarına teslim etmek için gelen römorkları atamaktır. Gelen kamyonların atanması kısa vadede yapılırken, varış yerleri orta vadede atanır. Son olarak I şekilli çapraz-iskelenin bir tarafında gelen kapılardan oluşan, diğer tarafından giden kapılarından oluşan özel bir kapı tahsisini de varsayarlar. Cohen ve Keren (2008) ayrıca Tsui ve Chang (1990)'ın çalışmalarını, giden kamyonların kapasitesini hesaba katarak ve bunu çözmek için sezgisel bir algoritma önererek genişletmişlerdir. Araştırmacılar daha sonra önerilen sezgiseli, Tsui ve Chang atama sezgiseli ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, seyahat edilen toplam mesafe içinde ortalama %5'lik bir ortalama tasarruf göstermektedir.

Bartholdi ve Gue (2000) eniyi düzeni bulmak amacıyla sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Düzeni, kapıların şerit veya yığın olarak belirtilmesi ve hedeflerin kapılara istif olarak atanması ve gelen kamyonların ilk gelene göre sıralanması ilkesine göre boşaltıldığını varsaymışlardır. Araştırmacılar, gelen kamyonların kısa vadede atamaları gerçekleşirken, varış noktalarının (hedeflerin) orta vadede atamalarını incelemişlerdir. Araştırmacılar, seyahat mesafesinin eniyi düzeni belirlemek için doğru bir ölçü olmadığını düşündüklerinden, problemi toplam işgücü maliyetlerini en aza indiren nesnel bir işlev kullanarak modellemişlerdir. Amaç, hem seyahat masraflarını (seyahat süresine göre) hem de tıkanıklık maliyetlerini (tıkanmadan dolayı bekleme sürelerine dayanarak) içeren

toplam işgücü maliyetlerini en aza indirmektir. Son olarak, atama problemini çözmek için sırayla kamyon çiftlerini değiştiren bir simüle tavlama yöntemi kullanmışlardır. Mevcut bir çapraz iskele kullanmışlardır ve sonuçlara dayanarak, %12'lik bir işgücü verimliliği artışı gözlemlemişlerdir, ayrıca verimli düzenler için bazı kurallar önermişlerdir.

Gue (1999), Bartholdi ve Gue (2000) ile aynı yerleşim düzenini kullanmışlardır; ancak Bartholdi ve Gue (2000)'nin modelindeki kapılar arası yük akışının bilinmesi ve bunun yerleşimden bağımsız olmasını yerine bunun tam tersini varsaymışlardır. Gelen römorklar çapraz iskelede bekleyen kamyonların içeriğine ve kapıların bulunduğu yere göre belirlenirse, malzeme akışları tesisin yerleşimine/düzenine bağlıdır. Gue (1999) ileriye dönük bir algoritma önermiştir. Araştırmacı, çapraz sevkiyat operatörlerinin gönderilerin varış yerleri ile ilgili bilgilere dayanarak kapılar için gelen treylerleri tahsis etme kabiliyetini sağladığını belirtmektedir (Gue, 1999). Benzetim kullanarak çözümleri test etmiştir. Buna göre işgücü maliyetlerinde %15–20 kazanç sağlanmıştır.

Oh, Hwang, Cha ve Lee (2006) bir posta dağıtım merkezindeki atama problemini çalışmaktadır. Kapılar (ve ilgili varış yerleri) gruplar halinde kümelemiştir. Amaç, toplam seyahat mesafesini en aza indirmek için, hedeflerin kapılara atamasını ve hedef gruplarının kümelenmesini bulmaktır. Araştırmacılar, problemin doğrusal olmayan bir programlama modelini sunmuşlardır ve onu çözmek için iki sezgisel yöntem önermişlerdir. Sonuçlar, seyahat mesafesinin sırasıyla %13 ve %9'unu azaltmaktadır.

Lim, Ma ve Miao (2006) ve Miao, Lim ve Ma (2009) çapraz yükleme kapasitesini ve zaman penceresi kısıtlarını dikkate alarak bir model kurmuşlardır. İlk çalışmada amaç, seyahat mesafesini en aza indirmektir. İkincisinde ise amaç, toplam maliyeti (işlem maliyeti ve yerine getirilmemiş talebin ceza maliyeti) minimize etmektir. Problem, tamsayı programlama modeli olarak modellenmiştir ve modeli çözmek için bir genetik algoritma ve bir tabu arama algoritması kullanılmıştır.

Bozer ve Carlo (2008) yük akışlarındaki günlük değişimlerin performansa etkilerini dikkate alarak Bartholdi ve Gue (2000) ve Gue (1999) tarafından yapılan çalışmaları genişletmiştir. Araştırmacılar dinamik bir model (günlük yük şerit ve istif kapılarına ayrıntılı yük akış bilgilerini kullanan model) düşünmektedir. İlk olarak, her bir giden kapıya gelen römorktan eniyi atamayı belirlemek için bir doğrusal atama problemi çözülür.

Yöntem birkaç kez tekrarlanır ve her bir çözümün hareket mesafeleri toplanır, bu da en uygun giden atamayı bulmayı sağlar. Ardından, gelen araçların kısa süreli tahsisini belirlemek için doğrusal atama problemi tekrar çözülür. Dinamik model için, araştırmacılar problemi doğrusal mesafelerle bir karesel atama problemi (QAP) olarak modellemişlerdir ve bir MIP formülasyonu sunmuşlardır ancak daha iyi çözüm sağladığından daha büyük problemleri çözmek için tavlama benzetimini kullanmayı önermişlerdir. Sonuçlar ayrıca dinamik bir düzenin bir yarı kalıcı yapıdan daha iyi çözümler sağladığını da öne sürmektedir.

Yu ve diğerleri (2008), Bozer ve Carlo (2008)'nin problemine benzer bir problem üzerinde çalışmışlardır. Yu ve diğerleri (2008) yarı kalıcı bir düzen düşünmüşlerdir. Araştırmacılar, gelen kamyonların ve giden kamyonların kısa vadede tahsis edildiğini varsaymışlardır. Gelen bir kamyonun gerçek içeriği hakkındaki verileri kullanarak, yükü birleştirmek için gereken toplam seyahat süresine göre kamyonlara kapı tahsis eden bir politika önermişlerdir. Birden çok gelen kapı uygun durumda olduğunda, gelen kamyon en az insan saatinin gerekli olduğu kapıda boşaltılır. Tüm kapılar dolu ise, gelen arac geçici olarak park etmek üzere avluya gönderilir ve kapı boşalırsa o zaman park edilmiş treylerlerden hangisinin kapıya atanacağına karar verilir. Araştırmacılar başlangıç ve hedef noktası çiftleri arasındaki ortalama hacimlere dayanan deterministik bir model kullanmak yerine, hedefleri atamak için senaryo tabanlı stokastik bir model önermişlerdir. Her bir istif kapısına en fazla bir hedef tahsis edilir ve amaç günlük yükü birleştirme için harcanan beklenen insan saatini en aza indirmektir. Bu hedef kapı tahsisi problemi, yerel bir arama sezgiseli ve bir genetik algoritma tarafından çözülmüştür ve sonuçlar mevcut uygulama ile karşılaştırıldığında seyahat süresinde %20'lik bir azalma göstermektedir.

Stephan ve Boysen (2011) iki kapı atama politikasını karşılaştırmışlardır: özel ve karışık. Hedef atama problemini modelledikten ve sistematik olarak farklı düzen/yerleşim karakteristiklerini değiştirdikten sonra (bu nedenle binlerce farklı test örneği oluşturmaktadırlar) bu hedef atama problemini, iki düzen-politikası için de sezgisel tavlama benzetimiyle çözmüşlerdir. Sonuçlar, özel servis modunun çoğu durumda, gelen yükler hakkındaki bilgilerin eksik olduğu durumlar haricinde, daha az etkin olduğunu göstermektedir.

Chmielewski, Naujoks, Janas ve Clausen (2009) ve Luo ve Noble (2012) 'in çalışmaları, rıhtım kapı atama problemini çapraz yerleştirme planlaması/çizelgelemesi ile birleştirmiştir. İlk çalışmada hedef, varış noktalarına istif kapılarını (nakliye kapılarını) atamak ve gelen kamyonlar için bir plan/çizelge belirlemektir. Araştırmacılar, toplam seyahat mesafesini ve gelen araçların bekleme süresini en aza indirmeye çalışırken iç kapasite sınırlarını dikkate almışlardır. Problem, çok yönlü akış problemi olarak modellenmiştir ve iki algoritma kullanılarak çözülmüştür. Luo ve Noble (2012) ise, alıcı kapılarının orijinlere (kaynaklara) atanması ve varış kapılarına hedef noktaların atanmasının yanı sıra giden araçların kalkış saatlerini belirler. Amaç, giden kamyon kullanımı ve çapraz bağlantıda yük bekleme süresi arasındaki dengeyi optimize eden bir model geliştirmektir. Araştırmacılar, gelen araçlar için varış zamanı dağılımının bilinmekte olduğunu ve gelen araçların önceden belirlenmiş olan orijinlerine göre şerit kapısına doğrudan atandıklarını varsayarlar. Seçilen çözüm yöntemleri LINGO çözücü ve genetik algoritmadır (daha büyük problemler için). Sonuçlara dayanarak, araştırmacılar genel lojistik sistemini bir bütün olarak düşünmenin önemini hatırlatmıştır ve sadece çapraz bağlantı dağıtım merkezinden değil, aynı zamanda kargo birleştirme operasyonlarının akış profili, varış zamanı ve mevcut zaman gibi birçok faktörden etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Yukarıda belirtildiği gibi, iyi bir atama çapraz yerleştirme tesisinin performansını ciddi şekilde etkileyebilir. Rıhtım içerisindeki gecikmeler azaltılabilir, gelen malların giden kamyonlara taşınması için gereken süre minimize edilebilir ve operasyonel işlem ve taşıma maliyetleri kontrol edilebilir. Ana amaç, çapraz sevkiyat merkezinde malzemelerin taşındığı toplam mesafenin en aza indirilmesi için gelen ve giden kapılarının en uygun şekilde düzenlenmesi ve kamyonların bu kapılara etkin şekilde tahsis edilmesidir (Gue, 1999). Atama kısa vadeli veya orta vadeli bir ufukta yapılabilir (Boysen ve Fliedner, 2010). Orta vadede, kaynak ve varış yerleri kapılara daha uzun bir süre için atanırlar, örn. 6 ay için aynı kaynaktan gelen veya aynı yere giden tüm kamyonlar aynı kapıya tahsis edilir. Orta vadeli atama, tesisin esnekliğini sınırlar ancak hangi kapı yüklerinin transfer edilmesi gerektiğini tam olarak bildiğinden işçilerin iş yükünü kolaylaştırır. Gönderim modeli önemli ölçüde değiştiğinde tabiki yeniden atama yapılabilir. Gelen kamyonlar hakkında yeterli bilgi varsa, atama kısa vadede yapılabilir. Kaynak ve varış yerleri bilindiğinde, kamyonlar gerçek yük akışına göre kapılara atanırlar. Bu da tabiki daha karmaşık bir çalışma ortamı ile sonuçlanır.

Gelen ve giden treylerin/araçların geldiği anda, çapraz yerleştirme organizatörü hangi iskele kapısının tahsis edileceğine karar vermelidir. Yükler, gelen platformlardan geçici depolama alanına ve daha sonra giden platformlara veya doğrudan gelen platformlardan ve gidenlere kadar forklift tarafından taşınır. Bazı çalışmalarda, rıhtım kapılarının sayısının kamyon kadar olmadığı göz önünde bulundurulduğundan rıhtım kapıları için planlama yapılması gerekmektedir.

Kamyon çizelgeleme problemi: Rıhtım kapı tahsisi (atama) problemi, zamansal kısıtlamaları veya aynı kapıya birden çok kamyonun sıralı olarak atanması durumunu dikkate almamaktadır. Bu faktörleri dahil etmek için, bir çapraz iskelenin rıhtım kapılarında kamyonların sıralanması ile ilgili kararlar ile ilgilenen kamyon çizelgeleme problemi üzerine bir inceleme sunulmaktadır. EK-2’de bu bölümde detaylandırılan kararlar tablo halinde verilmiştir.

Gelen kamyonlardan daha az kapı olduğunda ve bir kapının sıralı olarak bir kamyonu atanması gerektiğinde çizelgeleme yapılması gerekmektedir. Böyle bir sorun, genellikle rıhtım kapı tahsisi yerine çizelgeleme olarak adlandırılır. Bazı araştırmacılar, gelen ve giden kamyonlar için tek bir kapı tahsis ederek çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Uygun kamyon sırasının belirlenmesi; iyi ürün akışı, en kısa işlem süresi ve en az toplam maliyet sağlar.

Gelen ve giden kamyonlar için daha gerçekçi bir durum olan birden fazla kapı ile çizelgeleme üzerine çalışan araştırmacılar vardır. Ancak bunların çoğu, giden kamyonların orta vadede tahsis edildiğini ve bunların yönetimi kolaylaştırdığını düşünmüşlerdir. Bu nedenle, bu araştırmalar sadece alıcı kapılar için kamyonların planlanması ile ilgilenir. Rıhtım kapısı atama problemi, çizelgeleme probleminin bir parçasıdır. Atama probleminde kamyonlardan kapıya atamalar düşünülürken, çizelgeleme probleminde kamyonlar kapıları kaynak olarak kullanmaktadırlar. Boysen ve Flidner (2010) deterministik kamyon planlamasının/çizelgelemesinin bir sınıflandırmasını sunmuşlardır. Bu bölümde, bu sınıflamanın yardımıyla mevcut literatür gözden geçirilmiştir.

Belle ve diğerleri (2012) çapraz yerleştirmeyi çok faydalı bir şekilde tanımlamaktadır: gelen araçlardan yükün boşaltıldığı ve (hemen hemen) doğrudan giden taşıtlara yüklendiği bir lojistik stratejidir. Ancak mükemmel bir uyum elde etmek zordur. Çapraz sevkiyat, çok

az taşıma ile ve malların boşaltılması ve yüklenmesi arasında çok az veya hiç stok olmadan aynı varış noktası ile yükün birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Belle ve diğerleri (2012) tarafından incelenen çalışmaların %85'inden fazlası 2004'ten itibaren yayınlanmıştır.

Literatürde çizelgeleme problemini ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Bazıları, tek bir alıcı ve nakliye kapısına sahip bir çapraz bağlantı üzerinde çalışmaktadır. Bu makalelerde kamyon çizelgeleme problemi, gelen ve giden römorkların sıralamasına odaklanmaktadır.

McWilliams, Stanfield ve Geiger (2005) koli teslim endüstrisinde kamyon çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Aynı büyüklükteki ürünlerle ilgili sorunu araştırmaktadırlar. Bu çalışma koli teslim endüstrisinde yük birleştirme terminallerine odaklanmaktadır. Amaç, aktarma işleminin zamanını en aza indirmek için römorkları istif kapılarına en iyi şekilde planlamaktır. Yeni çözümler aramaya yönelmek için genetik algoritma kullanan benzetim tabanlı bir programlama algoritması önerilmiştir.

Lim ve diğerleri (2006) çizelgeleme için tamsayı programlama modeline çözümler bulmak için CPLEX çözücüyü kullanmıştır. Model, hem gelen hem de giden kamyonlar için çizelgelemeyi önermektedir ve CPLEX çözücüsünün iyi performans gösterdiğini ancak daha büyük problemler için daha yavaş ve mümkün olmadığını göstermiştir. Problem ilk önce bir tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir, sonra tabu algoritması önermişlerdir.

Boysen, Flidner ve Scholl (2008) kamyonların bölünen zaman dilimlerinde tam olarak yükleneceğini veya boşaltılacağını varsaymıştır. Böyle bir durum için bir eniyileme modeli sunmuşlardır. Modellerinin amacı, gelen gelen ve giden kapılar arasındaki seyahat süresine bağlı olarak gecikmiş gönderilerin sayısını en aza indirmek için gelen kamyonları planlamaktır.

Shakeri ve diğerleri (2008) kamyon kapı sorunu için, kamyon atama ve çizelgeleme problemini incelemiştir. Amaç, tamamlanma zamanını en aza indirmektir. Bu problemi çözmek için karma tamsayılı programlama modeli formüle edilmiştir.

Yu ve Egbelu (2008) kamyon planlaması problemini incelemişler ve tek kapılı çapraz yerleştirmeyi düşünmüşlerdir. Amaç, tamamlanma zamanını en aza indirmek için gelen ve giden araçların eniyi çizelgeleme sırasını bulmaktır. Küçük ölçekli örnekler için matematiksel model uygulanmıştır. Büyük ölçekli örnekler için bir sezgisel algoritma da uygulamışlardır.

Wang ve Regan (2008) kamyon çizelgeleme probleminde çapraz sevkiyattan geçen yükün harcadığı zamanın en aza indirilmesini amaçlamışlardır. Farklı stratejileri karşılaştırmak için dinamik benzetim modelleri önerilmiştir. Çalışmalarında dört politikayı karşılaştırmışlardır ve araç girişleri seyrek olduğunda hiçbir farklılık göstermediği sonucuna varmışlardır. Bu politikaların sadece gelen kamyonların kapılara tahsis edilmesi problemini çözdüğünü, dışarıya giden araçların nakliye kapılarına tahsis edilmesinde veya karışık servis modunun kullanılmasında literatürün eksikliğini ortaya çıkardığını belirtmişlerdir.

Chen ve Lee (2009) iki makineli bir akış yöntemi ile kamyon çizelgeleme problemini çalışmışlardır (Problem, bir önceki makine görevlerinin tamamlanmasından önce giden kamyon görevinin işlenemeyeceği bir kısıtlama ile iki makineli bir akış noktası problemi olarak modellenmiştir). Bu çalışmanın amacı, tamamlanma zamanını en aza indirmek için en uygun gelen ve giden araç serilerini bulmaktır. Depolama kapasitesinin sonsuz olduğunu ve tüm araçların başlangıç zamanında hazır olduğunu varsaymışlardır. Sorunu çözmek için bir dal ve sınır algoritması uygulamışlardır.

Chen ve Song (2009) bu problemi iki seviyeli hibrit bir kamyon çizelgeleme problemine kadar genişletmiştir. Çalışmalarının amacı tamamlanma zamanını en aza indirmektir. Aynı anda birden fazla kamyonun yüklenmesine veya boşaltılmasına olanak tanıyan bu problemi, paralel makine problemi olarak genişletmişlerdir. Küçük boyutlu problemler için karışık tamsayılı programlama önermişlerdir. Ayrıca büyük ölçekli problemleri çözmek için farklı sezgisel yöntemler uygulamışlardır.

Maknoon, Baptiste ve Kone (2009) platformun içindeki ürün hareketlerinin önemini göz önünde bulundurarak kamyon çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Amaç doğrudan aktarılan ürün akışını maksimize etmektir. Bu problemi çözmek için dinamik programlama ve sezgisel yaklaşım önerilmiştir.

Rosales, Fry ve Radhakrishnan (2009) gelen kamyonların çizelgelenmesini incelemişlerdir. Karışık tamsayılı doğrusal programlama formüle edilmiştir. Amaçları, işletme maliyetini en aza indirmek için gelen araçların kapılara en uygun şekilde tahsis edilmesini sağlamaktır.

Gelen ve giden araçların çizelgelemesi problemini araştıran pek çok makale vardır. Lim ve diğerleri (2006) sabit bir zaman aralığında ürünlerin yüklendiğini ve boşaltıldığını varsayarak, kamyonun çizelgelemesini inceler. Bu problemi çözmek için tamsayılı programlama formüle edilmiştir. Amaç, toplam taşıma mesafelerini en aza indirmektir. Bu sorunu çözmek için bir tabu arama ve bir genetik algoritma da uygulanmıştır. Bu yaklaşım Miao ve diğerleri (2009) tarafından genişletilmiştir. Rıhtım kapıları arasındaki seyahat süresini dikkate almışlardır. Amaç operasyonel maliyeti en aza indirmektir.

Arabani, Ghomi ve Zandieh (2010) tam zamanında üretim ilkesine göre kamyon programlama problemini incelemişlerdir. Amaç, araçların erken gelme ve geç kalma durumlarını en aza indirmektir. Bu problemi çözmek için bazı metasezgiseller uygulanmıştır.

Boysen (2010) kamyon çizelgeleme problemini incelerken, depo içindeki depolama kapasitesinin sıfır olduğunu varsaymıştır. Amaç; işlem sürelerini, akış sürelerini ve giden araçların gecikmelerini en aza indirmektir. Bu problemi çözmek için dinamik programlama ve tavlama benzetimi yöntemlerini kullanmıştır.

Boysen ve Flidner (2010) kamyon planlaması probleminde, gelen ve giden çizelgeyi ayrı ayrı düzeltmişlerdir. Hedef, ertesi güne kadar gecikmiş ürünlerin ağırlıklandırılmış sayısını azaltmaktır. Tamsayılı programlama modeli uygulanmıştır. Çapraz bağlantıyı bir kapı çapraz bağlantısına kadar basitleştirmişlerdir. Gelen araçların dizilerini sabitlemek ve en iyi giden araç dizilerini belirlemek ve bunun tersi olmak üzere iki alt problemle bir ayrıştırma yaklaşımı önermişlerdir.

Forouharfard ve Zandieh (2010)'in çalışmalarında amaç, depolama alanından geçen toplam yük sayısını en aza indirmektir. Bu sorunu çözmek için rekabetçi algoritma yaklaşımını önermişlerdir.

McWilliams (2010) ayrıştırma yaklaşımı önermiştir. Çalışmanın amacı, tıkanıklığı ve dolayısıyla zaman dilimini en aza indirmektir (Transfer işlemi emek yoğun olduğu için kolilerin transferi, transfer işleminin zaman dilimini en aza indirecek şekilde yapılmalıdır). Bir dizi gelen kamyonun planlanmasından oluşan birleşik eniyileme problemidir. Bu problemi çözmek için yerel arama ve tavlama benzetimi uygulamışlardır. Sonuçları mevcut bir genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmaları ile önceki çalışmalarını (McWilliams, Stanfield ve Geiger, 2005) genişletmişlerdir.

Vahdani ve Zandieh (2010) geçici depolama ile kamyon çizelgeleme problemini incelemiştir. Kamyon çizelgelemesi problemi için beş meta sezgisel algoritma uygulamışlardır. Amaç, toplam operasyon süresini en aza indirmektir. Başlangıç çözümü olarak, Yu ve Egbelu (2008) tarafından uygulanan sezgisel yöntemin çözümünü kullanmışlardır. Metodlar tamamlanma zamanlarına göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Küçük ölçekli örnekler için bir tamsayı programlama modeli formüle edilmiştir. Büyük ölçekli örnekler için metasezgiseller uygulanmıştır. Soltani ve Sadjadi (2010) de aynı problemi çözmek için metasezgiseller uygulamıştır.

