

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMADA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seçil KULAÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Gültekin ÇAĞIL

Ocak 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN
BİR FİRMADA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN TASARIMI**

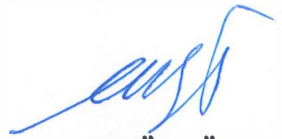
YÜKSEK LİSANS TEZİ

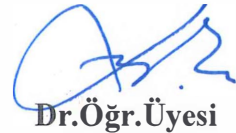
Seçil KULAÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr.Öğr.Üyesi
Gültekin ÇAGIL
Jüri Başkanı


Dr.Öğr.Üyesi
Mümtaz İPEK
Üye


Dr.Öğr.Üyesi
Aslan ÇOBAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Seçil KULAÇ
29.01.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Gültekin ÇAĞIL’a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3.	
LOJİSTİK YÖNETİMİ.....	6
3.1. Lojistik Kavramı.....	6
3.1.1. Lojistiğin tanımı	6
3.2. Lojistiğin Amacı ve Önemi	7
3.3. Lojistiğin Tarihsel Gelişimi.....	8
3.4. Lojistik Yönetimi.....	9
3.4.1. Lojistik yönetiminin temel unsurları	10
3.4.1.1. Tedarik lojistiği	11
3.4.1.2. Üretim lojistiği	11
3.4.1.3. Dağıtım lojistiği	11

BÖLÜM 4.

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	13
4.1. ARP'nin Uygulama Alanları	14
4.2. Araç Rotalama Problemi Türleri.....	14
4.2.1. Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP).....	15
4.2.2. Geri toplamalı araç rotalama problemi (GTARP).....	15
4.2.3. Zaman pencereli araç rotalama problemi (ZPARP).....	16
4.2.4. Dağıtım toplamalı araç rotalama problemi (DTARP).....	16
4.2.5. Mesafe ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP)...	17
4.2.6. Geri toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi.....	17
4.2.7. Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi.....	17
4.3. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları.....	17
4.3.1. ARP için kesin çözüm Yöntemleri.....	18
4.3.1.1. Dal ve sınır algoritması	18
4.3.1.2. Kesme düzlemi algoritması.....	18
4.3.1.3. Dal ve kesme algoritması.....	19
4.3.1.4. Sütun üretme algoritması.....	19
4.3.1.5. Dal ve sınır algoritması	19
4.3.1.6. Dinamik programlama.....	20
4.3.2. ARP klasik sezgisel yöntemler	20
4.3.2.1. Tasarruf yöntemi.....	20
4.3.2.2. Süpürme (Sweep) yöntemi	22
4.3.2.3. En yakın komşu algoritması	23
4.3.3. Meta-Sezgisel algoritmalar	24

BÖLÜM 5.

MATERYAL VE YÖNTEM	25
5.1. Materyal	25
5.2. Yöntem	25
5.2.1. Mevcut durum analizi	25

5.2.1.1. Süreç akışı	26
5.2.2. Problemin tanımı	30
5.2.3. Problemin veri seti	31
5.2.4. Problemin tasarruf algoritması ile çözümü.....	34
5.2.5. Problemin süpürme (sweep) algoritması ile çözümü.....	37
5.2.6. Problemin matematiksel modeli ve lingo modeli.....	40
BÖLÜM 6.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	45
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ARP	: Araç rotalama problemi
CLM	: Lojistik Yönetim Konseyi
DTARP	: Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi
DTZPARP	: Dağıtım Toplamalı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
GTARP	: Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
GTZPARP	: Geri Toplamalı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
JIT	: Tam zamanında tedarik
KARP	: Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
MKARP	: Mesafe ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MRP	: Malzeme istek planlaması
ZPARP	: Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Lojistiğin Temel Unsurları	7
Şekil 3.2. Lojistik Yönetimi	10
Şekil 3.3. Dağıtım Lojistiği Operasyonları	12
Şekil 4.1. Tasarruf Yöntemi Rotalama Mesafesi Gösterimi	21
Şekil 4.2. Sweep (Süpürme Algoritması) Yönteminin Algoritması	23
Şekil 5.1. Kablo Ağlarının (Harness) Araç Üzerinde Gösterimi	26
Şekil 5.2. Kablo Ağlarının (Harness) Süreç Akışı	26
Şekil 5.3. Fabrika İçi Kablo Taşıma Süreç Akışı	28
Şekil 5.4. Mevcut Durum Örnek Kablo Dağıtım Rotası	29
Şekil 5.5. Kablo Taşıma Arabası.....	32
Şekil 5.6. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözüm	38
Şekil 5.7. Sweep Algoritması Saat Yönünün Tersine Çözüm	39
Şekil 5.8. Kablo Dağıtım Operatörü Yürüme Mesafesi Kazanç Grafiği	46
Şekil 5.9. Kablo Dağıtım Operatörü Sayısı Kazanç Grafiği	47
Şekil 5.10. Kablo Taşıma Arabası Yerleşim Planı.....	48

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. İstasyonların Talep Miktarları	31
Tablo 5.2. İstasyonlar Arası Uzaklık Matrisi	33
Tablo 5.3. Tasarruf Matrisi	35
Tablo 5.4. Tasarruf Hareketleri.....	36
Tablo 5.5. Tasarruf Matrisi Rota Grupları.....	36
Tablo 5.6. Tasarruf Algoritması Rotalarının Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu	37
Tablo 5.7. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözüm Rota Grupları	38
Tablo 5.8. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözümüne Göre Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu	39
Tablo 5.9. Sweep Algoritması Saat Yönünün Tersine Göre Çözüm Rota Grupları .	40
Tablo 5.10. Sweep Algoritması Saat Yönünün Ters Çözümü Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu	40
Tablo 5.11. LINGO Modeli Sonucu Oluşturulan Rotalar.....	43
Tablo 5.12. LINGO Modeli Rota Grupları	44
Tablo 5.13. LINGO Modeli Çözümüne Göre Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu	45
Tablo 5.14. Kablo Dağıtım Sistemi Problemi Çözüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	46
Tablo 5.15. Araçların Kablo Toplaması Gereken Makine Sayıları	48

ÖZET

Anahtar kelimeler: Üretim Lojistiği, Araç Rotalama, Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması, Sweep (Süpürme) Algoritması, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama

Üretim lojistiği, dağıtım lojistiği ve tedarik lojistiğine göre daha az çalışma yapılmış ve iyileştirme yapılması gereken bir alandır. Bu çalışmada otomotiv sektöründe üretim yapan bir fabrikada iç lojistik sisteminin nasıl olması gerektiği incelenmiştir.

Bu çalışmayla amaçlanan; Yalın Üretim felsefesinin uygulandığı üretim ortamında malzeme taşıma maliyetlerini azaltan, katma değerli süreyi arttıran, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş malzeme taşıma sistemi oluşturmaktır. Bu amaçla, fabrika içi yarı mamül taşıma sistemi incelenmiş ve çalışma kapsamı olarak fabrikanın kesim bölümünden montaj hatlarına kablo dağıtım yapılan alan belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında mevcut durumda eş zamanlı toplama ve dağıtım yapıya sahip olan kablo taşıma işlemi, kablo toplama ve kablo dağıtım işlemleri olarak ikiye ayrılmıştır. Fabrika içerisinde kablo dağıtım işlemi Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak değerlendirilmiş ve bu problemin çözüm yöntemlerinden olan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması, Sweep (Süpürme) Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP) matematiksel modeli kullanılarak dağıtım operatörünün minimum sürede çevrimini tamamlayacağı dağıtım rotaları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucu Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması'nın verdiği görülmüştür.

DESIGN OF PLANT LOGISTICS SYSTEM IN A COMPANY OPERATING IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

SUMMARY

Keywords: Plant logistics, Vehicle routing, the Clarke and Wright algorithm, the sweep algorithm, capacity limited vehicle routing

Plant logistics when compared to inbound and outbound logistics is a less studied subject open to improvement. Within thesis study, how to be a logistic model in a factory that is engaged in manufacturing in the automotive industry.

It is aimed to construct such a plant logistics structure in a lean manufacturing environment that enables reducing the material handling costs, increasing value added time and having an easily manageable and standardized material handling system. With this aim, In-plant semi-finished goods transportation system was examined and cable distribution area to the assembly lines of the factory was determined as the scope of the study.

Within thesis study, in the cable distribution system with simultaneous collection and distribution, cable collection and cable distribution operations are divided. Cable distribution in the factory is considered as a vehicle routing problem. Distribution routes to be completed by the distribution operator in a minimum time using the Clarke and Wright algorithm, the sweep algorithm and the capacity limited vehicle routing problem mathematical model, which are one of the vehicle routing problem solution methods. The results were compared with the current situation and the best result was the Clarke and Wright algorithm.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Rekabet ortamının geçmiş yıllara göre daha da arttığı günümüzde, tüm israflardan arınmayı hedefleyen Yalın Üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda önemli israf kaynaklarından biri de malzeme taşıma işlemindeki kayıplardır. Bu kapsamda ön plana çıkan önemli konulardan biri Yalın Üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Bu durum, Yalın Lojistik olarak kaynaklarda yerini almıştır (Kılıç, 2011).