Arabani, Ghomi ve Zandieh (2011) gelen ve giden araçlar dizilerinin en uygun planlamasını bulmak için bazı metasezgisel analizleri uygulayarak kamyon çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Amaç toplam operasyon süresini en aza indirmektir. Beş meta sezgisel algoritması uygulamışlardır.

Larbi, Alpan, Baptiste ve Penz (2011) depodaki aktarma operasyonları ile ilgili toplam maliyetleri en aza indirmek için en uygun kamyon çizelgelemesini bulmak amacıyla çapraz sevkiyat problemini incelemişlerdir. Ayrıca bir kapılı çapraz sevkiyatta, sadece giden araçların çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Amaç giden araçların en iyi zamanlamasını bularak toplam maliyet, depolama ve kesintiyi en aza indirmektir. En uygun zamanlamayı bulmak için dinamik programlama tekniğini kullanmışlardır. Daha sonra deney sonuçlarından yola çıkarken zamanlar için sınırları belirlemişlerdir.

Gelen kamyonları planlamak için uygulanacak politikalar aşağıdadır:

İlk gelen ilk servis (FCFS): Kamyonu varış sırasına göre tahsis etmektir, geleneksel bir yöntemdir.

İleri bakma: Gue (1999) tarafından geliştirilen ve gelen her treyleri işçilerin seyahat mesafesini en aza indiren kapıya atamaktan oluşan bir algoritmadır. Bu, her bir aracın içeriğinin (ve ilgili varış yerinin) daha önce bilindiğini ve ayrıca her varış yerine karşılık gelen giden araca atanan iskele kapısının bilindiğini varsayar. Çalışma, bu yöntemin ilk gelene ilk hizmete kıyasla seyahat nedeniyle işgücü maliyetlerini %15-20 oranında azaltabildiğini göstermektedir.

Minimum işlem toplam süresi: Wang ve Regan (2008) tarafından önerilen bu politikadır. Araştırmacıların “toplam işlem süresi” olarak adlandırdığı paletlerin alıcı kapıları ile nakliye kapıları arasındaki seyahat süresinin, kapılardaki bekleme süresinin en aza indirilmesi istenirken gelen römorkların içeriği hakkında tam bilgiye ihtiyaç duyulur.

Geçici depoda konumlandırılma problemi: Bu bölümde, çapraz yerleştirme ürünlerinin geçici olarak nerede saklanacağı hakkında operasyonel karar ele alınacaktır. Bu konuda literatürdeki bazı araştırmacılar, gelen ürünlerin nerede saklanacağıyla ilgili bu operasyonel problemi ele almıştır.

Sandal (2005) hangi iskele stratejisinin malların özelliklerinin ve konteyner yükleme gereksinimlerinin bir fonksiyonu olarak çapraz yerleştirme işlemi için daha uygun olduğunu belirlemiştir. Giden kamyonların en iyi şekilde yüklenmesini desteklemek için benzetim kullanmışlardır.

Gelen mallar için geçici depolama yerlerinin tespiti, böylece bu ürünlerin tesisin içindeki mesafelerinin en aza indirilmesi, Vis ve Roodbergen (2008) tarafından yapılan çalışmanın amacıdır. Ancak herhangi bir aktarma kararına bakmamışlardır. Araştırmacılar, problemi çözmek için doğrusal programlamayı kullanmışlardır ve problemi minimum maliyet problemi olarak modellemişlerdir. Tesis içerisinde yükleme ve boşaltma rıhtım kapı yerleri, hareket mesafeleri ve mevcut depolama alanını içeren bir ağ formülasyonu içeren bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem, farklı düzenleri/yerleşimleri olan ve yükleme sırasında boşaltmaya kıyasla daha yüksek zaman baskısı olan durumlar için uygulanabilir. Yapılan çeşitli deneyler yöntemin hem operasyonel hem de tasarım aşamalarında kullanılmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan buluşsal yönteme kıyasla, bu yöntem yaklaşık % 40'a varan bir farklılık göstermiştir.

Werners ve Wülfing (2010) tesisin dört bölüme ayrılmasını ve geçici depolamanın giden kamyonların kapılarına yakın olmasını ve bitiş noktaları olarak adlandırılmasını önermişlerdir. Amaç, bitiş noktaları ve rıhtım kapıları arasındaki zaman mesafelerini en aza indirmektir. Problemi, hangi uç noktanın malların depolanması için uygun olacağı ve hangi kapıda hangi kamyonun atanması gerektiğini belirleyen doğrusal bir atama problemi olarak modellemişlerdir. Model yükün nerede geçici olarak depolanması gerektiğini (hangi uç noktada) ve hangi rıhtım kapısında giden kamyonların atanması gerektiğini belirlemiştir. Sorun ayrışma yaklaşımıyla hiyerarşik ayrıştırma yaklaşımıyla çözülmüştür ve veri belirsizlikleri ile başa çıkmak ve sağlam bir çözüm bulmak için çalışmışlardır. Sonuçlar, mevcut duruma göre toplam seyahat mesafesinde değerinin %39'a azaldığını göstermektedir.

3.8. Performans Ölçütleri

Çapraz sevkiyatın performansı birçok farklı göstergeyle ölçülebilir. Performans ölçütlerini listelemek için kamyon çizelgeleme problemine odaklanan Boysen ve Fliedner (2010) tarafından belirtilen tüm hedefler, ayrıca işçilerle ve platformdaki belirli işlemler ile ilgilenen Ladier ve Alpan (2015)'in çalışması incelenmiştir.

Aşağıda performans ölçütlerini listelenmiştir:

Envanter seviyesi: Çapraz yerleştirme hedeflerinden biri envanteri azaltmak olduğu için, toplam veya stoklanan maksimum ürün gibi envanter seviyesindeki bazı göstergeleri takip etmek mantıklıdır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Çalışma saatleri: İnsan gücü, operasyonların manuel olarak yapıldığı bir lojistik platformun ilk maliyet merkezidir. Bu nedenle, planlama ufku içindeki işlemleri tamamlamak için kullanılan toplam çalışma saati önemli bir göstergedir (Ladier ve Alpan, 2015).

Seyahat mesafesi: Çalışma saatleri, platform içindeki tüm ürünlerin kat ettiği toplam mesafeye yakından bağlanabilir. Aşılması gereken daha uzun bir mesafe bir işçinin görevini tamamlaması için daha uzun bir zaman gerektirir (Ladier ve Alpan, 2015).

Tıkanıklık/yoğunluk: Hareket mesafesinin en aza indirilmesi aynı alanda tüm yükleme ve boşaltma görevlerinin gruplandırılmasına yol açabilir, bu da tıkanıklık yaratır ve genel olarak süreci yavaşlatır. Tıkanıklığı ölçmenin kolay bir yolu yoktur. Ancak kullanılan toplam alanın yüzdesi vb. olası göstergelerdir (Ladier ve Alpan, 2015).

Ürünün platformda toplam kalma süresi (tamamlanma süresi): Ana hedef malların devir hızını en üst düzeye çıkarmak ise izlenecek anlamlı bir göstergedir. Tüm ürünler için platformda harcanan toplam süredir (Boysen ve Fliedner, 2010).

Toplam yükleme veya boşaltma süresi: Malların devir hızını hızlandırmak ve mümkün olan en kısa sürede kapıları serbest bırakmak için, giden kamyonlar tarafından giden limanlarda harcanan toplam süreyi en aza indirmek olası bir amaçtır. Benzer şekilde eğer gelen kapı kullanım oranı yüksekse, gelen kamyonlar tarafından gelen kapılarda harcanan toplam süre izlenecek anlamlı bir göstergedir (Ladier ve Alpan, 2015).

Kamyon gecikmesi veya erken gelmesi: Varış zamanı veya son teslim tarihleri tanımlandığında, gelen veya giden kamyonların ilkeleri veya gecikmeleri ile ilgili bir gösterge önemlidir. Bu gösterge, forkliftlerin daha erken gelmesi veya platformdan planlanandan daha erken ayrılması gerektiğindeki durumları izler çünkü boşaltmaya başlamak veya zamanında yükleme işlemini tamamlamak mümkün değildir (Boysen ve Fliedner, 2010).

Kapı kullanımı: Toplam yükleme veya boşaltma süresine yakından bağlı bir gösterge, gelen veya giden kapı kullanım oranıdır. Bu oran hangi kapıda tıkanıklık olduğunu göstermektedir (Ladier ve Alpan, 2015).

Kamyon dolum oranı: Tam kamyon yükünden daha az kalkış yapılmasına izin verilirse, yarı yerleştirme nedeniyle maliyet tasarrufunun (işçilik vb), yarı dolu kamyonlar nedeniyle artan nakliye maliyetleri veya kaçırılan siparişlerin maliyetleri ile telafi edilmesini sağlamak için kamyon dolum hızını takip etmek gerekmektedir (Ladier ve Alpan, 2015).

Dokunma sayısı: Bir paletin doğrudan gelen kamyonlardan giden kamyonlara taşınması durumunda bir kez dokunulur. Giden kapının önündeki geçici bir depolama alanında bekletildiğinde iki kez dokunulur (gelen kapıdan depoya gitmek için ve depodan giden

kamyona gitmek için). Daha karmaşık işlemler palete üç kez veya daha fazla dokunmaya neden olabilir. Her dokunuşun gereken insan gücüyle ilgili bir maliyeti vardır, bu nedenle ortalama veya toplam dokunma sayısı olası bir performans göstergesidir (Ladier ve Alpan, 2015).

Yüklenemeyen ürünler: Kamyon yükünden daha az kalkışa izin verildiğinde izlenebilecek diğer bir ölçüt kaçırılan siparişlerin sayısıdır. Yüklenemeyen ürün sayısı veya buna bağlı olarak kaybedilen karı gösterir (Ladier ve Alpan, 2015).

Planlama uzunluğu: Amaç, işlemleri olabildiğince erken bitirmekse toplam planlama uzunluğu veya tamamlanma zamanı (makespan) izlenebilir. Son işlemin (muhtemelen son kamyon yükü) tamamlandığı zaman noktasıdır (Boysen ve Fliedner, 2010).

Kesinti maliyeti: Eğer kesintilere izin verilirse, taşıtların kapıdan avluya ve arkaya taşınması için maliyet dikkate alınmalıdır (Ladier ve Alpan, 2015).

Çizelge 3.2’de Ladier ve Alpan (2015) mevcut çapraz yerleştirme uygulamalarını literatürle karşılaştırmıştır. Çalışmalarında çalışılan yönlerden biri performans ölçümleridir. Sonuçlar literatürde en çok kullanılan ölçülerin uzaklık ve tamamlanma zamanı olduğunu gösterirken, katılımcılar en önemli ölçütün çalışanların çalışma saati olduğunu düşünmektedir. Araştırmacılar, seyahat mesafesinin yönetsel bir endişe olduğunu ancak verinin her zaman erişilebilir olmadığını ve ihtiyaç duyulan işçi sayısını boşa çıkarmayacağını belirtmiştir. Ayrıca tamamlanma zamanını amaca uygun olarak kabul etmemişlerdir, çünkü günün sonu esnek olmayan kalkış saatlerine bağlıdır.

Farklı çapraz yerleştirme problemlerini çözmek için farklı performans ölçütlerinin daha fazla kullanıldığı fark edilmiştir. Örneğin; “tamamlanma zamanı” performans ölçütünü kullanan makalelerin çoğu kamyon çizelgeleme problemleri ile ilgili iken, “seyahat mesafesi” çoğunlukla kapı atama problemi ile ilgili makalelerde bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Araştırmanın endüstri ile karşılaştırılması (Ladier ve Alpan, 2015)

Performans Ölçüleri	Literatür(%)	Endüstri Uygulamaları
Stok(envanter) seviyesi	12	13
Çalışma saatleri	2	75
Seyahat mesefesi	26	0
Tıkanıklık/yoğunluk	3	38
Ürünün platformda toplam kalma süresi	5	0
Dokunuş sayısı	2	25
Kamyon gecikmesi veya erken gelmesi	17	13
Yükleme süresi	6	0
Boşaltma süresi	7	13
Kapı kullanımı	4	25
Yüklenemeyen ürünler	5	13
Planlama uzunluğu	45	25
Kesinti maliyeti	6	0
Dengelenmiş iş yükü	2	0



4. PROBLEMİN SİSTEMDE TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

Bu çalışmada, operasyonel seviyedeki çapraz yükleme problemlerine yani çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve kamyon çizelgeleme (ÇSDKAKÇ) problemine odaklanılmaktadır. Problemden kamyonların isteleye varış ve iskeleden ayrılış zamanları da dikkate alınmıştır. Takip eden bölümde, çapraz sevkiyat düzeni ve kapı atama problemine ilişkin bir uygulama çalışması yapmak için problem tanımlanmıştır ve detaylı bir sistem analizi yapılmıştır. Sistem analizi yapılırken; sistemin çapraz sevkiyat düzeni, sisteme ait çapraz yükleme özellikleri ve problemin amacı belirtilmiştir. Daha sonra ÇSDKAKÇ problemi, Bermudez ve Cole (2001); Lim ve diğerleri (2006); Miao ve diğerleri (2014); Zhang, Trouillet ve Semet (2016)'nın çalışmalarından yararlanılarak, Zhang (2016) tarafından karma tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Çapraz sevkiyat düzeni ve kapı atama probleminin mevcut formülasyonları, orijinler ve hedefler arasındaki yol kümesini modellemek için ikili değişkenlerin kullanımına dayanmaktadır.

4.1. Probleme İlişkin Sistem Analizi

Çapraz sevkiyat rıhtım kapısı atama problemi, alma kapıları ve nakliye kapıları için gelen ve giden kamyon sırasını eniyilemeyi amaçlamaktadır. Bir kapı sadece bir kamyonla atanmıştır ve gelen/giden kamyonların sayısı alıcı/nakliye kapılarının sayısını aşamaz.

Çizelgeleme problemleri, terminalin belirli bir yükleme kapısı setindeki giriş ve çıkış araçlarının sırasına karar vermeyi amaçlar; burada gelen/giden kamyon sayısı alıcı/nakliye kapılarının sayısını aşabilir. Bu nedenle rıhtım kapısı atama problemleri, çizelgeleme problemlerinin özel bir hali olarak kabul edilebilir. Bu çalışmadaki çizelgeleme problemi basitçe; I şeklinde bir çapraz sevkiyat merkezinde, çeşitli kısıtlamalar altında (zaman penceresi kısıtlamaları, atama kısıtlamaları, çapraz iskeleye varış ve çapraz iskeleden kalkış kısıtlamaları) 16 kamyonun 10 kapıya atamasını mümkün kılan bir atama problemi olarak düşünülmüştür. Sadece araç çizelgeleme problemleri değil, aynı zamanda çapraz iskeledeki insan (kaynaklar, çalışanlar) faaliyetleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Çapraz sevkiyat merkezindeki yükleme, boşaltma ve taşıma faaliyetleri de ayrıca dikkate alınmıştır. Bu çalışmada odaklanılan konular kapılar için kamyon sırasının belirlenmesi ve zaman yönetimidir.

Kapılar için kamyon sırasının belirlenmesi: Kamyon sayısının kapı sayısından daha büyük olduğu çapraz sevkiyat merkezinde, gelen ve giden kamyonların alıcı ve nakliye kapılarına atanmasında sırasının nasıl belirleyeceği üzerinde çalışılmıştır. Diziyi etkileyecek kısıtlamalar belirlenmeye çalışılmıştır.

Zamanın yönetimi: Çapraz yükleme; boşaltma, sıralama ve yükleme işlemlerinden oluşur. Malların karşılık gelen kamyonlardan boşaltılma süreleri, malların kapılar arasında taşındığı süre ve malların giden kamyona yüklenme süreleri hesaba katılarak zaman kısıtları altında çalışma yapılmıştır. Her bir kamyonun iskeleye geliş ve iskeleden ayrılış zamanları bellidir.

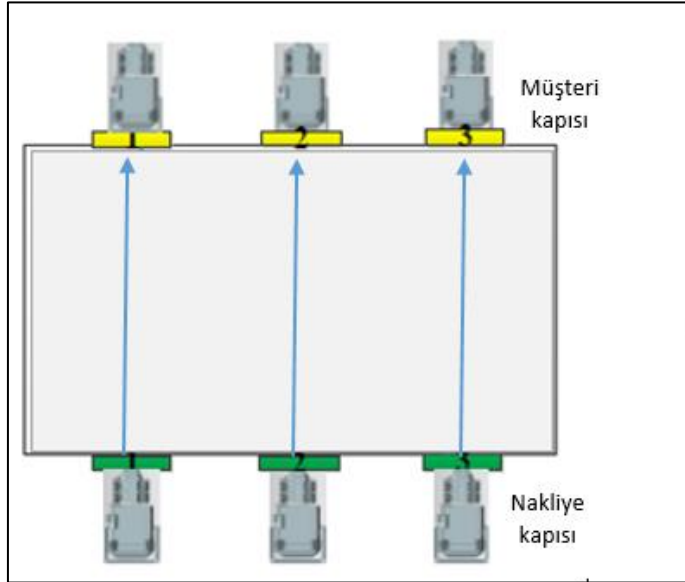
4.1.1. Sistemin çapraz sevkiyat düzeni

Bu bölümde, kapıların konumlarını içeren çapraz iskele yapısı anlatılmaktadır. Alıcı kapıları, tedarikçi kapıları ve çapraz sevkiyat rotaları belirtilmiştir. Taşıma çapraz iskelenin içinde akmaktadır.

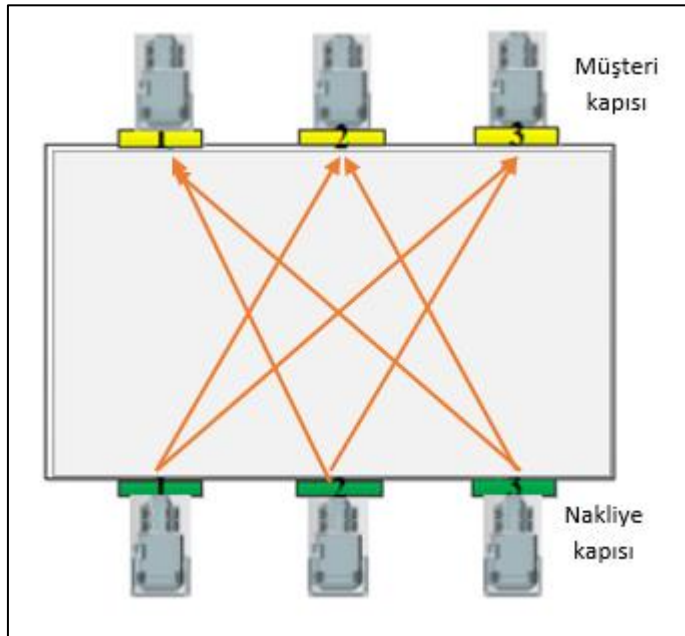
Bu çalışmada belirli bir çapraz yerleştirme düzeni ele alınmaktadır. Çapraz sevkiyatta en popüler şekil olan I şeklindeki bir iskele düşünülmektedir. Terminal, bir alıcı kapının bir nakliye kapısına dönük olduğu dikdörtgen şeklinde fiziksel bir yapıya sahiptir.

Çapraz sevkiyat merkezi içinde iki tip taşımadan söz edilebilir. Karşılıklı iki kapı arasında dikey taşıma ve karşılıklı olamayan kapılar arasında yatay taşıma. Dikey taşıma, maliyetler için en etkili yoldur ve tercih edilmektedir. Ancak gerçek hayattaki durumlarda, araç zaman penceresi kısıtlamaları veya kapı kapasitesi kısıtlamaları nedeniyle ürünler yatay olarak iskelede de taşınmaktadır. Aslında kamyonların kapılara tahsisi ne olursa olsun, malların çapraz sevkiyat merkezinin bir tarafından diğerine taşınması gerekir. Bu nedenle dikey taşıma ile ilgili maliyet sabit bir maliyet olarak görülebilir. Bunun tersine, yatay transferler görevlendirmeden etkilenir ve ilgili maliyetler en aza indirilmeye çalışılır. Bu çalışmada, yatay ve dikey her nakliye kapısından her alıcı kapısına giden mesafeler hesaplanıp ayrı ayrı hatlar olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede dikey ve yatay ayrı ayrı maliyetler hesaplanmayarak toplamda bir çeşit maliyet (bu da taşıma süresine bağlanarak) hesaplanmıştır.

Çapraz sevkiyat merkezindeki dikey ve yatay taşımalar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Dikey taşımalar dikey oklarla gösterilmiştir. Yatay taşımalar yatay oklarla temsil edilir ve iki dikey ok arasında gerçekleştirilir. Bu çalışmada tüm alternatifler birleştirilerek her taşıma birer eğri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Dikey taşıma



Şekil 4.2. Yatay taşıma

4.1.2. Sistemin çapraz yükleme özellikleri

Bu bölümde kısa/orta bir sürede değiştirilemeyen fiziki özellikler, çapraz iskeledeki işlemleri belirleyen operasyonel özellikler ve çapraz iskeledeki mal akışını yöneten akış özellikleri her kategori için ayrı ayrı açıklanmıştır. Bu çalışmada düşünülen varsayımlar verilmiştir.

Fiziksel Özellikler

Çapraz sevkiyat düzeninin fiziksel özellikleri şekil, kapı sayısı ve ulaşımdan oluşmaktadır. Açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Şekil: Çapraz iskele I, L, U, X gibi çeşitli şekillere sahip olabilir. Bu çalışmada düşünülen çapraz iskele yerleşimi, tıpkı çapraz yerleştirmelerin çoğunda olduğu gibi dikdörtgen şeklindedir (I şekli) ve simetriktir.

Kapı sayısı: Kapı sayısı on ile yüz arasında değişebilir. Küçük boyutlu, orta boyutlu ve büyük boyutlu arasında net bir sınır yoktur. Bu çalışmada, alıcı kapı sayısının nakliye kapısı sayısına eşit olduğunu ve düzenin simetrik olduğunu varsayılmıştır. Önerilen modelin veriler üzerinde uygulanmasında ise kapı sayısı on olarak belirlenmiştir.

Ulaşım: Çapraz iskeledeki taşımaları dikey ve yatay taşıma olabilmektedir. Bu çalışmada, yatay ve dikey her nakliye kapısından her alıcı kapısına giden mesafeler hesaplanıp ayrı ayrı hatlar olarak değerlendirilmiştir, Dikey ve yatay ayrı ayrı maliyetler hesaplanmayarak toplamda bir çeşit maliyet hesaplanmıştır.

Operasyonel Özellikler

Çapraz iskelenin operasyonel özellikleri servis modundan ve kesintiden oluşmaktadır. Açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Servis modu: Çapraz sevkiyatta özel ve karışık servis modu mevcuttur. Özel servis modunda çapraz iskelenin bir tarafındaki kapılar yalnızca gelen kamyonlara, diğer tarafındaki kapılar ise giden kamyonlara adanmıştır. Karışık servis modunda ise kapılar

karışık olarak gelen ve giden kamyonlar için atanabilir. Bu çalışmada özel servis modu olduğu düşünülmüştür. Gelen ve giden kapılar karşılıklı şekildedir. Bir kapı gelen ya da giden işlemlere özel olarak atanmıştır.