Lojistik kavramı genellikle tedarikçi-tesis ve tesis-müşteri arasındaki taşıma olarak düşünülmektedir. Lojistiğin önemli bir boyutu da üretim lojistiği olarak da bilinen iç lojistik yönüdür (Kılıç, 2011).

Tesis içi lojistiğin üretim sistemiyle bütünleştirilmesinin sağlanması, etkinlik ve verimliliğin yerine getirilmesi için son derece önemlidir. Depoların nasıl olması gerektiği, hangi tür araçlarla, hangi rotalarda, hangi periyotlarda, hücrelere malzemelerin taşınması gerektiği, montaj istasyonlarının hat kenarında stoklama şeklinde mi yoksa setleme şeklinde mi beslenmesi gerektiği gibi birçok soru iç lojistik kapsamında ele alınabilir (Kılıç, 2011).

Bu çalışmayla amaçlanan; taşıma maliyetlerini azaltan, katma değerli süreyi arttıran, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş bir taşıma sistemi oluşturmaktır. Bu amaçla otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada klasik sezgisel yöntemler ve matematiksel modelleme yöntemi kullanılarak fabrika içi malzeme taşıma işlemi iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki kısmı genel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır: ikinci bölümde kaynak araştırmasına yer verilmiş, üçüncü bölümde lojistik yönetimi ve

dördüncü bölümde ARP çözüm yöntemleri anlatılmış, beşinci bölümde ise uygulama kısmına ve altıncı bölümde araştırma bulgularına yer verilmiştir. Son olarak çalışmada elde edilen bulgular sonuç bölümünde özetlenmiştir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yalın Üretim'in temelinde israflardan arınma vardır. Fazla üretim, stok, taşıma, bekleme, gereksiz süreç, hareket ve kusurlu ürünler temel israf türleridir (Kılıç, 2011). Yalın lojistik ile sistemin lojistik boyutunun yalınlaştırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada iç lojistik değerlendirmeye alınmıştır.

İç lojistik sisteminin iyileştirilmesi ile ilgili hücresel yerleşim ve hücreler arası akışlarla ilgili incelenen çalışmalarda genelde hücre içi taşımaların ön planda olduğu görülmüştür. Hücreler arası taşımalara ilişkin çalışmalar daha az sayıdadır. Literatürde daha az çalışma yapılan alan ise depo-istasyon, istasyon-depo ve istasyon-istasyon arası akışlardır (Kılıç, 2011). İç lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili incelenen çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kılıç (2011) tarafından yapılan çalışmada, üretim içi döngüsel sefer problemleri sınıflandırılmış ve bunlara ilişkin modeller geliştirilmiştir. Ayrıca montaj hatlarının beslenmesinde önemli bir konu olan taşınacak malzemelerin hazırlama işlemi incelenmiş ve malzeme taşıma sistemi ile bütünleştirilmesinde kullanılacak bir model önerilmiştir. Modeller bir otomotiv firmasında malzeme depo ve montaj hatları arasında döngüsel sefer yapan bir taşıma aracı üzerinde uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Demirpolat vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, bir dondurma fabrikasında iç lojistik sisteminin kurulması amacıyla matematiksel modelleme ve sezgisel modelleme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda hat başlarındaki malzeme yığılmalarında %78 azalma sağladığı belirtilmektedir.

Çoban ve Güven (2011) çalışmalarında ise ele alınan problem, “çok duraklı malzeme dağıtım sürecinde talepleri karşılayacak şekilde, araç kapasitelerinin mümkün olduğunca iyi kullanılmasını sağlayan ve hedeflenen sürede malzeme dağıtımını tamamlayan araç rotalarını oluşturmak” olarak ifade edilmektedir. Problemi üç ana bölümde çözümlemişlerdir. Bunları; “süpermarket yerleşimde malzeme bulunabilirliğinin kolaylaştırılması ve süpermarket içi trafiğin azaltılması, süpermarketten üretim hatlarına dağıtım yapılacak kutuların taşıma arabasına yerleşiminin standart hale getirilmesi ve son olarak da taşıma operatörünün minimum sürede çevrimini tamamlayabileceği rotanın belirlenmesi” olarak belirtmektedirler. Bu kapsamda önerilen yeni sistem ile ilgili bir matematiksel model geliştirilmiş ve sonuçları mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında incelenen diğer bir konu ise araç rotalama problemidir. Araç rotalamaya ilişkin literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Araç rotalama problemi çözüm yöntemleri ile ilgili incelen literatürler aşağıda açıklanmaktadır. İncelenen çalışmalar içinde tesis içi rotalamaya ilişkin çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir.