Kesinti: Tedarikçilerden gelen tüm kamyonlar, kapılara atanmalarıyla boşaltılır ve her bir aracın zaman pencereleri önceden belirlenmiştir. Bir kamyonun boşaltma/yükleme işlemi kesintiye uğramaz ve bu kamyondaki tüm malların varış ve kalkış saatleri arasında boşaltılması/yüklenmesi gerekir. Bir kamyon çapraz sevkiyat merkezinden ayrıldıktan sonra tekrar yükleme ya da boşaltma işlemi için çapraz sevkiyat merkezine gelemez.

Akış Özellikleri

Çapraz iskelenin akış özellikleri; varış şekli, kalkış saatleri, ürünün değiştirilebilirliği ve geçici depolamadan oluşmaktadır. Açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Varış zamanı: Malların varış zamanları, gelen kamyonların varış zamanlarına göre belirlenir; malların yükleme zamanları, giden araçların varış zamanlarına göre belirlenir. Varış şekli dağınık durumdadır ve gelen/giden kamyonlar gün boyunca farklı zamanlarda çapraz iskeleye varmaktadırlar. Her kamyon için varış zamanı tanımlanmıştır.

Kalkış zamanı: Kamyonların kalkış saatleri sınırlandırılmıştır. Her kamyon için kalkış zamanı tanımlanmıştır. Bir gelen kamyonun boşaltılma işlemi kalkış saatinden önce bitmiş olmalıdır, aynı şekilde giden bir kamyonun yükleme işleminin de kalkış saatinden önce bitmiş olması gerekir. Gelen/giden kamyonların kalkış zamanları önceden belirlenmiştir ve kamyonlar kısıtlı zamanlarda çapraz iskeleden ayrılmak zorundadır. Aksi takdirde, yüklenemeyen ürünler ertesi gün yapılacak operasyona aktarılacaktır ve ceza maliyeti ödenecektir.

Ürünün değiştirilebilirliği: Araç çapraz yükleme limanına ulaşmadan önce varış yeri bilinir ve malların değiştirilebilmesine izin verilmez. Yani her bir ürünün müşterisi (varış noktası) önceden belirlenmiştir.

Geçici depolama: İncelenen çapraz iskelede de depolama alanının olduğu varsayılmıştır. Aynı gün kamyona yüklenemeyen ürünler ertesi güne kadar depolanmaktadırlar.

4.2. Problemin Matematiksel Modeli

Bu bölümde; kapasite ve zaman penceresi kısıtlamaları altında, belirli bir çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme problemi ile ilgili oluşturulan model girdileri, parametreleri, kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte açıklanmıştır. Amaç, çapraz iskeledeki toplam seyahat mesafesini ve toplam maliyeti en aza indirmek için gelen kamyonların alıcı kapılara atanmasını planlamaktır. Model oluşturulurken giden kamyon düzeninin belli olmadığı varsayılmıştır. Her bir tedarikçinin alıcı kapısına atanması ve atanan kamyonların çizelgelenmesi üzerinde çalışılmıştır. Atama yapılırken, her bir tedarikçinin alıcı kapıya atanmasından sonra ürünlerin müşterilere taşınması esnasında oluşacak malzeme taşımalarının maliyetleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yükleme, taşıma ve boşaltma işlemleri de ayrıca değerlendirilmiştir. Bu problem karma tamsayılı bir programlama (MIP) modeli olarak formüle edilmiştir.

ÇSDKAAÇ probleminin matematiksel modeli Zhang (2016) tarafından, Bermudez ve Cole (2001); Lim ve diğerleri (2006); Miao ve diğerleri (2014); Zhang, Trouillet ve Semet (2016)'nın çalışmalarından yararlanılarak karma tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Zhang (2016) incelediği bu modellere yükleme, taşıma ve boşaltma işlemleri ile ilgili kısıtlar ve maliyetler eklemiştir. Her işlem için gereken zamanı ve kaynakları dikkate almıştır. *Modelin girdileri* aşağıdaki gibidir:

Tedarikçi bilgileri (tedarikçilerden gelen kamyonlar, tedarikçi sayısı, tedarikçi kamyonlarının iskeleye varış ve iskeleden ayrılış saatleri, tedarikçi m tarafından teslim edilen toplam mal miktarı, m tedarikçiden n. müşteriye taşınması gereken mal miktarı);

Müşteri bilgileri (müşterilere giden kamyonlar, müşteri sayısı, müşteri kamyonlarının iskeleye varış ve iskeleden ayrılış saatleri, m. müşteri tarafından talep edilen toplam mal miktarı, m tedarikçiden n. müşteriye taşınması gereken mal miktarı);

Maliyetler (alıcı kapıdaki ve nakliye kapısındaki boşaltmak/yüklemek için kullanılan kaynak başına maliyet, öğeleri sıralamak için kullanılan kaynak başına maliyet, taşıma maliyeti);

Kapı bilgileri (alıcı ve nakliye kapılarının sayısı, kapıların dolu ve boş olma durumları);

Araç bilgileri (gelen ve giden araçların sayısı, iskeleye varış ve iskeleden ayrılış saatleri);

Kaynakların hızı ve sayısı (birim zaman başına kaynak başına boşaltma ve yükleme hızı, birim zaman başına kaynak başına sıralama hızı, boşaltma kaynaklarının sayısı, yükleme kaynaklarının sayısı, kapılar arası transfer kaynaklarının sayısı).

Modelin parametreleri:

M	toplam gelen kamyon sayısı ($m=1, \dots, M$)
N	toplam giden kamyon sayısı ($n=1, \dots, N$)
I	toplam alıcı kapısı sayısı ($i=1, \dots, I$)
J	toplam nakliye kapısı sayısı ($j=1, \dots, J$)
w_{mn}	m 'den n 'e taşınması gereken mal miktarı; $m \in \{1, \dots, M\}$, $n \in \{1, \dots, N\}$
f_m	arz, $m \in \{1, \dots, M\}$
v_n	talep, $n \in \{1, \dots, N\}$
p_{mn}	malların aynı gün teslim edilmemesi durumunda ödenen ceza
a_m	gelen m aracının çapraz iskeleye varış zamanı, $m \in \{1, \dots, M\}$
d_m	gelen kamyon m 'nin çapraz iskeleden kalkış zamanı, $m \in \{1, \dots, M\}$
a_n	giden kamyonun n çapraz iskeleye varış zamanı, $n \in \{1, \dots, N\}$
d_n	giden kamyon n 'nin çapraz iskeleden kalkış süresi, $n \in \{1, \dots, N\}$
t_g	varış ve ayrılış zamanlarının (a_m ve d_n) sıralanması
$distance_{ij}$	alıcı kapı i ve nakliye kapısı j arasındaki mesafe (m)
Δt_{ij}	malların alıcı kapı i den nakliye kapısı j ye taşıma süresi (dakika)
c_1	boşaltmak/yüklemek için kullanılan kaynak başına maliyet
c_2	öğeleri sıralamak için kullanılan kaynak başına maliyet
p_1	birim zamanda kaynak başına boşaltma ve yükleme hızı (dakika)
p_2	birim zamanda kaynak başına sıralama hızı (dakika)
$q_{m,n,i,j}$	1 eğer $d_n \geq a_m + \Delta t_{ij}$ aksi takdirde $q_{m,n,i,j} = 0$, $m \in \{1, \dots, M\}$, $n \in \{1, \dots, N\}$, $i \in \{1, \dots, I\}$, $j \in \{1, \dots, J\}$
$q_{m,h}$	1 eğer gelen araç m gelen araç h 'nin gelmesinden önce ayrılırsa ($d_m \leq a_h$); aksi takdirde $q_{m,h} = 0$; $m, h \in \{1, \dots, M\}$
$q_{n,u}$	1 eğer gelen araç m gelen araç h 'nin gelmesinden önce ayrılırsa ($d_n \leq a_u$); aksi takdirde $q_{n,u} = 0$; $n, u \in \{1, \dots, N\}$

Modelin Karar Değişkenleri

- x_{mi} 1 gelen kamyon m alıcı kapı i 'ye atanmışsa, aksi takdirde $x_{mi} = 0$, $m \in \{1, \dots, M\}$,
 $i \in \{1, \dots, I\}$
- y_{nj} 1 giden kamyon n nakliye kapısı j 'ye atanmışsa, aksi takdirde $y_{nj} = 0$, $n \in \{1, \dots, N\}$,
 $j \in \{1, \dots, J\}$
- z_{ijmn} 1 gelen araç m alıcı kapı i 'ye atanırsa ve giden araç n nakliye kapısı j 'ye atanırsa,
aksi takdirde $z_{ijmn} = 0$; $z_{ijmn} = x_{mi} * y_{nj}$
- r_i i kapısındaki boşaltma kaynaklarının sayısı, $i \in \{1, \dots, I\}$
- s_j nakliye kapısındaki yükleme kaynaklarının sayısı, $j \in \{1, \dots, J\}$
- k_{ij} i ve j arasındaki transfer kaynaklarının sayısı; $i \in \{1, \dots, I\}$, $j \in \{1, \dots, J\}$

Amaç Fonksiyonu

$$Z_{min} = \left(\begin{aligned} & \left(\sum_{m=1}^M f(m) * \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J distance(i, j) \right) \\ & * \left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{j=i+1}^J c1 * k(i, j) + \sum_{i=1}^I c2 * r(i) + \sum_{j=1}^J c2 * s(j) \\ & + \sum_{m=1}^M \left(\sum_{n=1}^N p(m, n) * w(m, n) * \left(1 - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q(m, n, i, j) * z(i, j, m, n) \right) \right) \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w(m, n) * distance(i, j) * z(i, j, m, n) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right) \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^I x(m, i) \leq 1 \quad \forall m \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^J y(n, j) \leq 1 \quad \forall n \quad (4.3)$$

$$z(i, j, m, n) \leq x(m, i) \quad \forall(i, j, m, n) \quad (4.4)$$

$$z(i, j, m, n) \leq y(n, j) \quad \forall(i, j, m, n) \quad (4.5)$$

$$z(i, j, m, n) \geq x(m, i) - y(n, j) - 1 \quad \forall(i, j, m, n) \quad (4.6)$$

$$f(m) * x(m, i) \leq p1 * r(i) * (d(m) - a(m)) \quad \forall(i, m) \quad (4.7)$$

$$v(n) * y(n, j) \leq p1 * s(j) * (d(n) - a(n)) \quad \forall(j, n) \quad (4.8)$$

$$2 * (q(m, h) + q(h, m)) \geq x(m, i) + x(h, i) - 1 \quad \forall(m, h) \quad (4.9)$$

$$2 * (q(n, u) + q(u, n)) \geq y(n, j) + y(u, j) - 1 \quad \forall(n, u) \quad (4.10)$$

$$\sum_i \sum_{\substack{j \\ j > i+1}} \sum_{\substack{m \\ tg \geq am \\ d(m) \geq tg}} \sum_{\substack{n \\ d(n) \geq a(m) + \Delta(i, j) \\ d(n) \geq tg}} \frac{w(m, n)}{d(n) - a(m)} * (z(i, j, m, n) + z(j, i, m, n)) \\ \leq p2 * k(i, i + 1) \quad \forall i (1, 2 \dots I - 1) \quad \forall g \quad (4.11)$$

Modelde, toplam gelen kamyon sayısı toplam tedarikçi sayısına; toplam giden kamyon sayısı toplam müşteri sayısına eşittir. Çapraz iskelenin paralel simetrik düzeninden dolayı, alıcı kapı sayısı nakliye kapısı sayısına ($I = J$) eşittir. Arz ve talep dengelenmiştir. Malların alıcı kapıdan nakliye kapısına taşıma süresi kapılar arasındaki mesafeye göre değişir. Maliyetler ve hızlar, malları boşaltmak/sıralamak/yüklemek için kullanılan kaynaklarla ilişkilidir. Taşımacılığın, sayısı belirlenmek zorunda olan kaynaklar tarafından manuel olarak yapıldığını varsayıldığından, kaynak başına hız tanımlamak gerekmektedir.

Amaç, çapraz iskeledeki toplam seyahat mesafesini ve toplam maliyeti en aza indirmek için kamyonlara kapı tahsisatını eniyilemektir. Kısıt 4.2, her gelen kamyonun birden fazla alıcı kapısına atanmamasını sağlar. Kısıt 4.3, her giden kamyonun birden fazla nakliye kapısına atanmamasını sağlar. Kısıt 4.4, Kısıt 4.5, Kısıt 4.6 ifadenin doğrusallaştırılmasına karşılık gelir (x_{mi} , y_{nj} ve z_{ijmn} arasındaki mantıksal ilişkiyi göstermektedir). Kısıt 4.7, m kamyonunun atandığı kapının giriş kapısına ($d_m - a_m$) süresince boşaltılması gerektiğini

belirtir (m kamyonunun çapraz iskelede kalış süresi ($d_m - a_m$)). Kısıt 4.8, n kamyonunun atandığı kapıda ($d_n - a_n$) süre zarfında yüklenmesi gerektiğini belirtir (n kamyonunun çapraz iskelede kalış süresi ($d_n - a_n$)). Kısıt 4.9, bir alıcı kapının belirli bir zamanda birden fazla gelen kamyon tarafından işgal edilememesini sağlar (m ve h birbirine eşit değildir). Kısıt 4.10, bir nakliye kapısının aynı anda birden fazla giden kamyon tarafından işgal edilememesini sağlar (n ve u birbirine eşit değildir). Kısıt 4.11, yatay taşıma işleminin kontrolü ile ilgilidir. Ardışık iki sütun arasında aktarılan toplam mal miktarının sıralama kapasitesini aşmamasını sağlar. Bu kısıtlamada, her bir alıcı kapı i , bağlı nakliye kapısı j ile birlikte bir sütun olarak görülmektedir. Bu bölümde; belirli bir çapraz yükleme yerleşim düzeni ele alınmıştır ve kapı atama problemi, kapasite ve zaman pencereleri kısıtlamaları altında incelenmiştir.

5. PROBLEM İÇİN UYGULAMA ÇALIŞMASI

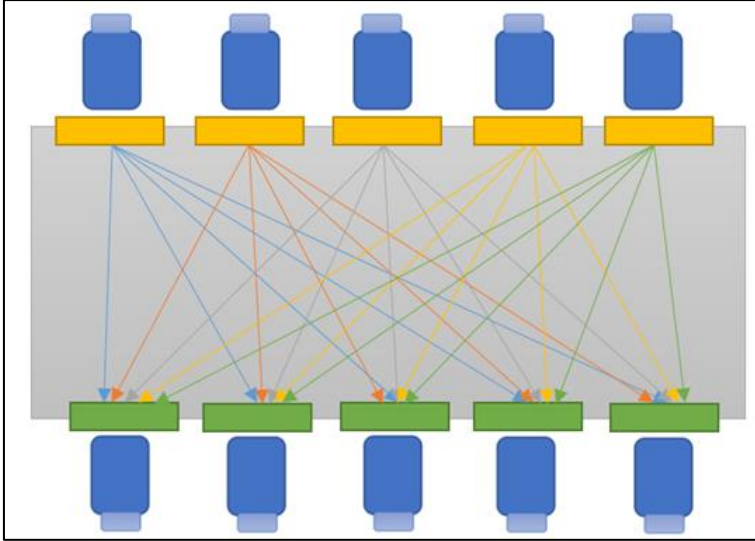
Bu bölümde çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme problemi (ÇSDKAAÇ)'nin çözümü için yapılan uygulama çalışması verilmiştir. Çapraz sevkiyat düzenine sahip bir sistemin bir günlük akışı incelenmiştir. Problemin modeli, GAMS optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca benzetim çalışması ARENA ile gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar yorumlanmıştır.

5.1. Problem Verileri

Bu çalışmada çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme problemi (ÇSDKAAÇ) üzerinde çalışılmıştır. Bir çapraz sevkiyat noktasının bir günlük akışının planlanması amaçlanmıştır. Çapraz sevkiyat merkezinde arz ve talep dengelenmek istenmektedir. I şeklinde, Şekil 5.1'de gösterilen bir çapraz sevkiyat merkezi düşünülmüştür. Çapraz sevkiyat sisteminde tedarikçilerden müşterilere ürün akışları oklarla gösterilmiştir. Sarı kapılar tedarikçi, yeşil kapılar ise müşteri kapılarını temsil etmektedir. Kamyonlar kapıların önüne konumlandırılmıştır. Çapraz sevkiyat merkezinin bir kısmı gelen kamyonlara, diğer kısmı ise giden kamyonlara ayrılmıştır. Bu yüzden özel servis modundadır. Bir kamyonun boşaltılması, boşaltma süresi boyunca kesintiye uğramaz ve bu kamyondaki tüm malların belirlenen varış ve kalkış saatleri sırasında boşaltılması gerekir. Her bir gelen ve giden kamyon için çapraz sevkiyat merkezine varış ve çapraz sevkiyat merkezinden ayrılış zamanları bellidir. Varış şekli dağınık durumda ve gelen/giden kamyonlar gün boyunca farklı zamanlarda çapraz iskeleye varmaktadırlar. Önemli olan nokta ise giden kamyonların kalkış saatleri sınırlandırılmıştır ve kamyonlara yüklemelerin kalkış saatinden önce tamamlanması gerekmektedir. Aksi takdirde, yüklenemeyen ürünler ertesi gün yapılacak operasyona aktarılacaktır ve ceza maliyeti ödenecektir. Çapraz sevkiyatta teoride geçici depolama yoktur. Ancak pratikte bu durum nadirdir, ürünlerin depolanabildiği varsayılmıştır. Giden kamyonlara yüklenemeyen ürünler ertesi güne kadar depolanmaktadırlar. Gelen kamyon sayısı (8), alıcı kapı sayısından (5) fazla olduğu için literatürdeki kapı atama probleminin yanı sıra kamyon çizelgeleme problemi de incelenmek istenilmektedir. Her bir ürünün gideceği talep noktası daha önceden bilinmektedir. Yani her bir ürünün müşterisi önceden belirlenmiştir. Çapraz

sevkiyat noktasında 5 tedarikçiler için, 5 de alıcılar için kapı bulunmaktadır. Kapılar arası mesafeler ve taşıma süreleri de ayrıca bilinmektedir.

Amaç, çapraz iskeledeki toplam seyahat mesafesini ve toplam maliyeti (taşıma, yükleme, boşaltma ve ceza maliyeti) en aza indirmek için kamyonlara kapı tahsisatını eniyilemektir.



Şekil 5.1. Çapraz sevkiyat merkezi

Probleme ait veriler aşağıdadır:

Kamyonlar ve kapılar ile ilgili veriler aşağıdaki gibidir:

m: gelen kamyonların endeksi. $(m=1,...,8)$;

n : giden kamyon endeksi. $(n=1,...,8)$;

i : alıcı kapılar endeksi. $(i=1,2,...,5)$;

j : nakliye kapılarının endeksi. $(j=1,2,...,5)$;

Çapraz iskeledeki *mal transferleri* ($distance_{ij}$, Δt_{ij}) ile karakterize edilmiştir. *Alıcı kapılar ve nakliye kapılar arasındaki mesafeler (metre)* Çizelge 5.1’de belirtilmiştir. *Alıcı kapılar ve nakliye kapılar arasındaki işlem süreleri (dakika)* (her ürün geçişi için) aşağıdaki Çizelge 5.2’de belirtilmiştir. Bir gün içinde gelen *tedarikçilere ve müşterilere ait bilgiler* sırasıyla aşağıdaki Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de belirtilmiştir. Tedarikçilerden müşterilere yapılan *mal transferler verileri* (W_{mn}) Çizelge 5.5’de verilmiştir. Ayrıca modelde de belirtilen

zaman kısıtlamaları olan *gelen ve giden kamyonlara ait çapraz sevkiyat merkezine varış ve çapraz sevkiyat merkezinden ayrılış zamanları* Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.1. Alıcı kapılar ve nakliye kapılar arasındaki mesafeler ($distance_{ij}$)

nakliye alıcı	1	2	3	4	5
1	5	7	8	10	13
2	7	5	7	8	10
3	8	7	5	7	8
4	10	8	7	5	7
5	13	10	8	7	5

Çizelge 5.2. Alıcı kapılar ve nakliye kapılar arasındaki işlem süreleri (Δt_{ij})

nakliye alıcı	1	2	3	4	5
1	2	3	5	7	10
2	3	2	3	5	7
3	5	3	2	3	5
4	7	5	3	2	3
5	10	7	5	3	2

Çizelge 5.3. Tedarikçi bilgileri

Tedarikçi Bilgileri								
Gelen kamyon numarası	1	2	3	4	5	6	7	8
Çapraz İskeleye varış zamanı (dk)	0	60	120	180	240	330	390	450
Çapraz İskeleden kalkış zamanı (dk)	30	90	150	210	270	360	420	480
Kamyonların taşıdığı miktar	665	635	609	485	415	591	319	553

Çizelge 5.4. Müşteri bilgileri

Müşteri Bilgileri								
Gelen kamyon numarası	1	2	3	4	5	6	7	8
Çapraz İskeleeye varış zamanı (dk)	0	45	105	165	225	330	390	450
Çapraz İskeleden kalkış zamanı (dk)	45	135	195	225	345	405	465	540
Kamyonların taşıdığı miktar	551	616	497	554	517	537	594	441

Çizelge 5.5. m. tedarikçiden n. müşteriye taşınması gereken mal miktarı

müşteri tedarikçi	1	2	3	4	5	6	7	8	Arz (v_n)
1	50	75	100	85	60	80	120	95	665
2	120	50	75	85	95	60	50	100	635
3	48	98	85	120	63	25	87	78	604
4	45	63	54	82	34	94	67	46	485
5	25	36	14	78	96	78	56	32	415
6	100	120	50	45	68	79	84	45	591
7	45	78	74	14	23	25	36	24	319
8	78	96	45	45	78	96	94	21	553
Talep (f_m)	511	616	497	554	517	537	594	441	

Çizelge 5.6. Kamyonların varış ve ayrılış zamanları (dk)

	a_m	d_m	a_n	d_n
1.kamyon	0	30	0	45
2.kamyon	60	90	45	135
3.kamyon	120	150	105	195
4.kamyon	180	210	165	255
5.kamyon	240	270	225	345
6.kamyon	330	360	330	405
7.kamyon	390	420	390	465
8.kamyon	450	480	420	540

Bunlar dışında *yükleme, boşaltma ve sıralamak için kullanılan veriler* aşağıdadır:

Alıcı kapıdaki ve nakliye kapısındaki boşaltmak ve yüklemek için kullanılan kaynak başına maliyet (c_1) 100 TL'dir.

Birim saat boyunca kaynak başına boşaltma ve yükleme hızı (p_1) 1.25 saattir (75 dk).

Öğeleri sıralamak için kullanılan kaynak başına maliyet (c_2) 25 TL'dir.

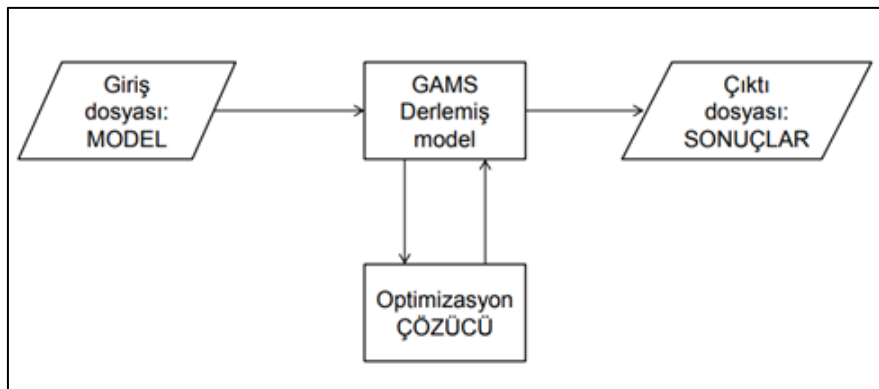
Birim saat boyunca kaynak başına sıralama hızı (p_2) 0.75 saattir (45 dk).

Tedarikçiden gelen ürünlerin aynı gün müşteri kamyonlarına teslim edilmemesi durumunda ödenen ceza 20 TL'dir

Süreden tasarruf ederek ve maliyeti en aza indirerek daha fazla yüklemenin yapılması sağlanmaktadır.

5.2. Problemin Matematiksel Modelinin GAMS ile Çözülmesi

Problemin matematiksel modelinin çözümü GAMS paket programı ile gerçekleştirilmiştir. GAMS (The General Algebraic Modeling System) matematiksel programlama ve eniyileme için tasarlanan yüksek seviyeli bir dildir. GAMS'in uygulama süreci aşağıda Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. GAMS girdileri çıktılara dönüştürme

GAMS kodları EK-3’de verilmiştir. GAMS maliyet sonuçlarına göre tedarikçilerden gelen araçlar, müşteri araçlarının nakliye kapılarına nasıl atandığının bilinmediği varsayımıyla ve her olası durumun maliyeti hesaba katılarak, en az maliyetli akışı oluşturacak şekilde kapılara atanmıştır.

GAMS bu problemde bir tedarikçinin bir alıcı kapıya atanması durumunda, her ihtimalin ayrı ayrı maliyetini hesaplamaktadır. Maliyet süreleri de içermektedir. GAMS çıktıları yorumlanıp sadeleştirildiğinde basit bir en az maliyet problemine dönüştürülmüştür. Modelin girdileri kullanılarak tedarikçilerden gelen kamyonlar, varış noktalarına göre en düşük maliyeti oluşturacak şekilde kapılara atanmaktadır. Ayrıca malzeme akışları da dikkate alınmaktadır. Her bir rotada, tedarikçiden müşteriye taşınacak malın hangi iki kapı arasında atanacağı bilgisi de modelin çıktısını oluşturmaktadır.

Çizelge 5.7. GAMS maliyet sonuçları

tedarikçiler \ kapılar	1	2	3	4	5
1	4763	5060	5169	5060	4763
2	4492	4780	4883	4780	4492
3	4133	4390	4484	4390	4133
4	4051	4325	4427	3599	4051
5	3841	4057	4135	4057	3841
6	2765	2999	3085	2999	2765
7	3321	3487	3545	3487	3321
8	2015	2203	2273	2207	2015

Çizelge 5.8. GAMS maliyet sonuçları detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
1. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	7	125	100	94	84	79
	3	137	111	103	92	80
	8	139	116	107	95	82
	4	149	127	113	99	86
	6	153	131	120	103	89
	2	157	135	125	109	93
	5	168	150	138	125	105
	1	175	160	153	137	119
Toplam maliyet		1203	1030	953	844	733

Yukarıdaki Çizelge 5.7 GAMS maliyet sonuçlarını göstermektedir. Örneğin 1. tedarikçinin 1. kapıya atanması ile ilgili maliyet sonucu 4763; 1. tedarikçinin 1. kapıdan tüm nakliye kapılarına olan atamaların maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın nasıl yapıldığı Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çizelge 5.8’de 1. tedarikçinin 1. kapıya atanmasının ardından, 1. kapıdan tüm nakliye kapılarına akış olasılıkları hesaplanmış ve maliyetlere dahil edilmiştir. Giden kapılara hangi müşterilerin atandıkları belli olmadığından, 8 müşteri için ayrı ayrı kapılara atanma maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar 8 tedarikçinin her biri için, her kapıya atanma durumları hesaba katılarak yinelenmiştir. Diğer GAMS maliyetlerinin detaylı gösterimi EK-4’de verilmiştir.

Maliyetler her tedarikçinin her kapıya atanma durumu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu maliyet sonuçlarına göre tedarikçilerin alıcı kapılara atanmasına karar verilebilir. Böylece daha düşük maliyetle atama yapılabilir. Modeldeki kısıtların hepsi maliyetlerin içine dahil edilmiştir. Çizelge 5.7’ye göre, en düşük maliyetle atama esas alınarak 1, 3, 5, 7. tedarikçi kamyonunun 1. kapıya; 2, 6 ve 8. tedarikçi kamyonunun 5. kapıya, 4. tedarikçi kamyonunun 4. kapıya atanabileceği sonucu çıkartılabilir. Modelde verilen geliş saatleri çakışmamaktadır, ancak eğer çakışsaydı $q_{m,u}$ ve $q_{n,u}$ tablolarını kullanarak kapıların boş ve dolu olma durumlarını görülebilir, o şekilde atama gerçekleştirilebilirdi.

GAMS sonucunda en köşedeki kapıların aynı tedarikçilerdeki maliyetleri aynı çıkmıştır. Bunun sebebi kenardaki kapıların birbirine simetrik mesafelerde olmasıdır. Bu da sistemin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Diğer kapıların ise benzer maliyetleri bulunmakla birlikte her zaman aynı değildir. O kapılardaki küçük farklılıklar maliyetleri küçük miktarlarda etkilemektedir.

Diğer bir sonuç ise yüklenen ürünlerin miktarının da maliyeti etkilediğidir. Örneğin 1. tedarikçiden gelen ürün miktarı, 5. tedarikçiden gelen ürün miktarından çoktur ve bu durum iki tedarikçinin maliyetlerini etkilemiştir. Kapılarda bekleme olmadığı sürece atamaları yukarıdaki gibi yapılabilir. Fakat sistem kalabalıklaştıkça en düşük maliyetli kapılar dolu olacağından diğer kapı ihtimallerin de değerlendirilmesi gerekecektir. Bu ihtimali değerlendirmek için ise ARENA programında aynı sistemin daha çok girdi olan şekli simüle edilmiştir.

5.3. Problemin Benzetim Çalışması ile İncelenmesi

Matematiksel modelin GAMS ile çözümlerini daha gerçekçi bir ortamda değerlendirebilmek ve daha karmaşık bir problemin çözümü için ARENA programı tercih edilmiştir. GAMS sonuçları ihtimallerin karşılaştırmasına yardımcı olurken; ARENA ise sonuçların daha detaylı analiz edilebilmesini (her kaynağın kullanım oranı, miktarı, kuyrukta bekleme süreleri, kuyrukta bekleyen kamyon sayısı, sisteme giriş çıkış yapan ürün sayısı, kuyrukta bekleyen ürün sayısı gibi) sağlamaktadır. Ayrıca ARENA görsel bir programdır, tedarik zincirinde yapılabilecek kimi değişiklikler hayata geçirilmeden benzetim modeli yardımıyla görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Söz konusu değişikliklerin matematiksel modele yansıtılıp çözdürülmesi beklenmeden ARENA’da oldukça hızlı bir şekilde değerlendirme yapılabilmektedir. ARENA’da sistemin iyi ve kötü yönleri tespit edilebilir ve ilerleyen zamanlarda sistemde iyileştirme yapılacağına bu noktalara odaklanılabilir. Bu değişiklikler talep miktarlarında, tedarikçi kombinasyonlarında, tedarikçi kamyon geliş saatlerinde vb. durumlarda gerçekleşebilir. Ayrıca çeşitli alternatifler (kapı sayısının artırılması, arz ve talebin artması/azalması, kullanılmayan kaynakların azaltılması, bu depoya atanacak tedarikçiler tarafından kullanılacak rotalar) değerlendirilmek istendiğinde benzetim modeli yardımıyla hızlıca değerlendirilebilir.

5.3.1 Benzetim modelinin kurulması

Bu bölümde mevcut çapraz sevkiyat yerleşim düzeni için ARENA modeli oluşturulmuştur. Elde edilen model çalıştırılıp performans değerleri elde edilmiştir. İncelenen sistem şu şekildedir; tedarikçi kamyonları, müşterilerin talep ettikleri miktarlar ile alıcı kapılarına gelir ve kamyonların hangi kapıya atanacakları belirlenir. Atama gerçekleştirildikten sonra ürünler kamyonlardan ayrılır ve çapraz iskeleye yerleştirilir, her ürüne barkod okutması yapılır. Bundan sonraki aşama ürünün hangi müşteriye atanacağını belirlemesidir. Bu aşamada tedarikçiden müşteriye ürün akışları ile birlikte, alıcı ve nakliye kapıları arasındaki taşıma süreleri dikkate alınmıştır. Kapılara atanmayan ve kuyrukta bekleyen gelen kamyonlar için, fazladan taşımanın yaratacağı süre ceza süresi olarak eklenmiş ve bu şekilde sisteme dahil edilmiştir. Daha sonra talebi karşılanan müşteri kamyonunun platformu terk ettiği ve yeni müşteri kamyonunun platforma geldiği düşünülmüştür.

GAMS ile çözülen modelin aksine, tedarikçi kamyonlarının iskeleye varış ve iskeleden ayrılış zamanları özel olarak belirtilmemiştir; tedarikçilerden gelen kamyonların sıra belirlilmeksizin sıfır anında çapraz sevkiyat merkezine gelebileceği ve ilk gelen beş kamyonun uygun kapılara atanabileceği, diğerlerinin ise alıcı kapıların boşaltılmasını bekleyeceği varsayılmıştır. Ayrıca giden kamyon için de tedarikçiden talep ettiğini miktar kamyonu yüklendiğinde iskeleden ayrıldığı varsayılmıştır.

Gelen ve giden araçların sayısı belirlenmemiştir, 8 kamyonun 8 ayrı tedarikçiden gelen sürekli kamyonlar olarak değerlendirilmiştir. Ancak kapı sayısı yine 5 olarak kabul edilmiştir.

Kaynakların hızı ve sayısı (birim zaman başına kaynak başına boşaltma ve yükleme hızı, birim zaman başına kaynak başına sıralama hızı, boşaltma kaynaklarının sayısı, yükleme kaynaklarının sayısı, kapılar arası transfer kaynaklarının sayısı) ele alınmamıştır. Bunun yerine barkodlama isimli bir ARENA modülü sisteme dâhil edilerek, süre harcayan işlemler bu proses modülü içerisinde düşünülmüştür. Ayrıca alıcı kapı ve nakliye kapısı arasındaki taşıma süreleri assign modülünün içerisinde belirtilmiştir. Bunun nedeni GAMS ile çözümü yapılan problemde yatay taşımaların manuel yapılması, ARENA’da ise otomasyon sisteminin olduğunun varsayılmasıdır.

Benzetim modelinin girdileri aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi bilgileri (tedarikçilerden gelen kamyonlar, tedarikçi kamyonlarının sisteme gelişleri arası süre, tedarikçi sayısı, m tarafından teslim edilen mal miktarı);
- Müşteri bilgileri (müşterilere giden kamyonlar, müşteri sayısı, müşteri n tarafından talep edilen mal miktarı);
- Kapı bilgileri (alıcı ve nakliye kapılarının sayısı);
- Kaynak bilgileri (barkodlama makinelerinin sayısı).

Benzetim modelinin parametreleri aşağıdaki gibidir:

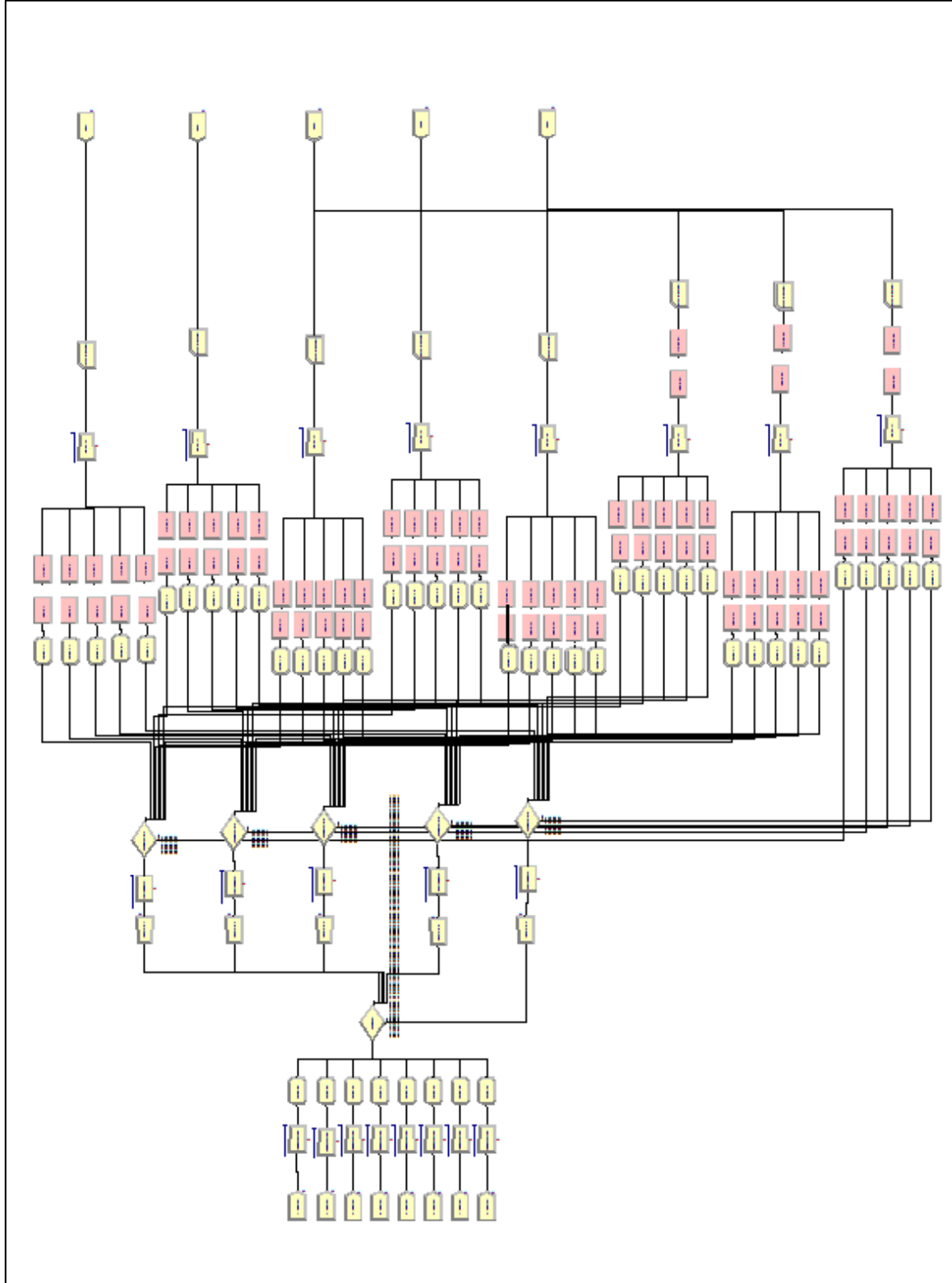
- Tedarikçi kamyonlarının taşıdığı ortalama ürün miktarı: Her depodan gelen kamyonun 530’ar ürün taşıdığı kabul edilmiştir (problem verilerindeki kamyonların taşıdıkları miktarların ortalaması alınmıştır).

- Kamyonların sisteme gelişleri arasındaki süre: Ürünler 5 alıcı kapıya atanan 8 tedarikçiden sürekli düzgün dağılıma uygun bir şekilde, 5 nakliye kapısına atanan 8 müşteri için kamyonu yüklenip yola çıkmaktadır.
- İşlem süreleri: Barkodlama makinesinin işlem süresinin her bir ürün için ortalama 3 saniye olduğu kabul edilmiştir. Sistemde 5 barkodlama makinesi mevcuttur. Ayrıca kapılar arasındaki taşıma süreleri ve ürünlerin içerideki ara stok alanına fazladan taşınmasından kaynaklı ek süreler de belirtilmiştir.

Şekil 5.3’de ARENA modül diyagramı verilmiştir. Create, batch (gelen kamyon ve giden kamyon için), assign (gelen kamyon ve değişken atama için), decide (hangi kapı ve hangi müşteri için), separate, process, route, state, record ve dispose modülleri kullanılmıştır.

Çapraz sevkiyat merkezine gelen ürünlerin gelişleri *create modülü* ile oluşturulmuştur. Ürünler çapraz sevkiyat merkezine kamyon halinde gelmektedir. *Batch modülü* ürünlerin birer kamyon olarak gruplandırılması için kullanılmıştır. Batch modülünden sonra atanan *assign modülü* ürünler kamyonu yüklendikten sonra ilerleyen ürün görselinin kamyon olarak görülmesi için kullanılmıştır, görsellik amaçlanmıştır. Kamyonlar çapraz sevkiyat noktasına geldikten sonra *hangi kapıya* atanacağını belirlemek için *decide modülü* kullanılmıştır. Kapı seçiminden sonra ürünlerin kamyonlardan ayrılıp sistemin içinde tek tek hareket edebilir hale gelmelerini sağlamak için *separate modülü* kullanılmıştır. Şimdiye kadar kullanılan hiçbir modülde süre harcanmamıştır. Sistemde ilk süre yaratan işlem ürünlerin kamyonlardan ayrılıp çapraz iskeleye yerleşmesidir. Koliler ayrıldıktan sonra barkodlama prosesleriyle her koliye barkod yapılandırılarak hangi müşteriye gitmesi gerektiği belirtilir. Bu barkodlama makineleriyle *proses modülü* kullanılarak yapılmıştır. Bu prosesden sonra ürünlerin hangi müşteriye gideceğinin kararı verilmektedir. İkinci kullanılan *decide modülü*, bir kapıya atanan ürünlerin *hangi müşteriye* gönderileceğine karar vermek için kullanılmıştır. Tedarikçi kapısındaki ürün müşteri kapısına gönderildikten sonra, sistemde variable değerinin değişmesini ve ürünlerin diğer müşterilere de atanabilmesinin sağlanması *assign modülüyle* belirtilir. Tedarikçi kapılarına atanan kamyonların ürünlerinin hangi müşteri kapısına atanacağı öğrenildikten sonra taşıma işlemi *route modülü* ile gerçekleştirilmiştir. Kapılar arası süre *route modülü* içinde verilmiştir. Her rampayı belirtmek adına birer *route* birer *state* atanmıştır. Kapı seçiminden sonra, ürünlerin *separate modülü* kullanılarak kamyonlardan ayrıldığı belirtilmiştir. Ayrılan bu ürünler, müşteri taleplerine göre yeniden gruplandırılmak istenmektedir. Bundan dolayı,

batch modülü ile ürünler tekrar kamyon halinde birleştirilmiştir. *Record modülü* ile müşterilere gönderilen ürünleri sayılmıştır. *Dispose modülü* ile ürünler sistemden çıkar. Kullanılan modüllerinin detaylı açıklamaları EK-5’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Modül diyagramı

5.3.2. Benzetim sonuçları ve değerlendirme

Benzetim modelinin çıktıları aşağıdaki gibidir:

- Sistemden günlük (8 saatte) ortalama çıkış yapan müşteri sayısı;
- Hangi tedarikçiden kaç kamyon araç çıktığı bilgisi;
- Sistemde en çok iş yapan ürün, ürünlerin bekleme ve transfer zamanları,
- Sisteme giren ve sistemden çıkış yapan toplam ürün miktarı;
- Sistemde kuyruk yaratabilecek her modülün ayrı ayrı kuyrukta bekleme süreleri, kuyrukta kaç ürünün beklediği;
- Makina kullanım oranları ve kullanım zamanları, makinelerinden günlük geçen toplam ürün sayısı.

Benzetim sonuçları ürün, kuyruk ve kaynak sonuçları olarak değerlendirilirse;

Ürünler için; tedarikçilerden gelen ürünlerin sistemde harcadıkları ortalama, en az ve en çok süre, ürünlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi, kuyrukta en çok bekleyen veya en az bekleyen ürünün bekleme süresi, ürünlerin ortalama servis süreleri, servis süresi en kısa ve ya en uzun ürünün servis süresi gözlemlenebilir.

Kuyruk sonuçlarından; müşterilerin kuyrukta ortalama bekleme süresi, kuyrukta en az bekleyen ürünün bekleme süresi, kuyrukta en fazla bekleyen ürünün bekleme süresi, kuyrukta ortalama müşteri sayısı, kuyruktaki en az ve en çok müşteri sayısı gözlemlenebilir.

Kaynak sonuçlarından, kaynakların kullanım oranı ve kaynağın meşgul olma oranları gözlemlenebilir.

Sistem 10 tekrarda çalıştırılmıştır. Sistemden günlük (8 saatte) ortalama 17 müşteri kamyonu çıkış yapmıştır. Müşterinin talepleri doğrultusunda kamyonlardaki ürün miktarı değişiklik göstermektedir. Gün sonunda taşınması bitmeyen ürünler ertesi güne ilave edilmektedir. ARENA çıktıları EK-6'da verilmiştir.

Çizelge 5.9’da arena ürün çıktılarının özet tablosu verilmiştir. Süreler için çıktıların birimi saat olarak alınmıştır. Çıktılar aşağıdaki gibi yorumlanabilir:

Çizelge 5.9. Arena ürün çıktılarının özet tablosu (ortalama)

Ürün	Toplam Süre	Sisteme giren ürün sayısı	Sistemden çıkan ürün sayısı	Herhangi bir anda sistemde dolaşan ürün sayısı
Entity 1	3,64	1701	1294	401
Entity 2	2,67	1435	993	261
Entity 3	3,88	1328	989	213
Entity 4	3,66	1329	1033	242
Entity 5	3,83	1276	1106	281
Entity 6	2,50	1331	938	316
Entity 7	2,41	1649	1360	393
Entity 8	2,54	1649	1203	389

Çizelge 5.9’a göre; ürünler ortalama 3 saat sistemde kalmıştır. Fakat gruplar halinde gelen ürünler daha az veya daha fazla sistemde zaman geçirmektedirler. Ürünlerin sistemde harcadığı süreler kıyaslandığında 3. tedarikçiden gelen ürünler 3,88 saat ile sistemde ortalama olarak en çok, 7. tedarikçiden gelen ürünler 2,41 saat ile sistemde ortalama olarak en az zaman harcamaktadırlar.