ARP, bir veya birkaç depodan belirli müşterilere yapılan ürün dağıtım ve müşterilerden ürünlerin toplanması için gerekli olan rotaların belirlenmesi problemi olarak tanımlanmaktadır. ARP ilk defa 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından incelenmiştir. Dantzig ve Ramser çalışmalarında petrol istasyonlarına benzin dağıtım problemini ele almışlar ve bu problemin çözümü için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sonraki çalışmalardan en önemlisi ise aynı problemin çözümü için Clarke ve Wright’ın 1964 yılında önerdikleri sezgisel tasarruf algoritmasıdır. Geliştirilen bu algoritma literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özyurt vd. (2000), zaman pencereli açık araç rotalama problemlerinin çözümü için tasarruf algoritmasını kullanmışlardır. Eryavuz ve Gencer (2001), bir okulun servis araçlarının toplam güzergah mesafesini minimize etmek amacıyla tasarruf yöntemini uygulamışlardır (Yazgan, 2014).

Akıllıoğlu ve diğerleri (2006), çekme sisteminin kullanıldığı bir üretim ortamında bir malzeme taşıma treninin rotalarının oluşturulması için karma tamsayılı doğrusal model geliştirerek benzetimini yapmışlardır. Üretim ortamında uygulanan modelin, proses içi stok miktarı ve taşıma maliyetleri açısından %66 düzeyinde iyileştirme sağladığı belirtilmiştir (Kılıç, 2011). Kosif ve Ekmekçi (2012) sezgisel çözüm yöntemlerinden tasarruf algoritmasını kullanarak bir lojistik firmasının araçlarının toplam mesafesini minimize etmeye çalışmışlardır. Ulutaş vd. (2017) 15 dağıtım noktasına sahip bir ekmek fırını için, ulaştırma maliyetini minimize edecek rotalar belirlemek için tasarruf algoritmasını kullanmışlardır. Keskintürk vd. (2015) kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözümü için tasarruf algoritması ve Sweep (süpürme) algoritmalarını kullanmışlardır. Kızıloğlu (2017) çalışmasında stokastik talepli çok depolu araç rotalama problemi çözümü için tasarruf algoritması, en yakın komşu arama algoritması ve rassal arama algoritmasını kullanmıştır. Demircioğlu (2009) bir dağıtım firmasında uygun dağıtım rotasını belirlemek için tasarruf yöntemini kullanmıştır.

BÖLÜM 3. LOJİSTİK YÖNETİMİ

3.1. Lojistik Kavramı

Lojistik Yönetim Konseyi (CLM) tarafından yapılan tanım : “Lojistik, ürünlerin üretildiği merkezlerden müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tüketim merkezlerine kadar olan tedarik zincirinde malzeme, servis ve bilgi akışlarının verimli ve etkin bir şekilde çift yöne doğru planlama, taşıma, depolama uygulamalarının yapılması ve kontrol edilmesi süreçlerinden oluşan tedarik zinciri yönetiminin bir parçasıdır” şeklindedir (Dişkaya, 2018).

3.1.1. Lojistiğin tanımı

Günümüzde lojistik kavramı ile ilgili birçok tanım yapılmıştır. Bu tanımlardan bazıları aşağıda açıklanmaktadır (Derici,2015):