Sisteme giren ve çıkan ürün sayıları aralarında farklılıklar bulunmasının sebebi; müşteri kamyonları dolunca gitmektedir. Eğer ürünler bir kamyonu doldurmuyorsa, sistemin içinde ertesi günün kamyonunu beklemeye devam etmektedir. Sisteme ortalama giren ürün sayısı 1462 iken; sistemden çıkış yapan ortalama ürün sayısı 1114’dür. Sisteme en çok 1. tedarikçinin ürünü giriş yaparken; en çok 7. tedarikçinin ürünü çıkış yapmıştır.

Sistemde herhangi bir anda ortalama 300 ürün dolaşmasının sebebi bir tedarikçiden gelen ürünlerin sistemden tamamen çıkmadan aynı tedarikçiden 2. kamyonun kapıya yanaşması ve aynı zamanda ürünlerin yüklenecekleri müşteri kamyonunun dolmasını beklemesidir.

Çizelge 5.10. Arena barkod makinesi çıktılarının özet tablosu

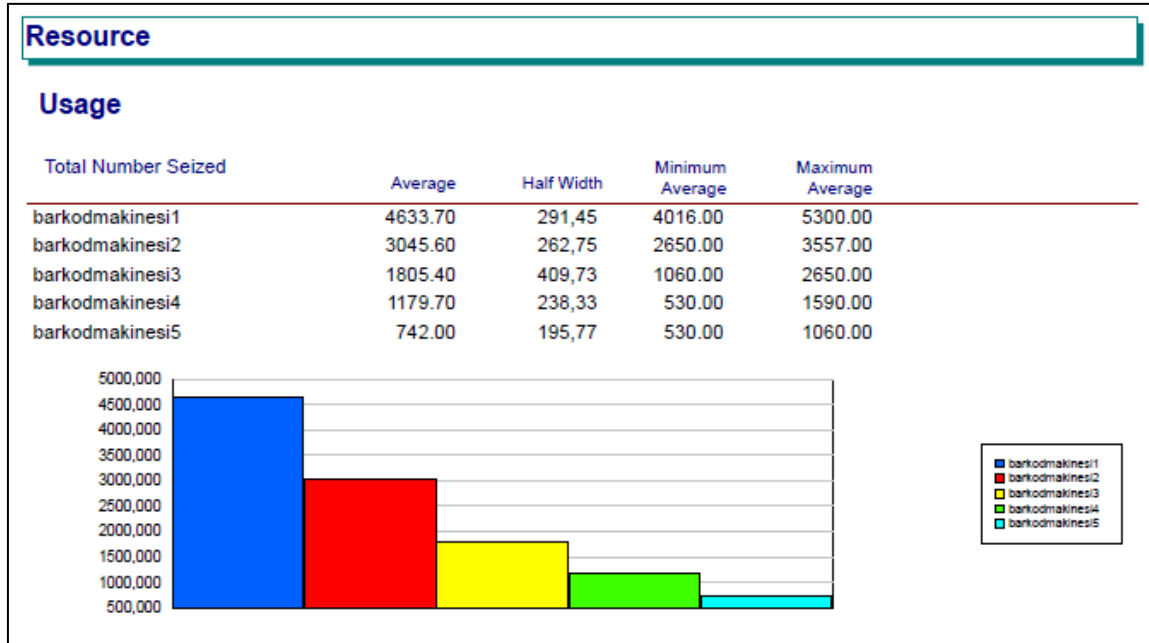
Makina	Kullanım	Kuyrukta bekleme süresi	Kuyrukta bekleyen ürün sayısı
Barkod 1	0,482	0,2685	158
Barkod 2	0,317	0,2980	114
Barkod 3	0,188	0,3641	79
Barkod 4	0,122	0,2670	39
Barkod 5	0,077	0,2309	21

Çizelge 5.10’da makine kullanımları, kuyrukta bekleme süreleri ve kuyrukta bekleyen ürün sayıları verilmiştir. Buradaki kaynaklar barkodlama makineleridir. Barkod makineleri sürekli kullanılmamaktadır, ortalama %30 kullanılmaktadır. %48 ile en fazla 1. barkod makinesi kullanılmaktadır. Ortalama kullanım oranı çok düşük olduğu için makine sayısı azaltılmalı yorumu yapılabilir. Bu makineler sürece göre bazen fazla bazen az kullanılmaktadır.

Çizelge 5.11 Arena kuyruk çıktıları özet tablosu

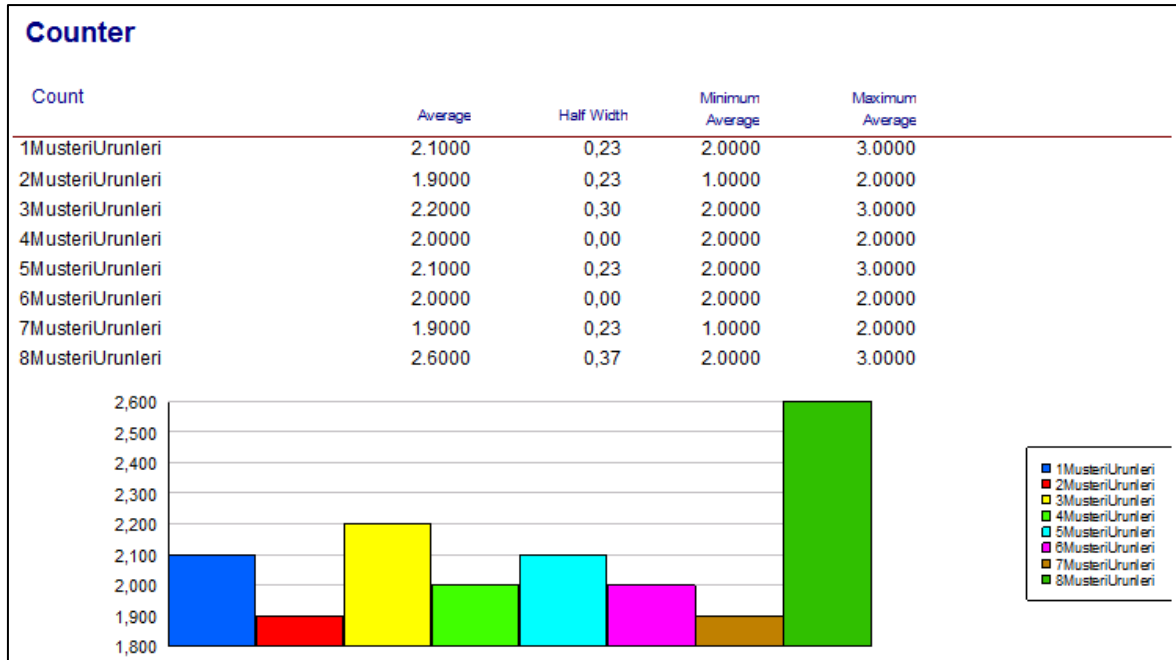
Müşteri kamyonları	Kuyrukta bekleme süresi	Kuyrukta bekleyen ürün sayısı
1. müşteri kamyonu	1,299	224
2. müşteri kamyonu	1,659	281
3. müşteri kamyonu	1,320	226
4. müşteri kamyonu	1,330	219
5. müşteri kamyonu	1,287	217
6. müşteri kamyonu	1,358	222
7. müşteri kamyonu	1,419	226
8. müşteri kamyonu	1,371	222

Çizelge 5.11 müşteri kamyonlarının önündeki kuyrukta ortalama bekleme zamanı ve kuyrukta bekleyen ortalama ürün sayısını göstermektedir. Buna göre 2. müşteri kamyonu 1,659 saat ile en çok kuyrukta bekleme süresine sahipken; 5. müşteri kamyonu 1,287 saat ile en az kuyrukta bekleme süresine sahiptir. 2. kamyonun önünde bekleyen ürün sayısı 281 ürün ile en çok, 5. kamyonun önündeki ürün sayısı 217 ile en azdır.



Şekil 5.4. Barkod makinelerinden günlük geçen toplam ürün sayısı

Şekil 5.4’de barkod makinelerinden günlük geçen toplam ürün sayısı gösterilmiştir. Buna göre 1. barkod makinesinden ortalama 4633 ile en çok ürün geçerken; 5. barkod makinesinden 742 ürün ile ortalama olarak en az ürün geçmiştir.



Şekil 5.5. Müşterileri ürünleri

Şekil 5.5’de sisteme eklenen sayaç modülü yardımı ile hangi müşteri için ne kadar ürün çıktığı bilgisi görünmektedir. Buna göre 8. müşteri için 2600 ürün ile en çok, 2 ve 7. müşteri için ise 1900 ürün ile en az ürün akışı gerçekleştirilmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çapraz sevkiyat, tedarik zincirinde ortaya çıkan maliyetlerde ve zamanlarda hayati önem taşıyan tasarruflar sağlayabilen bir tedarik zinciri anlayışıdır. Bu anlayışta geleneksel depo kavramı önemli ölçüde değişmiş, depo olarak adlandırılmak yerine giren ve çıkan ürünlerin eş zamanlı senkronize edilmesini amaçlayan transfer noktalarına dönüşmüştür. Temel anlayış stokların ortadan kaldırılarak işletmeye maddi avantaj sağlanmasına çalışılmasıdır. Söz konusu yaklaşımda bir depo alanına ihtiyaç olduğu görünse bile, çapraz sevkiyat olarak adlandırılabilmesi için bekleme süresinin en fazla 24 saat olması, işletmenin alan genişletme ve diğer koruma faaliyetlerini çok daha az maliyetlerle çözmesine imkân vermektedir.

Çapraz sevkiyatta, stok tutmanın yanı sıra işçilik maliyetlerinde de sayısız maliyet azalımı vardır. İhtiyaç duyulan daha küçük depolama alanı da büyük bir avantajdır. Depolama alanının gerektirdiği daha az alan, diğer katma değerli hizmetler için daha fazla alan bırakılır. Gelişmiş müşteri hizmetleri başka büyük bir avantajdır. Daha kısa teslimat süreleri ve daha fazla şeffaflık müşteri memnuniyetinin artmasına ve şirketin genel performansına katkıda bulunacaktır. Çapraz sevkiyat aynı zamanda, varış noktalarına gönderilmeden önce çapraz iskelede birleştirilen daha az kamyon yüklerinin teslimatlarını müşteriye yapabilmektedir. Bu sayede giden kamyonların boş yük alanları içermelerinden ziyade, tesisi tam yük dolu şekilde (tam kamyon yükü ile) terk etmeleri sağlanır.

Çapraz sevkiyat; perakende endüstrisinde, otomotiv, telekomünikasyon, elektronik ve tekstil sektöründe oldukça yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca üçüncü parti lojistik firmaları çoğunlukla çapraz sevkiyat sistemi altında operasyonlarını yürütmektedirler.

Çapraz sevkiyatta lojistik faaliyetlerinin artan önemi nedeniyle; literatürde daha az yer bulan, zaman pencereleri kısıtlamaları altındaki belirli bir çapraz sevkiyat merkezi için bir kapı tahsisi problemi bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Operasyonel düzeyde karar problemi incelenmiştir. Problem, çapraz sevkiyat düzeni kapı atama ve araç çizelgeleme (ÇSDKAAÇ) problemi olarak isimlendirilmiştir. İlk olarak, çapraz sevkiyatla ilgili kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır ve çapraz sevkiyat merkezinde karşılaşılan

sorunların analizi sunulmuştur. Daha sonra, bir çapraz sevkiyat merkezinin sistem analizi yapılmıştır ve bu sistemin bir günlük akışı incelenmiştir.

ÇSDKAAÇ probleminin modeli GAMS programı kullanarak çözülmüştür ve çözüm sonuçları analiz edilmiştir. Maliyetler baz alınarak kamyonların kapılara ataması gerçekleştirilmiştir. Buna göre işgücü maliyetlerinde % 9.2 kazanç sağlanmıştır. Ancak GAMS sonuçlarının karmaşıklığı ve sonuçların analiz edilmesinde yaşanan zorluklar nedeniyle, daha karmaşık bir problemin çözümü için ARENA tercih edilmiştir. Bunun üzerine, çapraz sevkiyat düzenini daha iyi analiz edebilmek amacıyla tedarikçilerden aynı anda kamyonların gelebileceği ve kuyruk oluşturabileceği varsayımı ile ARENA modeli oluşturulmuştur ve benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarına dayanarak, ürünlerin sistemde harcadıkları süre, ürünlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi, kuyrukta bekleyen ürünün bekleme süresi, ürünlerin servis süreleri, müşterilerin kuyrukta bekleme süresi, kuyrukta ortalama müşteri sayısı, kaynakların kullanım oranı ve kaynağın meşgul olma oranları ile ilgili sonuçlar yorumlanmıştır. ARENA ile daha esnek ve daha kullanışlı bir sistem gözlenebilir. Kuyrukta bekleme durumlarına göre, kapı sayısının artırılması veya kamyonun uygun olan kapıya aktarılması gibi kararlar verilebilir. Yapılan çalışmada olduğu gibi kaynak azaltımı durumunun daha uygun olduğu gözlenebilir ve uygulanabilir. Tedarikçi geliş saatleri sistemin uygun olma durumlarına göre düzenlenebilir.

Ayrıca GAMS ve ARENA ile çözümü yapılan problemde, GAMS her yolun maliyet hesabını yaparken, ARENA daha kapsamlı sonuçlar verebilmiştir. Bundan dolayı, karmaşık problemlerde ARENA daha çok tercih edilmektedir. GAMS ihtimallerin maliyetlerini belirtirken, ARENA sistemin her parçasının yüzde kaç kullanıldığı gibi birçok detaylı bilgi vermektedir. Fakat ARENA'nın belirtmeyip GAMS'in belirttiği maliyet gibi konular için de GAMS kullanılmalıdır. Bu tez çalışmasında iki program birlikte kullanılarak sistem tamamlanmak istenilmiştir. İlerleyen aşamalarda benzetim sonuçlarına dayanarak, modele daha fazla kısıt eklenerek (depolama alanı kapasite kısıtları vb) model geliştirilebilir. Aynı problem, sezgisel yöntemlerden biri ile çözümlenebilir. Çeşitli senaryolar oluşturulabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aickelin, U., ve Adewunmi, A. (2006). *Simulation optimization of the crossdock door assignment problem*. University of Nottingham, Leamington Spa, UK.
- Alpan, G., Ladier, A.L., Larbi, R. ve Penz, B. (2011). Heuristic solutions for transshipment problems in a multiple door cross docking warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 402–408.
- Apte, U.M., Viswanathan, S. (2000) Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *International Journal of Logistics*, 3(3),291 – 302.
- Arabani, A. B., Ghomi, S. F. ve Zandieh, M. (2011a). Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage. *Expert Systems with Applications*, 38, 1964–1979.
- Arabani, A. B., Zandieh, M. ve Ghomi, S. F. (2011b). Multi-objective genetic-based algorithms for a cross-docking scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 11, 4954–4970.
- Arabani, A. B., Zandieh, M. ve Ghomi, S. M. T. F. (2012). A cross-docking scheduling problem with subpopulation multi-objective algorithms. *International of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 741–761.
- Arabani, A. R. B., Ghomi, S. M. T. F. ve Zandieh, M. (2010). A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 741–756.
- Augustina, D., Lee, C. ve Piplani, R. (2010) A review: mathematical models for cross docking planning. *International Journal of Enginnering Business Management*, 47-54.
- Bachlaus, M., Pandey, M. K., Mahajan, C., Shankar, R., ve Tiwari, M. K. (2008). Designing an integrated multi-echelon agile supply chain network: a hybrid taguchi-particle swarm optimization approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19 (6), 747-761.
- Bartholdi, I. J. J. ve Gue, K. R. (2000). Reducing Labor Costs in an LTL Crossdocking Terminal. *Operation Research*, 48, 823-832.
- Bartholdi, I. J. J. ve Gue, K. R. (2004). The Best Shape for a Crossdock. *Transportation Science*, 38, 235-244.
- Belle, J. V., Valckenaers, P. ve Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art, *Omega*, 827–846.
- Belle, J. V., Valckenaers, P., Berghe, G. V. ve Cattrysse, D. (2013). A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 818–826.

- Bermúdez, R. ve Cole, M. H. (2001). A Genetic Algorithm Approach to Door Assignments in Breakbulk Terminals: A Technical Report of Mack-Blackwell National Rural Transportation StudyCenter, University of Arkansas: s.n.
- Boysen, N. (2010). Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals. *Computers & Operations Research*, 37, 32-41.
- Boysen, N. ve Flidner, M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. *Omega*, 38, 413–422.
- Boysen, N., Briskorn, D. ve Tschöke, M. (2013). Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures. *OR Spectrum*, 35, 479–504.
- Boysen, N., Flidner, M. ve Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR Spectrum*, 32, 135–161.
- Bozer, Y. A. ve Carlo, H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-thantruckload crossdocks. *IIE Transactions*, 40(11), 1007-1018.
- Buijs, P., Vis, I. F. ve Carlo, H. J. (2014). Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework. *European Journal of Operational Research*, 593-608.
- Chen, F. ve Lee, C.-Y. (2009). Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. *European Journal of Operational Research*, 193, 59–72.
- Chen, F. ve Song, K., (2009). Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 36, 2066 -- 2073.
- Chen, P., Guo, Y., Lim, A., ve Rodrigues, B. (2006). Multiple crossdocks with inventory and time windows. *Computers & Operations Research*, 33(1), 43-63.
- Chmielewski, A., Naujoks, B., Janas, M. ve Clausen, U. (2009). Optimizing the door assignment in LTLterminals. *Transportation Science*, 43, 198-210.
- Cohen, Y. ve Keren, B. (2009). Trailer to door assignment in a synchronous cross-dock operation. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 5, 574–590.
- Cohen, Y. ve Keren, B., (2008). A Simple Heuristic for Assigning Doors to Trailers in Cross-Docks. *Proceedings of the International Conference on Industrial Logistics (ICIL)*.
- Ertek, G. (2010) Çapraz sevkiyat için temel bilgiler, *Lojistik*, 13.
- Ertek, G. (2012). Crossdocking insights from a third party logistics firm in Turkey. In Managing supply chains on the Silk Road: Strategy, performance, and risk, C. Haksöz, S. Seshadri, and A. V. Iyer, Eds.

- Forouharfard, S. ve Zandieh, M. (2010). An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, 1179–1193.
- Gue, K. R. (1999). The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. *Transportation Science*, 33, 419-428.
- Gue, K. R. ve Kang, K. (2001). Staging Queues in Material Handling and Transportation Systems. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 1104-1108.
- Gümüş, M. ve Bookbinder, J. H. (2004). Cross-Docking And Its Implications In Location-Distribution Systems. *Journal of Business Logistics*, 25(2), 199-228.
- Hauser, K. ve Chung, C. H. (2006). Genetic algorithms for layout optimization in crossdocking operations of a manufacturing plant. *International Journal of Production Research*, 44, 4663-4680.
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J. ve Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *Journal of Production Research*, 43, 327-338.
- Jayaraman, V. ve Ross, A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*. 144, 629-645.
- Ji, K. (2010). Truck Scheduling Problem At A Cross-Docking Facility. (Master Thesis, The University of Memphis).
- Kinnear, E. (1997). Is there any magic in cross-docking?, *Supply Chain Management: An International Journal*, 2(Iss: 2), 49 - 52.
- Kulwiec, R. (2004). Crossdocking as a Supply Chain Strategy. *Target*, 20 (3), 28-35.
- Küçükoğlu, I. Ve Öztürk, N. (2014) Simulated Annealing Approach for Transportation Problem of Cross-docking Network Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 1180-1184.
- Ladier, A.-L. ve Alpan, G. (2015). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*.
- Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P. ve Penz, B. (2011). Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals. *Computers ve Operations Research*, 38, 889–900.
- Lee, Y. H., Jung, J. W. ve Lee, K. M. (2006). Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 247-256.
- Li, Z., Sim, C. H., Low, M. Y. H. ve Lim, Y. G. (2008). Optimal Product Allocation for Crossdocking and Warehousing Operations in FMCG Supply Chain. *Conference: Service Operations and Logistics, and informatics*.

- Liao, C. J., Lin, Y., ve Shih, S. C. (2010). Vehicle routing with cross-docking in the supply chain. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6868-6873.
- Liao, T., Egbelu, P. ve Chang, P. (2013). Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations. *International Journal of Production Economics*, 141, 212–229.
- Lim, A., Ma, H., ve Miao, Z. (2006, May). Truck dock assignment problem with time windows and capacity constraint in transshipment network through crossdocks. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 688-697.
- Lim, A., Miao, Z., Rodrigues, B., ve Xu, Z. (2005). Transshipment through crossdocks with inventory and time windows. *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(8), 724-733.
- Liu, Y., ve Takakuwa, S. (2009, December). Simulation-based personnel planning for materials handling at a cross-docking center under retail distribution environment. In *Winter Simulation Conference*, 2414-2425.
- Luo, G. ve Noble, J. S. (2012). An integrated model for crossdock operations including staging. *International Journal of Production Research*, 50, 2451-2464.
- Magableh, G. M. ve Rossetti, M. D. (2005). Modeling and analysis of a generic cross docking facility. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 1613-1620.
- Maknoon, M. Y., Baptiste, P., ve Kone, O. (2009). Optimal loading and unloading policy in cross-docking platform. *IFAC Proceedings*, Volumes, 42(4), 1280-1285.
- Maknoon, M. Y., Baptiste, P., ve Koné, O. (2009). Optimal loading and unloading policy in cross-docking platform. In *information Control Problems in Manufacturing*. Moscow, Russia, 1280–1285.
- McWilliams, D. L. (2009a). Genetic-based scheduling to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1607–1616.
- McWilliams, D. L. (2009b). A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 958–962.
- McWilliams, D. L. (2010). Iterative improvement to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 136–144.
- McWilliams, D. L. ve McBride, M. E. (2012). A beam search heuristics to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 62, 1080–1092.
- McWilliams, D. L., Stanfield, P. M. ve Geiger, C. D. (2005). The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach. *Computers & Industrial Engineering*, 49, 393–412.