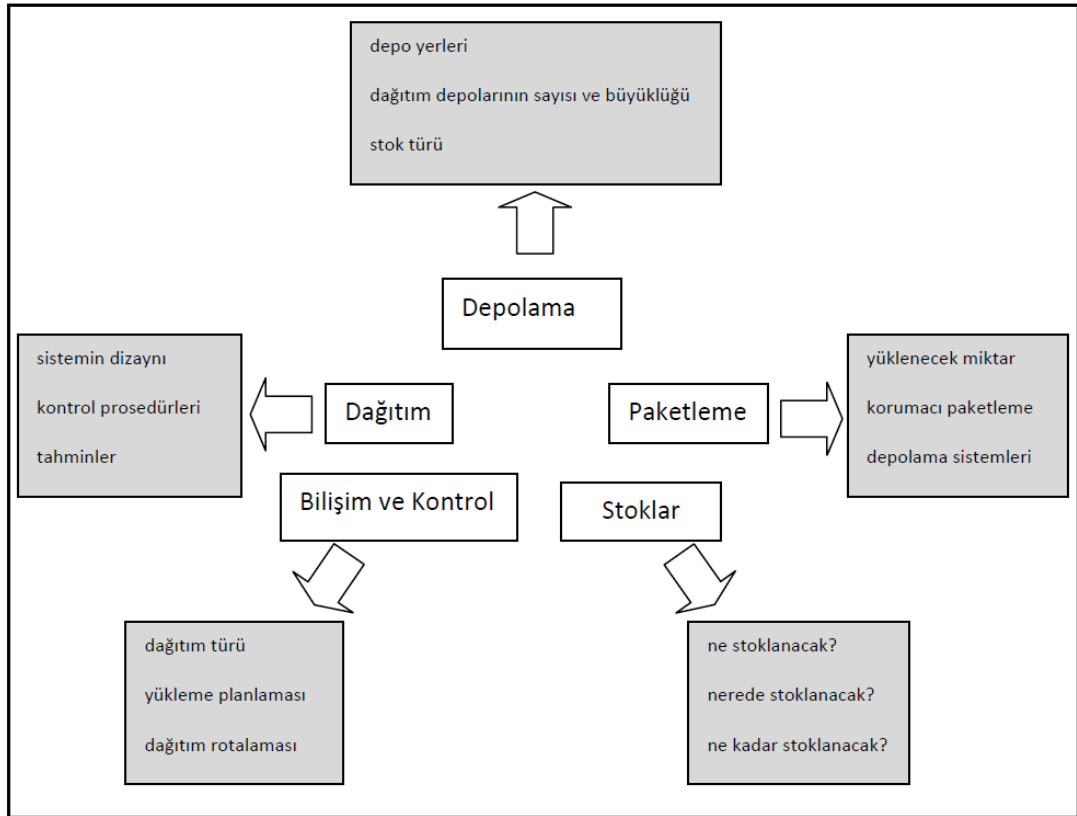
- Lojistik, “siparişlerin karşılanmasında maliyet açısından verimliliği sağlayacak şekilde malzemelerin tedariki, malzeme ve ürünlerin hareket ve stoklanmalarının organizasyon içinde ve pazarlama kanalları boyunca mevcut ve gelecekteki kazancı maksimize edecek strateji yönetimidir”.
- Lojistik, “tedarik zinciri oluşturmak üzere bir araya gelmiş birbiriyle ilişkili faaliyetlerin, müşterilere yer ve zaman faydası yaratmak üzere uyumlu şekilde yürütülmesidir”.
- Lojistik Derneğine göre ise “Tedarik, dış ticaret işlemleri, depolama, elleçleme, envanter kontrolü, taşıma, araç-kargo takibi vb. faaliyetlerin tümüdür.”

3.2. Lojistiğin Amacı ve Önemi

Lojistik fonksiyonunun önem kazanmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır (Sürmen ve Davut, 2006):

- Taşıma maliyetlerinin artması,
- Üretim teknolojilerinin pek çok alanda doyma noktasına ulaşması nedeniyle yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alana yönelmesi,
- Ürün çeşitliliğinin, tüketici isteklerini karşılamak için hızla artması,
- Uluslararası üretim ve satış firmalarının çoğalması

Lojistiğin temel unsurları dağıtım, depolama, stok, paketleme ve bilişim ve kontrolü içermektedir. Bunlar Şekil 3.1.'de gösterilmiştir (Rushton ve ark., 2006).



Şekil 3.1. Lojistiğin Temel Unsurları (Rushton ve ark., 2006).

3.3. Lojistiğin Tarihsel Gelişimi

Dağıtım ve lojistik unsurları, ürünlerin üretimi, depolanması ve taşınmasına temel oluşturmaktadır (Rushton ve ark., 2006).

- 1950'li yıllar: İmalat sanayinde lojistik hizmetleri önem kazanmaya başlamıştır. Ancak lojistik faaliyetlerindeki hizmetler birbiri ile entegre olmamıştı (Dişkaya, 2018).
- 1960'lı yıllar: Fiziksel dağıtım kavramı, ulaşım, depolama, malzeme bulundurma ve paketleme gibi etkin bir şekilde birbirine bağlanabilen ve yönetilebilen, ilgili fiziksel faaliyetler serisini içermektedir. Özellikle, sistem yaklaşımı ve toplam maliyet perspektifinin kullanılmasına imkan veren çeşitli fonksiyonlar arasında ilişkinin kabul edilmesi söz konusudur. Fiziksel dağıtım yöneticisinin kontrolünde, gelişmiş hizmet ve düşük maliyet sağlamak için birçok dağıtım rotaları planlanabilir ve yönetilebilir durumdaydı (Rushton ve ark., 2006).
- 1970'li yıllar: Bu dönem dağıtım kavramının gelişiminde önemli bir on yıldır. Temel bir değişim, bir firmanın fonksiyonel yönetim yapısına dağıtımı dahil etme ihtiyacının bazı firmalar tarafından kabul edilmesidir. Bu on yılda dağıtım zincirinin yapısı ve kontrolünde bir değişim olmuştur. Üreticiler ve tedarikçilerin gücünde bir azalış, büyük perakendecilerinde belirgin bir artış olduğu görülmüştür (Rushton ve ark., 2006).
- 1980'li yıllar: Hızlı maliyet artışları ve doğru dağıtım maliyetlerinin açık olarak tanımlanması, dağıtımda profesyonellikte önemli bir artış sağlamaktadır. Bu dönemde, uzun vadeli planlamaya doğru gidilmiş ve maliyet avantajlı ölçütleri belirlemeye ve takip edilmeye çalışılmıştır (Rushton ve ark., 2006).
- 1980'li yılların sonlar ve 1990'lı yılların başları: Bilgi teknolojilerindeki ilerlemeye bağlı olarak, firmalar bakış açılarını entegre edebilen fonksiyonlar açısından genişletmeye başlamıştır. Kısaca bu, malzeme yönetiminin ve fiziksel dağıtımın birleşimini kapsamaktadır. Lojistiğin fiziksel yönü olduğu

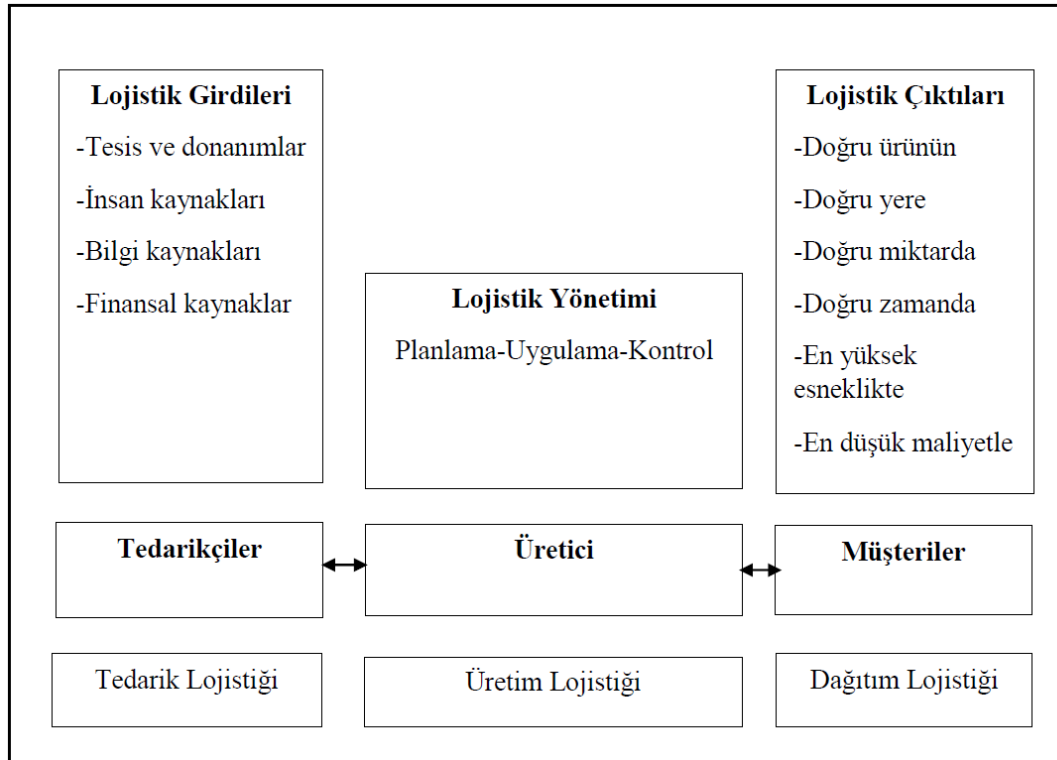
kadar bilgi yönünün önemi olduğu bu dönemde kabul edilmiştir (Rushton ve ark., 2006).