- McWilliams, D. L., Stanfield, P. M. ve 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*, Volume 54, 709–720.
- Miao, Z., Fu, K., Fei, Q. ve Wang, F. (2008). Metaheuristic Algorithm for the Transshipment problem with Fixed Transportation Schedules. *Lecture Notes in Computer Science*. Volume. 5027, 601-610.
- Miao, Z., Lim, A. ve Ma, H. (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *European Journal Of Operational Research*, Volume 192, 105-115.
- Miao, Z., Cai, S. ve Xu, D. (2014). Applying an adaptive tabu search algorithm to optimize truck-dock assignment in the crossdock management system. *European Journal Of Operational Research*, Volume 192, 16-115.
- Moghadam, S. S., Ghomi, S. F., ve Karimi, B. (2014). Vehicle routing scheduling problem with cross docking and split deliveries. *Computers & Chemical Engineering*, 69, 98-107.
- Mosheiov, G. (1998). Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 34(3), 669-684.
- Musa, R., Arnaout, J. P. ve Jung, H. (2010). Ant colony optimization algorithm to solve for the transportation problem of cross-docking network. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 85-92.
- Oh, Y., Hwang, H., Cha, C. N. ve Lee, S. (2006). A Dock-Door Assignment Problem for the Korean Mail Distribution Center. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 51, 288-296.
- Rosales, C. R., Fry, M. J. ve Radhakrishnan, R. (2009). Transfreight reduces costs and balances workload at Georgetown crossdock. *Interfaces*, Volume 39(4), 316–328.
- Ross, A. ve 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, 64-79.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., ve Zijm, W. H. M. (2000), Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review, *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.
- Sandal, S. (2005). Staging approaches to reduce overall cost in a crossdock environment. *Master's Thesis*, University of Missouri.
- Schaffer, B. (2000). Implementing a successful crossdocking operation. *IEE Solutions*, 29 (10), 34-38.

- Shakeri, M., Low, M. Y. H., Turner, S. J. ve Lee, E. W. (2012). A robust two-phase heuristic algorithm for the truck scheduling problem in a resource-constrained crossdock. *Computers & Operations Research*, 39, 2564–2577.
- Shakeri, M., Low, M. Y. H., ve Li, Z. (2008). A generic model for crossdock truck scheduling and truck-to-door assignment problems. In *IEEE International Conference on Industrial informatics*. Daejeon, Korea, 857– 864.
- Shuib, A. ve Fatthi, W. N. (2012). A Review on Quantitative Approaches for Dock Door Assignment in Cross-Docking. *International Journal on Advanced Science Engineering information Tecnology*, 31-34.
- Soltani, R. ve Sadjadi, S. J. (2010). Scheduling trucks in crossdocking systems: A robust meta-heuristics approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 650–666.
- Stalk, G., Evans, P. ve Shulman, L. E. (1992). Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy. *Harvard Business Review*, 63(2) 57–69.
- Stephan, K. ve Boysen, N. (2011). Vis-à-vis vs. mixed dock door assignment: A comparison of different cross dock layouts. *Operations Management Research*, 4 (3-4), 150-163.
- Sung C.S. ve S. H. Song (2003). Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. *The Journal of the Operational Research Society*, 54, 1283-1295.
- Sung C.S. ve W. Yang (2008). An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59, 119 – 136.
- Takus, D.A. ve Profozich, D.M. (1997). ARENA Software. *Proceedings of the Winter Simulations Conference*, Pennsylvania, 541- 544.
- Tang, S.-L. ve Yan, H. Y. 2010. Pre-distribution vs. post-distribution for cross-docking with transshipments. *Omega*, 38, 3-4, 192–202.
- Tsui, L. Y. ve Chang, C.-H. (1990). A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. *Computers & Industrial Engineering*, 309-312.
- Tsui, L. Y. ve Chang, C.-H. (1992.) An optimal solution to a dock door assignment problem. *Computers ve Industrial Engineering*, 283-286.
- Tzoreff, T. E., Granot, D., Granot, F., ve Sošić, G. (2002). The vehicle routing problem with pickups and deliveries on some special graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 116(3), 193-229.
- Vahdani, B. ve Zandieh, M. (2010). Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust metaheuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 12–24.

- Vahdani, B., Soltani, R. ve Zandieh, M. (2010). Scheduling the truck holdover recurrent dock cross-dock problem using robust meta-heuristics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, 769–783.
- Vis, I. F. ve Roodbergen, K. J. (2008). Positioning of goods in a cross-docking environment. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 677 - 689.
- Vis, I. F. ve Roodbergen, K. J., (2011). Layout and control policies for cross docking operations. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 911 - 919.
- Vogt, J. J. (2010). The successful cross-dock based supply chain. *Journal of Business Logistics*, 31, 1, 99–119.
- Waller, M. A., Cassady, C. R., ve Ozment, J. (2006). Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(5), 359-382.
- Wang, J.-F. ve Regan, A. (2008). Real-time trailer scheduling for crossdock operations. *Transportation Journal*, 47(2), 5–20.
- Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J. F., ve Laporte, G. (2009). Vehicle routing with cross-docking. *Journal of the Operational Research Society*, 60(12), 1708-1718.
- Werners, B. ve Wülfing, T. (2010). Robust optimization of internal transports at a parcel sorting center operated by Deutsche Post World Net. *European Journal of Operational Research*, 419–426.
- Yan, H. Y. ve Tang, S. (2009). Pre-distribution and post-distribution cross-docking operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (6), 843–859.
- Yu, V. F., Sharma, D. ve Murty, K. G. (2008). Door Allocations to Origins and Destinations at Less-than-Truckload Trucking Terminals. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2, 1-15.
- Yu, W. ve Egbelu, P. J. (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. *European Journal of Operational Research*, 377-396.
- Zhang, L., Trouillet, B., Semet, F. (2016). Door assignment and resource management problem with truck time windows constraints in cross docks, *ROADF2016*.
- Zhang, L. (2016). Optimization and simulation of a cross-docking terminal. *Master's Thesis*, University of Ecole Centrale de Lille.





EK-1. Rıhtım kapı ataması problemi

Araştırmacılar	Kontrol Değişkenleri	Performans Ölçüleri	Yöntem
Tsui & Chang (1990)	İstif ve nakliye kapılarının sayısı Kapılar arasındaki mesafe Kapılar arasındaki mesafe Kaynaklar ve varış yerleri	Seyahat mesafesi	Mikrobilgisayar tabanlı araç
Tsui & Chang (1992)	İstif ve nakliye kapılarının sayısı Kapılar arasındaki mesafe Kaynaklar ve varış yerleri	Seyahat mesafesi	Dal ve sınır algoritması
Gue (1999)	Gelen kamyon seti Giden kamyon seti Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı Kapılar arasındaki mesafe Her varış yeri için toplam navlun ağırlığı Her gelen kamyon için kapasite	Seyahat süresi	Simülasyon
Bartholdi ve Gue (2000)	Kapı sayısı Toplam kaynak sayısı Toplam varış yeri sayısı Kapılar arasındaki mesafe Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı Forklift sayısı Her kapının önündeki depolama alanı	Seyahat süresi tikanıklık	Tavlama benzetimi
Bermúdez ve Cole (2001)	Kapı sayısı Toplam kaynak sayısı Toplam varış yeri sayısı Kapılar arasındaki mesafe Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı	Seyahat mesafesi	Genetik algoritma
Oh, Hwang, Cha ve Lee, (2006)	Kapı sayısı Toplam kaynak sayısı Toplam varış yeri sayısı Kapılar arasındaki mesafe Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı	Seyahat mesafesi	3 aşamalı sezgisel, genetik algoritma

EK-1. (devam) Rıhtım kapı ataması problemi

Araştırmacılar	Kontrol Değişkenleri	Performans Ölçüleri	Yöntem
Lim, Ma, Miao (2006)	Kapı sayısı Varış ve/veya kalkış yapan toplam kamyon sayısı Her bir kamyon için geliş ve gidiş zamanı Kapılar arasında seyahat süresi Her gelen kamyon dan her giden kamyon a palet sayısı Operasyonel ve ceza maliyetleri Kapasite	Toplam nakliye mesafesi	Tabu arama genetik algoritma
Cohen ve Keren (2008)	Kapı sayısı Toplam kaynak sayısı Toplam varış yeri sayısı Kapılar arasındaki mesafe Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı Gelen kamyonun kapasitesi Herhangi bir varış noktası için navlun içermesi gereken asgari kamyon sayısı	Seyahat mesafesi	Sezgisel
Yu, Sharma ve Murty (2008)	Her römorkun içindeki palet sayısı Her kapı için varış yeri Kapılar arasında seyahat süresi Ortalama palet yükleme ve boşaltma süresi	İş yükü	Yerel arama, genetik algoritma
Bozer ve Carlo (2008)	Kapı sayısı Her kapı için X ve Y koordinatları Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin ağırlığı	İş yükü	Tavlama benzetimi
Chmielewski, Naujoks, Janas ve Clausen (2009)	İstif ve nakliye kapılarının sayısı En erken varış saatleri Son kalkış saatleri Giden kamyon seti Tesis içerisindeki mesafeler	Seyahat mesafesi, bekleme süresi	Ayrışma ve sütun üretimi, evrimsel algoritma

EK-1. (devam) Rıhtım kapı ataması problemi

Araştırmacılar	Kontrol Değişkenleri	Performans Ölçüleri	Yöntem
Miao, Lim ve Ma (2009)	Kapı sayısı Varış ve/veya kalkış yapan toplam kamyon sayısı Her bir kamyon için geliş ve gidiş zamanı Kapılar arasında seyahat süresi Her gelen kamyon dan her giden kamyonu palet sayısı Operasyonel ve ceza maliyetleri Kapasite	Operasyonel maliyet	Tabu arama, genetik algoritma
Stephan ve Boysen (2011)	Kapı sayısı Terminal genişliği Kapıdan yatay koridora olan mesafe Kaynak başına atanan varış yerinin sayısı	Operasyonel performans	Tavlama benzetimi
Luo ve Noble (2012)	Kapı sayısı Kapılar arasındaki mesafeler Her bir kaynaktan her bir varış noktasına yüklerin miktarı Her depolama şeridinin(bekleme alanının) kapasitesi	Kamyon kullanımı, bekleme zamanı	LINGO çözücü, genetik algoritma

EK-2. Kamyon çizelgeleme problemi

Araştırmacı	Gelen	Giden	Kapı Sayısı	Bekleme Alanı	Servis	Peformans	Çözüm Yöntemi
McWilliams, Stanfield, Geiger (2008)	E	H	tanımlanmamış	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Simülasyon ve genetik Algoritma
Wang ve Regan (2008)	E	H	08/12 ve 16	∞	Özel	Tamamlanma zamanı, seyahat süresi, çıktı	Simülasyon
Yu ve Egbelu (2008)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Sezgiseller
Chen ve Lee (2009)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Polinom yaklaşımı, dal ve sınır algoritması
McWilliams (2009a)	E	H	tanımlanmamış	yok	Özel	İş Yüğü	Genetik algoritma
McWilliams (2009b)	E	H	tanımlanmamış	yok	Özel	Tamamlanma zamanı	Dinamik yük dengeleme algoritması
Miao, Lim ve Ma (2009)	E	E	tanımlanmamış	limitli	Karışık	Operasyonel maliyet, karşılanmamış teslimatlar	CPLEX, meta-Sezgiseller (genetik Algoritma, tabu Algoritması)
Rosales, Fry ve Radhakrishnan (2009)	E	H	tanımlanmamış		Özel	Toplam maliyet	CPLEX
Arabani, Ghomi ve Zandieh (2010)	E	E	2	∞	Özel	Erken gelme ve gecikme	Metasezgisel
Boysen (2010)	E	E	tanımlanmamış	yok	Özel	Tamamlanma zamanı, gecikme	Kesin (dinamik programlama), Sezgiseller (tavlama benzetimi)

EK-2. (devam) Kamyon çizelgeleme problemi

Araştırmacı	Gelen	Giden	Kapı Sayısı	Bekleme Alanı	Servis	Peformans	Çözüm Yöntemi
Boysen ve Flidner (2010)	E	H	tanımlanmamış	∞	Özel	Geciken gönderiler	Yalnızca model formülasyonu (çözülmedi)
Boysen, Flidner ve Scholl (2010)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Dinamik programlama
Forouharfard ve Zandieh (2010)	E	E	2	∞	Özel	Geçici depolama	Rekabetçi Algoritma
McWilliams (2010)	E	H	tanımlanmamış	yok	Özel	Tamamlanma zamanı	Yerel Arama ve Tavlama benzetimi
Vahdani, Soltani ve Zandieh (2010)	E	E	2	yok	Özel	Tamamlanma zamanı	Metasezgisel (genetik algoritma ve beklenti maksimizasyon algoritması)
Vahdani ve Zandieh (2010)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Metasezgiseller (Genetic algoritma, tabu arama, tavlama benzetimi, beklenti maksimizasyon algoritması ve değişken komşu arama)
Alpan, Ladier, Larbi, ve Penz (2011)	H	E	tanımlanmamış	∞ /limitli	Özel	Taşıma ve depolama maliyetleri	Sezgiseller

EK-2. (devam) Kamyon çizelgeleme problemi

Araştırmacı	Gelen	Giden	Kapı Sayısı	Bekleme Alanı	Servis	Peformans	Çözüm Yöntemi
Arabani, Ghomi ve Zandieh (2011a)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı	Metasezgisel (genetik algoritma, tabu algoritması, parçacık sürüşü algoritması, karınca koloni optimizasyonu ve diferansiyel denklemler)
Arabani, Zandieh ve Ghomi (2011b)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı ve toplam gecikme	Metasezgisel (Genetik algoritma ve evrimsel algoritma)
Larbi, Alpan, Baptiste ve Penz (2011)	E	E	2	∞	Özel	Taşıma ve depolama maliyetleri	Polinom zaman algoritması, sezgiseller
Arabani, Zandieh ve Ghomi (2012)	E	E	2	∞	Özel	Tamamlanma zamanı ve giden kamyonların toplam gecikmesi	Metasezgisel Genetik algoritma
McWilliams & McBride (2012)	E	H	tanımlanmamış	yok	Özel	Tamamlanma zamanı	Sezgiseller
Shakeri, Low, Turner ve Lee (2012)	E	E	tanımlanmamış	∞	Karışık	Tamamlanma zamanı	İki fazlı sezgiseller algoritma
Belle, Valckenaers, Berghe ve Cattrysse (2013)	E	E	tanımlanmamış	∞	Özel	Gecikme	Tabu algoritması

EK-2. (devam) Kamyon çizelgeleme problemi

Araştırmacı	Gelen	Giden	Kapı Sayısı	Bekleme Alanı	Servis	Peformans	Çözüm Yöntemi
Boysen, Briskorn, Tschöke (2013)	E	H	tanımlanmamış	yok	Özel	Kâr	Sezgiseller (Ayrışma ve tavlama benzetimi)
Liao, Egbeluve Chang (2013)	E	H	2	∞	Özel	Gecikme	Metasezgisel

EK-3. GAMS kodu

sets

m gelen kamyon sayısı /1*8/

n giden kamyon sayısı /1*8/

i alıcı kapısı sayısı /1*5/

g /1*16/ ;

alias (i,j);

alias (m,h);

alias (n,u);

table k(i,j) yatay nakliyeler için alıcı kapı i ile nakliye kapısı j arasındaki transfer kaynaklarının sayısı

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1
4	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0

scalar c1 alıcı kapıdaki ve nakliye kapısındaki boşaltmak ve yüklemek için kullanılan kaynak başına maliyet /100/;

scalar p1 birim saat boyunca kaynak başına boşaltma ve yükleme hızı /1.25/;

scalar c2 öğeleri sıralamak için kullanılan kaynak başına maliyet /25/;

scalar p2 birim saat boyunca kaynak başına sıralama hızı /0.75/;

parameters a(m) gelen m aracının çapraz iskelede varış zamanı /1 0, 2 60, 3 120, 4 180, 5 240, 6 330, 7 390, 8 450/ ;

parameters b(m) gelen kamyon m'nin çapraz iskeleden kalkış süresi / 1 30, 2 90, 3 150, 4 210, 5 270, 6 360, 7 420, 8 480/;

parameters c(n) Giden kamyonun n çapraz iskelede varış zamanı / 1 0, 2 45, 3 105, 4 165, 5 225, 6 330, 7 390, 8 450/ ;

parameters d(n) Giden kamyon n'nin iskeleden kalkış saati / 1 45, 2 135, 3 195, 4 255, 5 345, 6 405, 7 465, 8 540/;

table distance(i,j) alıcı kapı i ve nakliye kapısı j arasındaki mesafe

	1	2	3	4	5
1	5	7	8	10	13
2	7	5	7	8	10
3	8	7	5	7	8
4	10	8	7	5	7
5	13	10	8	7	5

table delta(i,j) malların i kapısını almadan nakliye kapısına j taşıma süresi

	1	2	3	4	5
1	2	3	5	7	10
2	3	2	3	5	7
3	5	3	2	3	5
4	7	5	3	2	3
5	10	7	5	3	2

EK-3. (devam) GAMS kodu

[illegible]

EK-3. (devam) GAMS kodu

```

(4.3) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(4.4) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(4.5) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(4.6) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(4.7) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(4.8) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(5.1) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(5.2) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(5.3) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(5.4) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(5.5) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(5.6) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(5.7) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(5.8) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(6.1) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(6.2) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(6.3) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(6.4) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(6.5) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(6.6) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(6.7) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(6.8) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(7.1) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(7.2) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

EK-3. (devam) GAMS kodu

```

(7.3) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(7.4) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(7.5) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(7.6) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(7.7) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(7.8) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(8.1) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.2) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.3) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.4) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.5) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.6) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(8.7) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(8.8) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1;

```

binary variables

$x(m,i)$ gelen kamyon m kapı i'ye atanmışsa

$x(h,i)$

$y(n,j)$ giden kamyon n nakliye kapısı j ye atanmışsa

$Z(i,j,m,n)$ gelen araç m kapı i ye atanmışsa ve giden kamyon n nakliye kapısı j ye atanmışsa ;

variables ze amaç fonksiyonu;

integer variables

$r(i)$ i kapısındaki boşaltma kaynaklarının sayısı

EK-3. (devam) GAMS kodu

$s(j)$ nakliye kapısındaki yükleme kaynaklarının sayısı

$ka(i,j)$ yatay nakliyeler için alıcı kapı i ile nakliye kapısı j arasındaki transfer kaynaklarının sayısı;

equations

cost objective function

$k1(m), k2(n), k3, k4, k5, k6, k7, k8(m,h,i), k9(n,u,j), k10(i,g), k11(i,j), k12(i,j);$

EK-3. (devam) GAMS kodu

```

cost.. ze=e=(sum(m,f(m))*sum((i,j), distance(i,j))*sum((i,j)$((ord(j)
= ord(i)+1) and (ord(i) ne card(i))), c1*k(i,j)))
+ (sum(m,f(m))*sum((i,j),distance(i,j))*sum(i,c2*r(i)))
+(sum(m,f(m))*sum((i,j),distance(i,j))*sum(j,c2*s(j)))
+
(sum((m,n,i,j),1-
q3(m,n,i,j)*z(i,j,m,n))*(sum((m,n),p*w(m,n)))*(sum(m,f(m))*sum((i,j),distance(i,j))))
+ sum((m,n,i,j),w(m,n)*distance(i,j)*z(i,j,m,n))) ;

k1(m).. sum(i,x(m,i))=l=1;

k2(n).. sum(j,y(n,j))=l=1;

k3(i,j,m,n).. z(i,j,m,n)=l=x(m,i);

k4(i,j,m,n).. z(i,j,m,n)=l=y(n,j);

k5(i,j,m,n).. z(i,j,m,n)=l=x(m,i)+y(n,j)-1;

k6(m,i).. f(m)*x(m,i)=l=p1*r(i)*(b(m)-a(m));

k7(n,j).. v(n)*y(n,j)=l=p1*s(j)*(d(n)-c(n)) ;

k8(m,h,i) $(ord(m) <> ord(h)).. 2*(q1(m,h)+ q1(h,m))-(x(m,i)+x(h,i)-1)=g=0;

k9(n,u,j) $(ord(n) <> ord(u)).. 2*(q2(n,u)+ q2(u,n))-(y(n,j)+y(u,j)-1)=g=0;

k10(i,g) $(ord(i) ne card(i)).. sum((j,m,n)$((ord(j) gt ord(i)+1) and (a(m) lt t(g)) and (b(m)
gt t(g)) and (d(n) gt a(m)+delta(i,j)) and (d(n) gt t(g))), (w(m,n)/(d(n)-
a(m)))*(z(i,j,m,n)+z(j,i,m,n)))=l= p2*ka(i,i+1);

k11(i,j) $(ord(i) = ord(j)).. ka(i,j) =e=0;

k12(i,j) $(ord(i)+1 = ord(j)).. ka(i,j)=g=1;