- 1990'lı yıllar: Taşımacılık faaliyetlerinde meydana gelen düzenlemeler ve teknolojiye yaşanan hızlı değişim ile lojistik kavramında gelişme sağlanmıştır. Lojistik yönetimi 1990'lı yılların sonlarında “Tedarik Zinciri Yönetimi” kavramı ile birlikte değerlendirilmeye başlanmıştır (Dişkaya, 2018).
- 2000 ve sonrası: Lojistik kavramının bilgi teknolojileri, pazarlama ve stratejik planlama ile desteklenmesiyle “Tedarik Zinciri Yönetimi” kavramının gelişmesine neden olmuştur. Son yıllarda lojistik, ürünlerin, kişilerin ve bilgi akışının optimum hale getirilmesi şeklinde kabul edilmiştir (Dişkaya, 2018).

3.4. Lojistik Yönetimi

Lojistik yönetimi, işletmelerin tüm lojistik kavramı kapsamında ele alınan faaliyetleri yönetmesi anlamına gelmektedir (Dişkaya, 2018).

Şekil 3.2.'de lojistik yönetimi gösterilmektedir. Buna göre lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde yapılması; kalitenin artması, üretimin artması, taşıma maliyetlerinin azalması ve müşteri memnuniyetinde artış sağlayacaktır. Bu yaklaşımda, üretim ve tüketim noktaları arasındaki ürün, hizmet ve bilginin akışında tüketici ile üreticinin arasında oluşan lojistiğe tedarik lojistiği, üretim sürecindeki lojistiğe üretim lojistiği ve üretici ile müşteri arasındaki lojistik ise dağıtım lojistiği olarak tanımlanmaktadır (Küçük, 2012).



Şekil 3.2. Lojistik Yönetimi (Rushton ve ark., 2006).

Lojistiğin ana amacının müşteri tatmini sağlamak olduğunu söyleyebiliriz. Lojistik temel olarak ürün ve malzemelerin depolanması ve hareketinin nasıl sağlanacağını belirleyen bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Lojistik; tedarik ve talebin koordinasyonu ve hareketini sağlayan, sipariş işleme, envanter, ulaştırma, malzeme elleçleme, ambalajlama ve depolama faaliyetlerini içine alan bütüncül bir yönetim yaklaşımıdır (Alanur, 2014).

3.4.1. Lojistik yönetiminin temel unsurları

Lojistik yönetimi temel süreçleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Tedarik Lojistiği
- Üretim Lojistiği
- Dağıtım Lojistiği

3.4.1.1. Tedarik lojistiği

Tedarik lojistiği; hammadde ve yarı mamul tedarikinin yapıldığı aşamadır. Rota seçimi, taşıma, teslim alma, tedarik, sipariş, depolama gibi faaliyetleri içermektedir. Hammadde ve yarı mamullerin olabilecek en az maliyetle taşınmasını sağlamaktır (Dişkaya, 2018).