model yukseklisans /all/;
solve yukseklisans using minlp minimizing ze;
display x.l,y.l,ze.l;

```

EK-4. GAMS maliyet hesaplaması detayları

Tedarikçilerin 1. kapıya atanmaları durumu						
1. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
	7	125	100	94	84	79
	3	137	111	103	92	80
	8	139	116	107	95	82
	4	149	127	113	99	86
	6	153	131	120	103	89
	2	157	135	125	109	93
	5	168	150	138	125	105
	1	175	160	153	137	119
Maliyet	4763	1203	1030	953	844	733
2. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
	1	31	14	11	6	1
	8	137	111	103	92	80
	5	139	116	107	95	82
	4	149	127	113	99	86
	3	157	135	125	109	93
	6	168	150	138	125	105
	2	175	160	153	137	119
	7	175	160	153	137	119
Maliyet	4492	1131	973	903	800	685
3. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
	2	40	24	17	9	3
	1	64	56	50	41	30
	4	125	100	94	84	79
	7	148	124	112	98	85
	3	149	127	113	99	86
	8	156	133	123	105	91
	5	166	147	136	122	102
	6	190	185	182	175	163
Maliyet	4133	1038	896	827	733	636
4. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
	2	58	46	38	29	15
	3	61	51	47	36	22
	1	66	58	53	45	33
	6	140	117	108	96	83
	4	152	130	118	101	88
	7	162	141	134	115	97
	8	178	164	158	143	126
	5	186	177	172	161	146
Maliyet	4051	1003	884	828	726	610

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
5. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	4	49	34	30	18	7
	2	70	62	60	53	44
	1	74	71	67	63	57
	3	78	77	76	73	69
	5	138	114	106	94	81
	6	156	133	123	105	91
	7	170	155	145	131	110
	8	188	180	173	165	151
Maliyet	3841	923	826	780	702	610
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
6. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	2	31	14	11	6	1
	1	39	23	16	8	2
	5	55	42	35	25	13
	3	63	54	48	39	28
	4	66	58	53	45	33
	7	150	128	114	100	87
	6	154	132	121	104	90
	8	179	166	159	144	129
Maliyet	2765	737	617	557	471	383
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
7. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	2	49	34	30	18	7
	3	52	37	32	21	10
	1	66	58	53	45	33
	6	74	71	67	63	57
	5	75	72	68	65	59
	4	78	77	76	73	69
	7	184	174	169	159	142
	8	191	187	183	176	167
Maliyet	3321	769	710	678	620	544
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1.kapı	2.kapı	3.kapı	4.kapı	5.kapı
8. tedarikçinin 1. alıcı kapıya atanması durumu	2	41	26	19	11	4
	6	41	26	19	11	4
	7	43	27	20	12	5
	1	49	34	30	18	7
	5	49	34	30	18	7
	3	66	58	53	45	33
	4	66	58	53	45	33
	8	192	189	187	181	171
Maliyet	2015	547	452	411	341	264

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

Tedarikçilerin 2. kapıya atanmaları durumu						
1. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	7	100	125	100	94	84
	3	111	137	111	103	92
	8	116	139	116	107	95
	4	127	149	127	113	99
	6	131	153	131	120	103
	2	135	157	135	125	109
	5	150	168	150	138	125
	1	160	175	160	153	137
Maliyet	5060	1030	1203	1030	953	844
2. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	1	14	31	14	11	6
	8	111	137	111	103	92
	5	116	139	116	107	95
	4	127	149	127	113	99
	3	135	157	135	125	109
	6	150	168	150	138	125
	2	160	175	160	153	137
	7	160	175	160	153	137
Maliyet	4780	973	1131	973	903	800
3. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	24	40	24	17	9
	1	56	64	56	50	41
	4	100	125	100	94	84
	7	124	148	124	112	98
	3	127	149	127	113	99
	8	133	156	133	123	105
	5	147	166	147	136	122
	6	185	190	185	182	175
Maliyet	4390	896	1038	896	827	733
4. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	46	58	46	38	29
	3	51	61	51	47	36
	1	58	66	58	53	45
	6	117	140	117	108	96
	4	130	152	130	118	101
	7	141	162	141	134	115
	8	164	178	164	158	143
	5	177	186	177	172	161
Maliyet	4325	884	1003	884	828	726

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
5. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	4	34	49	34	30	18
	2	62	70	62	60	53
	1	71	74	71	67	63
	3	77	78	77	76	73
	5	114	138	114	106	94
	6	133	156	133	123	105
	7	155	170	155	145	131
	8	180	188	180	173	165
Maliyet	4057	826	923	826	780	702
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
6. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	2	14	31	14	11	6
	1	23	39	23	16	8
	5	42	55	42	35	25
	3	54	63	54	48	39
	4	58	66	58	53	45
	7	128	150	128	114	100
	6	132	154	132	121	104
	8	166	179	166	159	144
Maliyet	2999	617	737	617	557	471
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
7. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	2	34	49	34	30	18
	3	37	52	37	32	21
	1	58	66	58	53	45
	6	71	74	71	67	63
	5	72	75	72	68	65
	4	77	78	77	76	73
	7	174	184	174	169	159
	8	187	191	187	183	176
Maliyet	3487	710	769	710	678	620
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
8. tedarikçinin 2. alıcı kapıya atanması durumu	2	26	41	26	19	11
	6	26	41	26	19	11
	7	27	43	27	20	12
	1	34	49	34	30	18
	5	34	49	34	30	18
	3	58	66	58	53	45
	4	58	66	58	53	45
	8	189	192	189	187	181
Maliyet	2203	452	547	452	411	341

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

Tedarikçilerin 3. kapıya atanmaları durumu						
1. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	7	94	100	125	100	94
	3	103	111	137	111	103
	8	107	116	139	116	107
	4	113	127	149	127	113
	6	120	131	153	131	120
	2	125	135	157	135	125
	5	138	150	168	150	138
	1	153	160	175	160	153
Maliyet	5169	953	1030	1203	1030	953
2. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	1	11	14	31	14	11
	8	103	111	137	111	103
	5	107	116	139	116	107
	4	113	127	149	127	113
	3	125	135	157	135	125
	6	138	150	168	150	138
	2	153	160	175	160	153
	7	153	160	175	160	153
Maliyet	4883	903	973	1131	973	903
3. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	17	24	40	24	17
	1	50	56	64	56	50
	4	94	100	125	100	94
	7	112	124	148	124	112
	3	113	127	149	127	113
	8	123	133	156	133	123
	5	136	147	166	147	136
	6	182	185	190	185	182
Maliyet	4484	827	896	1038	896	827
4. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	38	46	58	46	38
	3	47	51	61	51	47
	1	53	58	66	58	53
	6	108	117	140	117	108
	4	118	130	152	130	118
	7	134	141	162	141	134
	8	158	164	178	164	158
	5	172	177	186	177	172
Maliyet	4427	828	884	1003	884	828

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
5. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	4	30	34	49	34	30
	2	60	62	70	62	60
	1	67	71	74	71	67
	3	76	77	78	77	76
	5	106	114	138	114	106
	6	123	133	156	133	123
	7	145	155	170	155	145
	8	173	180	188	180	173
Maliyet	4135	780	826	923	826	780
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
6. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	2	11	14	31	14	11
	1	16	23	39	23	16
	5	35	42	55	42	35
	3	48	54	63	54	48
	4	53	58	66	58	53
	7	114	128	150	128	114
	6	121	132	154	132	121
	8	159	166	179	166	159
Maliyet	3085	557	617	737	617	557
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
7. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	2	30	34	49	34	30
	3	32	37	52	37	32
	1	53	58	66	58	53
	6	67	71	74	71	67
	5	68	72	75	72	68
	4	76	77	78	77	76
	7	169	174	184	174	169
	8	183	187	191	187	183
Maliyet	3545	678	710	769	710	678
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
8. tedarikçinin 3. alıcı kapıya atanması durumu	2	19	26	41	26	19
	6	19	26	41	26	19
	7	20	27	43	27	20
	1	30	34	49	34	30
	5	30	34	49	34	30
	3	53	58	66	58	53
	4	53	58	66	58	53
	8	224	263	355	263	224
Maliyet	2658	448	526	710	526	448

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

Tedarikçilerin 4. kapıya atanmaları durumu						
1. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	7	84	94	100	125	100
	3	92	103	111	137	111
	8	95	107	116	139	116
	4	99	113	127	149	127
	6	103	120	131	153	131
	2	109	125	135	157	135
	5	125	138	150	168	150
	1	137	153	160	175	160
Maliyet	5060	844	953	1030	1203	1030
2. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	1	6	11	14	31	14
	8	92	103	111	137	111
	5	95	107	116	139	116
	4	99	113	127	149	127
	3	109	125	135	157	135
	6	125	138	150	168	150
	2	137	153	160	175	160
	7	137	153	160	175	160
Maliyet	4780	800	903	973	1131	973
3. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	9	17	24	40	24
	1	41	50	56	64	56
	4	84	94	100	125	100
	7	98	112	124	148	124
	3	99	113	127	149	127
	8	105	123	133	156	133
	5	122	136	147	166	147
	6	175	182	185	190	185
Maliyet	4390	733	827	896	1038	896
4. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	29	38	46	58	46
	3	36	47	51	61	51
	1	45	53	58	66	58
	6	96	108	117	140	117
	4	101	118	130	152	130
	7	115	134	141	162	141
	8	143	158	164	178	164
	5	161	172	177	186	177
Maliyet	4325	726	828	884	1003	884

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
5. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	4	18	30	34	49	34
	2	53	60	62	70	62
	1	63	67	71	74	71
	3	73	76	77	78	77
	5	94	106	114	138	114
	6	105	123	133	156	133
	7	131	145	155	170	155
	8	165	173	180	188	180
Maliyet	4057	702	780	826	923	826
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
6. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	2	6	11	14	31	14
	1	8	16	23	39	23
	5	25	35	42	55	42
	3	39	48	54	63	54
	4	45	53	58	66	58
	7	100	114	128	150	128
	6	104	121	132	154	132
	8	144	159	166	179	166
Maliyet	2999	471	557	617	737	617
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
7. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	2	18	30	34	49	34
	3	21	32	37	52	37
	1	45	53	58	66	58
	6	63	67	71	74	71
	5	65	68	72	75	72
	4	73	76	77	78	77
	7	159	169	174	184	174
	8	176	183	187	191	187
Maliyet	3487	620	678	710	769	710
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
8. tedarikçinin 4. alıcı kapıya atanması durumu	2	11	19	26	41	26
	6	11	19	26	41	26
	7	12	20	27	43	27
	1	18	30	34	49	34
	5	18	30	34	49	34
	3	45	53	58	66	58
	4	45	53	58	66	58
	8	181	187	189	192	193
Maliyet	2207	341	411	452	547	456

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

Tedarikçilerin 5. kapıya atanmaları durumu						
1. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	7	79	84	94	100	125
	3	80	92	103	111	137
	8	82	95	107	116	139
	4	86	99	113	127	149
	6	89	103	120	131	153
	2	93	109	125	135	157
	5	105	125	138	150	168
	1	119	137	153	160	175
Maliyet	4763	733	844	953	1030	1203
2. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	1	1	6	11	14	31
	8	80	92	103	111	137
	5	82	95	107	116	139
	4	86	99	113	127	149
	3	93	109	125	135	157
	6	105	125	138	150	168
	2	119	137	153	160	175
	7	119	137	153	160	175
Maliyet	4492	685	800	903	973	1131
3. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	3	9	17	24	40
	1	30	41	50	56	64
	4	79	84	94	100	125
	7	85	98	112	124	148
	3	86	99	113	127	149
	8	91	105	123	133	156
	5	102	122	136	147	166
	6	163	175	182	185	190
Maliyet	4133	639	733	827	896	1038
4. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
	2	15	29	38	46	58
	3	22	36	47	51	61
	1	33	45	53	58	66
	6	83	96	108	117	140
	4	88	101	118	130	152
	7	97	115	134	141	162
	8	126	143	158	164	178
	5	146	161	172	177	186
Maliyet	4051	610	726	828	884	1003

EK-4. (devam) GAMS maliyet hesaplaması detayları

	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
5. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	4	7	18	30	34	49
	2	44	53	60	62	70
	1	57	63	67	71	74
	3	69	73	76	77	78
	5	81	94	106	114	138
	6	91	105	123	133	156
	7	110	131	145	155	170
	8	151	165	173	180	188
Maliyet	3841	610	702	780	826	923
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
6. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	2	1	6	11	14	31
	1	2	8	16	23	39
	5	13	25	35	42	55
	3	28	39	48	54	63
	4	33	45	53	58	66
	7	87	100	114	128	150
	6	90	104	121	132	154
	8	129	144	159	166	179
Maliyet	2765	383	471	557	617	737
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
7. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	2	7	18	30	34	49
	3	10	21	32	37	52
	1	33	45	53	58	66
	6	57	63	67	71	74
	5	59	65	68	72	75
	4	69	73	76	77	78
	7	142	159	169	174	184
	8	167	176	183	187	191
Maliyet	3321	544	620	678	710	769
	Müşteri	Nakliye kapısı				
		1. kapı	2. kapı	3. kapı	4. kapı	5. kapı
8. tedarikçinin 5. alıcı kapıya atanması durumu	2	4	11	19	26	41
	6	4	11	19	26	41
	7	5	12	20	27	43
	1	7	18	30	34	49
	5	7	18	30	34	49
	3	33	45	53	58	66
	4	33	45	53	58	66
	8	171	181	187	189	192
Maliyet	2015	264	341	411	452	547

EK-5. ARENA açıklamaları

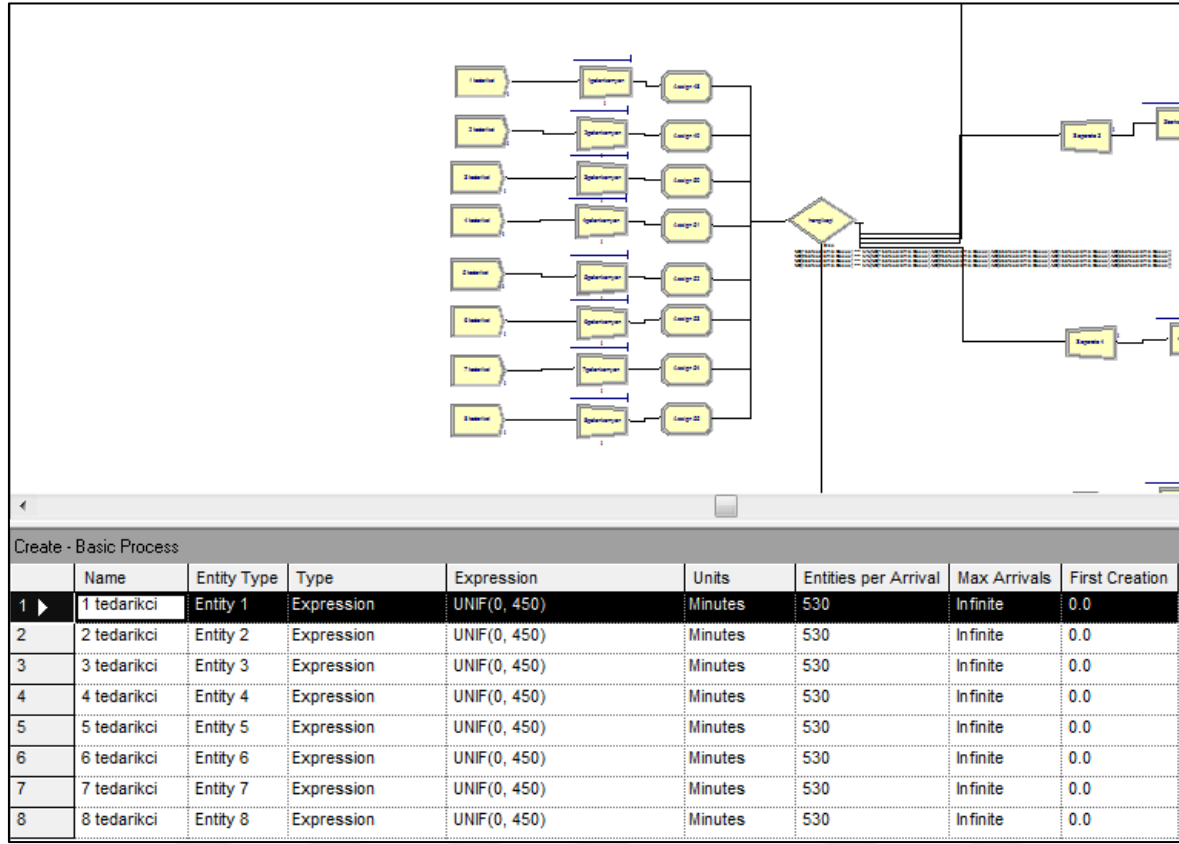
Create Modülü

Bu modül ile tedarikçilerden çapraz sevkiyat merkezine ürünlerin gelişleri oluşturulmuştur. ARENA’da ürün bazında raporlamalar yapabilmek adına sistem ürünlerin üretiminden itibaren başlatılmıştır. Tedarikçilerden gelen kamyonların, GAMS’de çözülen modeldeki verilerde, kamyonların taşıdığı miktarların ortalaması olan 530’ar ürün taşıdığı kabul edilmiştir. Ayrıca gelişler arası süre için; GAMS’de yapılan çözümde tedarikçilerin geliş süreleri 60’ar dk aralıklarla birer kamyon olarak alınmıştır. Her tedarikçiden bir kamyon geldiği varsayılmıştır. ARENA’da ise daha karmaşık bir problem değerlendirilmek istenmiştir. Sistemdeki her bir tedarikçi sürekli düzgün dağılıma uygun olarak 530’ar ürün üretmiştir ve bu ürünler kamyonlara yüklenip yola çıkmaktadır. Yani sistem, 8 kamyonundan ziyade 8 ayrı tedarikçiden gelen sürekli kamyonlar olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.1’de create modülü içerisinde tanımlanan kamyonların taşıdığı miktar ve gelişler arası süre, Şekil 5.2’de 8 tedarikçi için tanımlanan create modülünün ayrıntıları gösterilmiştir.

Name:		Entity Type:	
1 tedarikci		Entity 1	
Time Between Arrivals			
Type:	Expression:	Units:	
Expression	UNIF(0, 450)	Minutes	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
530	Infinite	0.0	
OK		Cancel Help	

Şekil 5.1. Create verilerinin gösterimi

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

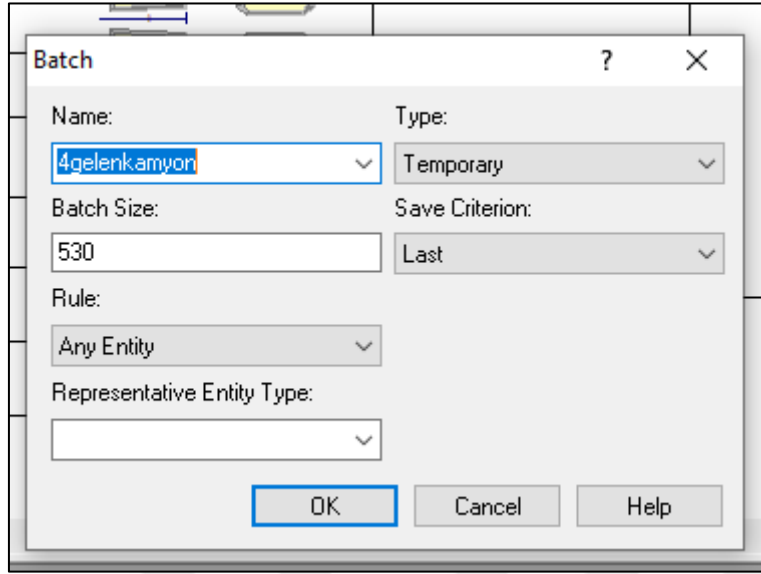


Şekil 5.2. Tedarikçi için create modülü bilgileri

Batch Modülü (Gelen Kamyon)

Ürün bazında başlayan sistem çapraz sevkiyat noktasına kamyonlar halinde gelmektedir. Batch modülü ürünlerin birer kamyon olarak gruplandırılması için kullanılmıştır. Yani bu modül, giren varlıklar 530'a ulaşana kadar ürünleri kuyruğa yerleştirmektedir ve verilen sayıya ulaşıldığında bunu bir kamyon yapmaktadır. Daha sonra kullanılacak olan separate modülü ile, gruplandırma tekrar ürün bazına ayrılacağı için type olarak temporary (geçici) seçilmiştir. Modül içine girilen veriler Şekil 5.3'de verilmiştir.

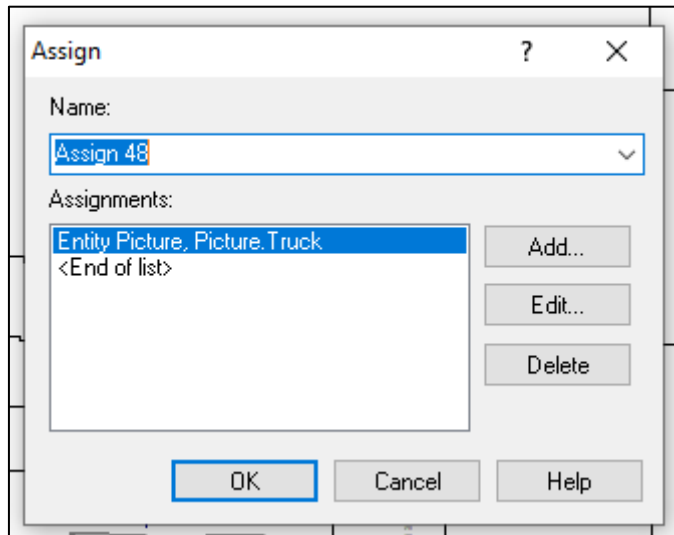
EK-5. (devam) ARENA açıklamaları



Şekil 5.3. Batch verilerinin gösterimi

Assign Modülü (Gelen Kamyon)

Batch modülünden sonra atanan assign modülü, ürünler kamyonu yüklendikten sonra ilerleyen ürün görselinin kamyon olarak görülmesi için kullanılmıştır. Modül içine girilen veriler Şekil 5.4’de verilmiştir.

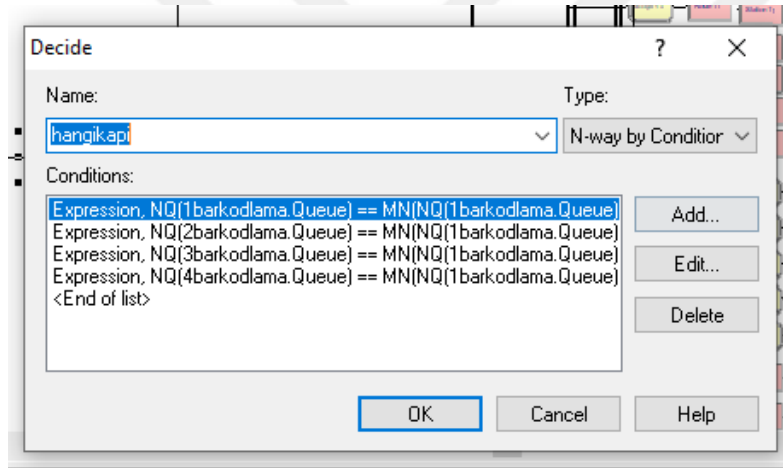


Şekil 5.4. Assign verilerinin gösterimi (gelen kamyon için)

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Decide Modülü (Hangi Kapı)

Kamyonlar çapraz sevkiyat noktasına geldikten sonraki ilk karar, gelen kamyonun hangi kapıya atanması gerektiğidir. Decide modülünde bundan sonraki ilk kuyruk oluşabilecek prosesteki kuyruk durumları değerlendirilerek, kuyruğu en az olan kapıya atama gerçekleştirilmiştir. Sistemde proseslerde yine de eşit olmayan kuyruklar görülmesinin sebebi ise şu an atanan entitynin kamyon ve kapıya atandıktan sonra, yani barkodlama prosesindeki işlemin ürün bazında gerçekleşmesidir. Bu sebeple herhangi bir kapıya atanan herhangi bir kamyon tek seferde 530 ürünü o prosese atamış olduğu için kuyruk yine de oluşmaktadır. Modül içine girilen veriler Şekil 5.5’de verilmiştir.

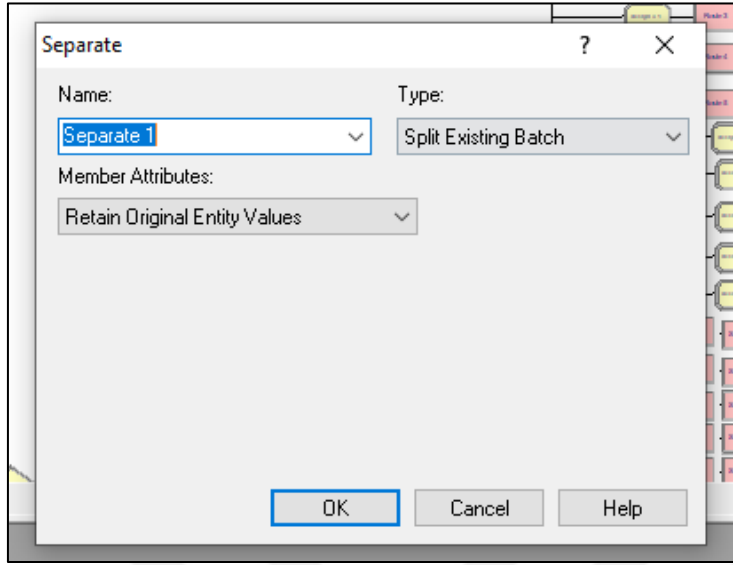


Şekil 5.5. Decide verilerinin gösterimi (gelen kamyon için)

Separate Modülü

Kapı seçiminden sonra entity’ler orjinal haline dönüştürülmekte yani ürünler kamyonlardan ayrılıp sistemin içinde tek tek hareket edebilir hale gelmektedir. Batch modülü içinde de açıklandığı gibi, batch modülünde birleştirilen grubu (530 üründen oluşturduğunuz kamyon grubu) böldüğü için type olarak split existing batch seçilmiştir. Modül içine girilen veriler Şekil 5.6’da verilmiştir.

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları



Şekil 5.6. Separate verilerinin gösterimi

Process Modülü

Şimdiye kadar kullanılan hiçbir modüle süre harcanmamıştır. Sistemde ilk süre yaratan işlem, ürünlerin kamyonlardan ayrılıp çapraz iskeleye yerleştirilmesidir. Koliler kamyonlardan ayrıldıktan sonra barkodlama prosesleriyle her koliye barkod yapıştırılarak hangi müşteriye gideceği belirtilir. Bu işlem için ürün başına 3 saniye kabul edilmiştir. GAMS sisteminden farklı olarak ARENA’da yükleme ve boşaltma süreleri sisteme dahil edilmemiştir. Buna da barkodlama işlemi denmesinin sebebi bu prosesden sonra hangi müşteriye gideceğinin kararı verilmektedir. Böyle sistemlerde bu karar için genelde RFID sistemler kullanılmaktadır, barkod okuma da benzer bir sistemdir. Kaynak olarak, 5 barkodlama makinesi olduğu düşünülmüştür ve her biri için process modülü tanımlanmıştır. Modül içine girilen veriler Şekil 5.7’de verilmiştir.

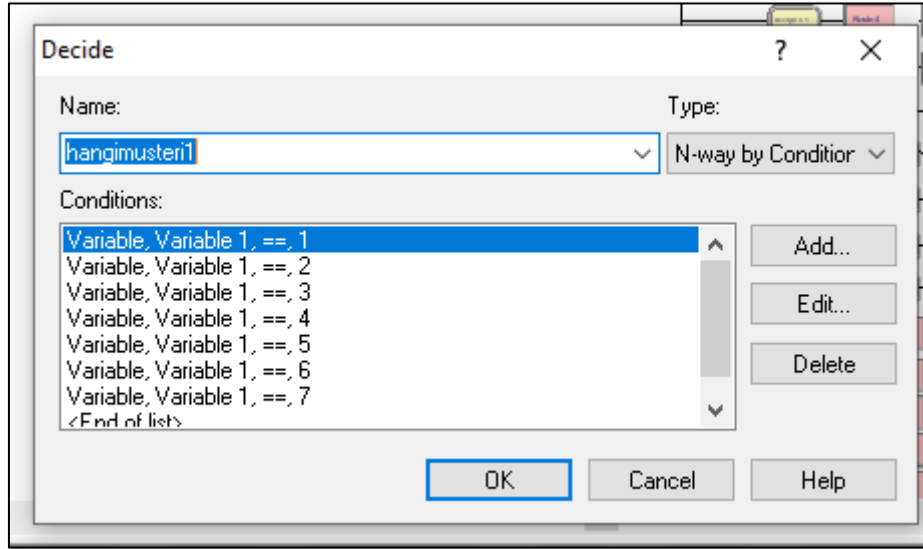
EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Şekil 5.7. Process verilerinin gösterimi

Decide Modülü (Hangi müşteri)

Hangi müşteri karar modülü, bir kapiya atanan ürünlerin sırasıyla müşterilere dağıtılması için tasarlanmıştır. Her müşteriye birinci kapıdan gelecek ürünler için variable 1 değerleri atanmıştır. Variable 1 değeri 1'e eşitse ürün, birinci müşteriye gönderilir ve birinci müşteriye o ürün gittiğinde variable 1 değerini 2'ye çevirir. Variable 1 değeri sekizinci müşteri için ayrılan bölüme ulaştığı zaman sistemdeki variable 1 değerini 1'e eşitler. Bu şekilde tüm müşterilere tüm ürünlerden eşit miktarlarda iletilir. Hangi müşteri decide modülünden beş tane bulunmaktadır çünkü sistemde 5 tedarikçi kapısı vardır. 7 ihtimal ve 1 diğer ihtimalle birlikte toplamda 8 ihtimal bulunmaktadır çünkü 8 ayrı müşteri vardır. Fakat 8 müşteri kapısı bulunmadığı için sistemin içinde ara stok olarak bekleyen ürün grupları bulunmaktadır. Modül içine girilen veriler Şekil 5.8'de verilmiştir

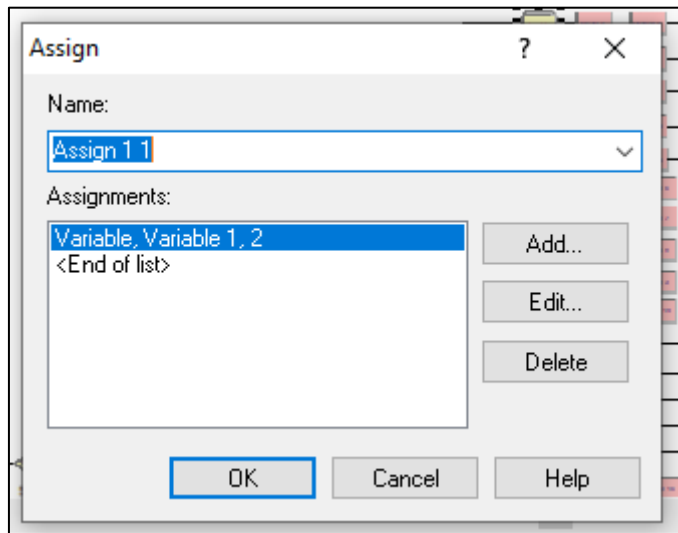
EK-5. (devam) ARENA açıklamaları



Şekil 5.8. Decide verilerinin gösterimi

Assign Modülü (Değişken atama)

1. tedarikçi kapısındaki 1. ürün, 1. müşteri kapısına gönderildikten sonra sisteme artık variable 1 değerinin 2 ye eşitlenmesi gerektiği assign modülüyle belirtilir. Modül içine girilen veriler Şekil 5.9’de verilmiştir.



Şekil 5.9. Assign verilerinin gösterimi(değişken atama)

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Route Modülü

Tedarikçi kapılarına atanan kamyonların ürünlerinin hangi müşteri kapısına atanacağı kararını öğrendikten sonra, sistemin asıl işi olan taşıma kısmına geçilmiştir. Kapılar arası işlem süreleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir

Çizelge 5.1. Kapılar arası işlem süreleri

nakliye alıcı \	1	2	3	4	5
1	2	3	5	7	10
2	3	2	3	5	7
3	5	3	2	3	5
4	7	5	3	2	3
5	10	7	5	3	2

6.7.ve 8. müşteriler için, ürünlerin içerideki ara stok alanına fazladan taşınması olacağından ek süre harcanmış olduğu belirtilmişti. Geç kalan taşımalar için belirtilen ceza maliyeti süre cinsinden hesaplanmıştır ve aşağıdaki Çizelge 5.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.2. Kapılar arası süreler (ceza maliyetli)

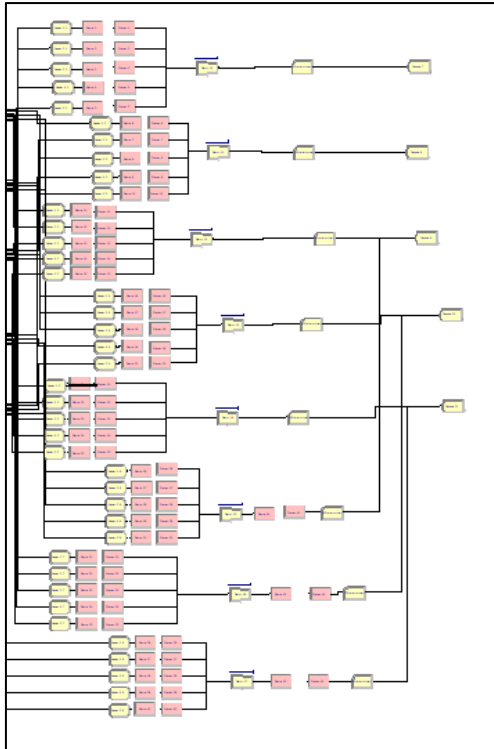
nakliye alıcı \	1	2	3	4	5	Ara Stok 1	Ara Stok 2	Ara Stok 3
1	2	3	5	7	10	12	14	16
2	3	2	3	5	7	10	12	14
3	5	3	2	3	5	8	10	12
4	7	5	3	2	3	6	8	10
5	10	7	5	3	2	4	6	8

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Her rampayı belirtmek adına birer route birer state atanmıştır. Şekil 5.10'da route verilerinin gösterimi verilmiştir.

Şekil 5.10. Route verilerinin gösterimi

Şekil 5.11'de her pembe şekil çifti birer taşımayı belirtirken sağ alttaki 3 çift ara stok yapılan ürün için extra harcanan süreyi belirtmesi için ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.11. Ara stokların gösterimi

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Batch Modülü (Giden kamyon)

Kapı seçiminden sonra entityler separate modülü ile orjinal haline dönüştürülmektedir, yani ürünler kamyonlardan ayrılıp sistem içerisinde tek tek hareket edebilen ürünler haline gelmektedir. Bu sefer ise bu ürünler, müşteri taleplerine göre gruplandırılmak istenmektedir. Batch modülü müşteri kamyonlarını temsil etmektedir ve sistemden çıkana kadar ürünler ayrılmayacağı için birleştirme permanent (kalıcı) olarak yapılmıştır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de batch modülü ile ilgili veri girişleri ve ayrıntıları verilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde müşteri talebi de belirtilmiştir. Kamyon kapasiteleri müşteri talepleri olarak alınmıştır, örneğin her 511 entityde batch 10 modülü kamyonu kapatılıp yola çıkarılmaktadır.

The screenshot shows a 'Batch' dialog box with the following fields and values:

- Name: Batch 10
- Type: Permanent
- Batch Size: 511
- Save Criterion: Last
- Rule: Any Entity
- Representative Entity Type: (empty)

Buttons: OK, Cancel, Help

Şekil 5.12. Batch verilerinin gösterimi

9 ▶	Batch 10	Permanent	511	Last	Any Entity	
10	Batch 11	Permanent	616	Last	Any Entity	
11	Batch 12	Permanent	497	Last	Any Entity	
12	Batch 13	Permanent	554	Last	Any Entity	
13	Batch 14	Permanent	517	Last	Any Entity	
14	Batch 15	Permanent	537	Last	Any Entity	
15	Batch 16	Permanent	594	Last	Any Entity	
16	Batch 17	Permanent	441	Last	Any Entity	

Şekil 5.13. Batch verilerinin kamyon talepleri doğrultusunda belirlenmesi

EK-5. (devam) ARENA açıklamaları

Record Modülü

Müşterilere gönderilen ürünleri sayar. Raporlarda hangi müşteriye kaç tane kamyon gittiğinin görülebilmesini sağlamaktadır. Modül içine girilen veriler Şekil 5.14’de verilmiştir.

Record dialog box fields:

- Name: 1MusteriUrunleri
- Type: Count
- Value: 1
- Counter Name: 1MusteriUrunleri
- Record into Set: ☐

Şekil 5.14. Record verilerinin gösterimi

Dispose Modülü

5 ayrı dispose ile ürünler sistemden çıkar. Modül içine girilen veriler Şekil 5.15’de verilmiştir.

Dispose dialog box fields:

	Name	Record Entity Statistics
1	Cikis1	☒
2	Cikis2	☒
3	Cikis3	☒
4	Cikis4	☒
5	Cikis5	☒

Dispose dialog box fields:

- Name: Cikis4
- Record Entity Statistics: ☒

Şekil 5.15. Dispose verilerinin gösterimi

EK-6. ARENA çıktıları

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units : Hours

Key Performance Indicators**System**

Number Out

Average

17

Entity**Time**

Other Time

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 6	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 7	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Entity 8	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0

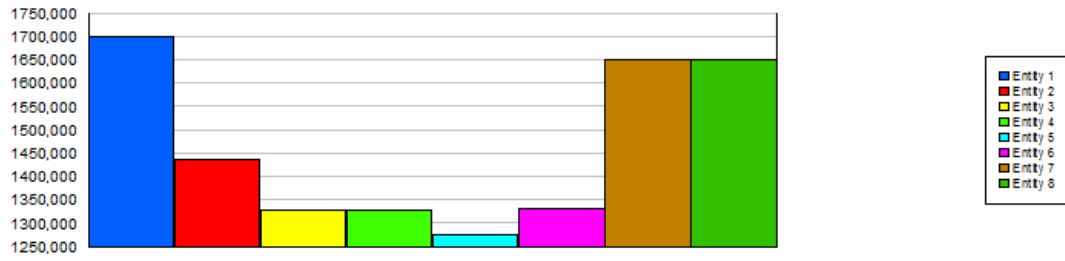
Total Time

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	3.6442	1,40	0.00	6.5434	0.00	7.42
Entity 2	2.2684	1,77	0.00	6.7200	0.00	6.72
Entity 3	3.8824	1,63	0.00	6.8830	0.00	6.88
Entity 4	3.6631	1,76	0.00	6.8091	0.00	6.80
Entity 5	3.8256	2,02	0.00	7.5377	0.00	7.60
Entity 6	2.5046	0,65	0.9875	3.7254	0.7200	7.00
Entity 7	2.4079	1,04	0.8550	5.7138	0.7733	7.50
Entity 8	2.6412	0,96	1.0608	5.2027	0.7683	6.80

EK-6. (devam) ARENA çıktıları

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	1701.00	160,42	1593.00	2127.00
Entity 2	1435.00	361,08	1062.00	2129.00
Entity 3	1328.50	200,19	1062.00	1595.00
Entity 4	1329.00	269,20	1062.00	2128.00
Entity 5	1276.00	196,08	1062.00	1596.00
Entity 6	1331.30	200,64	1064.00	1599.00
Entity 7	1649.00	550,65	1063.00	3189.00
Entity 8	1649.30	333,19	1063.00	2129.00



Entity

Other

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	1294.40	287,23	685.00	1803.00
Entity 2	993.40	318,05	549.00	1715.00
Entity 3	989.40	181,10	572.00	1528.00
Entity 4	1033.20	191,00	669.00	1588.00
Entity 5	1106.20	236,74	577.00	1596.00
Entity 6	938.30	192,15	544.00	1333.00
Entity 7	1360.60	492,23	641.00	2855.00
Entity 8	1203.10	409,20	556.00	2128.00

EK-6. (devam) ARENA çıktıları

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	401.04	96,24	159.75	645.45	0.00	1478
Entity 2	261.25	125,06	110.74	580.49	0.00	1061
Entity 3	213.52	51,67	124.57	363.42	0.00	1061
Entity 4	242.06	67,33	147.83	407.87	0.00	1061
Entity 5	281.00	101,42	119.58	535.48	0.00	1061
Entity 6	316.53	72,93	226.94	505.97	0.00	1061
Entity 7	393.36	157,95	162.55	854.39	0.00	1841
Entity 8	389.89	129,95	147.77	691.37	0.00	1548

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
1barkodlama.Queue	0.2685	0,00	0.2620	0.2756	0.00	0.86
1gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
2barkodlama.Queue	0.2980	0,01	0.2793	0.3229	0.00	0.86
2gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
3barkodlama.Queue	0.3641	0,04	0.3087	0.4412	0.00	0.86
3gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
4barkodlama.Queue	0.2670	0,06	0.2017	0.4299	0.00	0.86
4gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
5barkodlama.Queue	0.2309	0,02	0.2204	0.3249	0.00	0.64
5gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
6gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
7gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
8gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0
Batch 10.Queue	1.2998	0,14	1.0108	1.5349	0.00	6.23
Batch 11.Queue	1.6591	0,31	0.5803	2.1123	0.00	5.96
Batch 12.Queue	1.3202	0,14	1.0296	1.6073	0.00	5.96
Batch 13.Queue	1.3303	0,16	1.0706	1.7911	0.00	6.56
Batch 14.Queue	1.2873	0,13	1.0199	1.5649	0.00	6.36
Batch 15.Queue	1.3583	0,16	1.1263	1.8208	0.00	6.47
Batch 16.Queue	1.4191	0,25	1.0177	2.0536	0.00	6.80
Batch 17.Queue	1.3715	0,14	1.2277	1.7843	0.00	5.76

EK-6. (devam) ARENA çıktıları

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
1barkodlama.Queue	158.48	7,89	143.46	175.29	0.00	1059
1gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
2barkodlama.Queue	114.37	7,65	102.27	130.27	0.00	1059
2gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
3barkodlama.Queue	79.3294	11,46	58.4656	102.27	0.00	1059
3gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
4barkodlama.Queue	39.6674	10,40	14.6026	57.4195	0.00	1032
4gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
5barkodlama.Queue	21.8281	7,26	14.6026	43.0493	0.00	780
5gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
6gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
7gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
8gelenkamyon.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	530
Batch 10.Queue	224.73	18,32	195.16	273.92	0.00	511
Batch 11.Queue	281.62	28,56	206.29	339.25	0.00	616
Batch 12.Queue	226.49	17,64	192.61	264.35	0.00	497
Batch 13.Queue	219.38	22,86	177.16	285.46	0.00	554
Batch 14.Queue	217.83	16,99	194.37	267.27	0.00	517
Batch 15.Queue	222.75	21,36	183.55	285.72	0.00	537
Batch 16.Queue	226.85	38,90	156.40	333.72	0.00	594
Batch 17.Queue	222.04	12,75	204.88	258.75	0.00	441

Resource

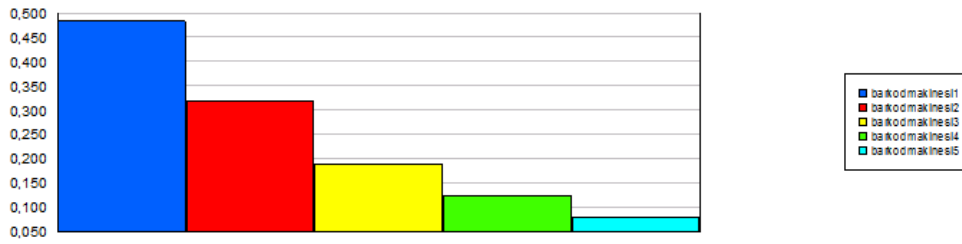
Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
barkodmakinesi1	0.4826	0,03	0.4182	0.5521	0.00	1.00
barkodmakinesi2	0.3172	0,03	0.2760	0.3705	0.00	1.00
barkodmakinesi3	0.1881	0,04	0.1104	0.2760	0.00	1.00
barkodmakinesi4	0.1229	0,02	0.05520833	0.1656	0.00	1.00
barkodmakinesi5	0.07729167	0,02	0.05520833	0.1104	0.00	1.00
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
barkodmakinesi1	0.4826	0,03	0.4182	0.5521	0.00	1.00
barkodmakinesi2	0.3172	0,03	0.2760	0.3705	0.00	1.00
barkodmakinesi3	0.1881	0,04	0.1104	0.2760	0.00	1.00
barkodmakinesi4	0.1229	0,02	0.05520833	0.1656	0.00	1.00
barkodmakinesi5	0.07729167	0,02	0.05520833	0.1104	0.00	1.00
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
barkodmakinesi1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
barkodmakinesi2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
barkodmakinesi3	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
barkodmakinesi4	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
barkodmakinesi5	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00

EK-6. (devam) ARENA çıktıları

Scheduled Utilization

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
barkodmakinesi1	0.4826	0,03	0.4182	0.5521
barkodmakinesi2	0.3172	0,03	0.2760	0.3705
barkodmakinesi3	0.1881	0,04	0.1104	0.2760
barkodmakinesi4	0.1229	0,02	0.05520833	0.1656
barkodmakinesi5	0.07729167	0,02	0.05520833	0.1104

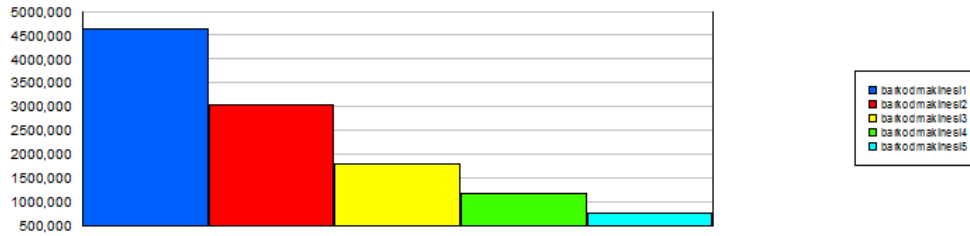


Resource

Usage

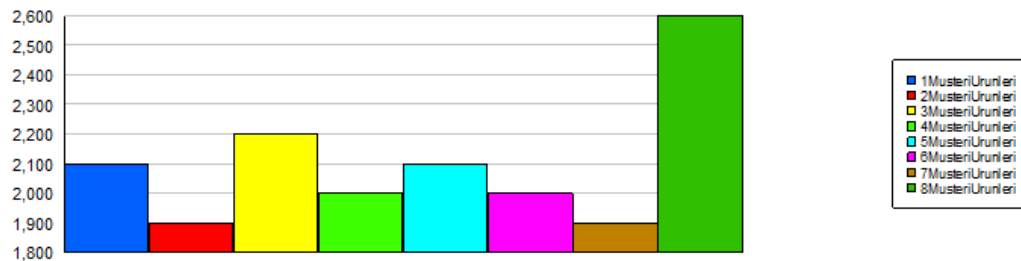
Total Number Seized

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
barkodmakinesi1	4633.70	291,45	4016.00	5300.00
barkodmakinesi2	3045.60	262,75	2650.00	3557.00
barkodmakinesi3	1805.40	409,73	1060.00	2650.00
barkodmakinesi4	1179.70	238,33	530.00	1590.00
barkodmakinesi5	742.00	195,77	530.00	1060.00



Count

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
1MusteriUrunleri	2.1000	0,23	2.0000	3.0000
2MusteriUrunleri	1.9000	0,23	1.0000	2.0000
3MusteriUrunleri	2.2000	0,30	2.0000	3.0000
4MusteriUrunleri	2.0000	0,00	2.0000	2.0000
5MusteriUrunleri	2.1000	0,23	2.0000	3.0000
6MusteriUrunleri	2.0000	0,00	2.0000	2.0000
7MusteriUrunleri	1.9000	0,23	1.0000	2.0000
8MusteriUrunleri	2.6000	0,37	2.0000	3.0000



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARABULUT, Türkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.03.1991, Rize
Medeni hali : Evli
e-mail : turkankarablt@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2013
Lise	Mersin M.Adnan Özçelik Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

-



GAZİ GELECEKTİR..