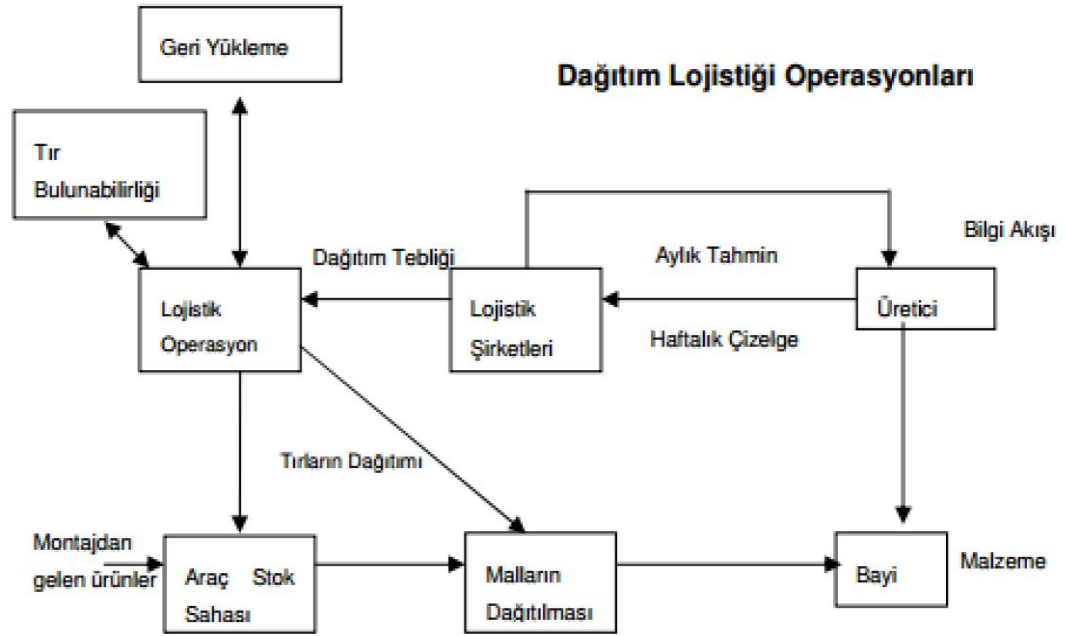
3.4.1.2. Üretim lojistiği

Malzemelerin üretim içerisindeki hareketleri ile ilgili faaliyetleri kapsamaktadır (Eker, 2006). İşletme içi lojistik olarak tanımlanan bu sistem, üretim tesisleri içindeki hammadde, yarı mamul ve hazır ürünlerin hareketini organize eden ve nihai ürünün taşınıp depolanmasını sağlayan faaliyetler bütünü olarak değerlendirilmektedir (Dişkaya, 2018).

3.4.1.3. Dağıtım lojistiği

Dağıtım lojistiği; ürünlerin üreticilerden toplanıp stoklanarak müşterilere dağıtılmasını sağlayarak, dağıtım kanalı içinde bulunan perakendeci ve toptancılar ile üreticileri birleştirmektedir. Dağıtım lojistiğinde nihai ürünlerin müşterilere ulaştırılması gerçekleşmektedir (Eker, 2006). En temel faaliyeti fiziksel dağıtım ve bunun bir fonksiyonu olarak taşımacılık faaliyetleridir. Taşıma yönetimi ile ilgili yöneticiler, taşıma türü seçimi, taşıma aracı seçimi, sevkiyat planlaması, pozisyon ve yük takibi gibi başlıca işlemleri yapmaktadır (Dişkaya, 2018).

Şekil 3.3.'te dağıtım lojistiği operasyonları gösterilmiştir (Eker, 2006).



Şekil 3.3. Dağıtım Lojistiği Operasyonları (Eker, 2006).

3.4.2. Lojistik yönetimi faaliyetleri

Lojistik yönetim faaliyetlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Sipariş İşleme
- Stok
- Taşıma
- Depolama
- Paketleme ve Ambalajlama
- Muayene ve Gözetim
- Müşteri Hizmetleri , Sigorta, Gümrük

BÖLÜM 4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama problemi (ARP), 50 yıldan fazla üzerinde çalışılan bir konudur. ARP 1959 yılında ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından çalışılmıştır. Clarke ve Wright 1964 yılında Dantzig ve Ramser'in yöntemini geliştirmiş ve klasik tasarruf metodunu önermişlerdir. Bundan sonra farklı araç rotalama problemine çözüm bulmak için yüzlerce model ve algoritma önerilmiştir. Uygulama alanının çokluğu ve problemin ilginç olmasından dolayı ARP pek çok araştırmacının ilgisini çekmektedir (Demircioğlu, 2009).

Bu problemdeki ana amaç, maliyet fonksiyonunu minimize ederken, bütün kısıtları sağlayıp, kullanılacak olan araç sayısını minimize etmek ve toplam mesafeyi veya toplam zamanı minimuma indirmektir.

ARP uygulamaları birçok kısıtı içermektedir. Bu kısıtlar üç ana grupta değerlendirilebilir (Demircioğlu, 2009):

- a) Araçlarla ilgili kısıtlar
 - Araç kapasite kısıtı
 - Toplam zaman kısıtı
 - Çalışma saatleri için yasal sınırlamalar
- b) Müşteriler ile ilgili kısıtlar
 - Her bir müşterinin bir tür ürün talep etmesi veya belirli çeşitte ürün dağıtılması
 - Dağıtımın yapılabilmesi için belirli zaman aralıklarının olması
- c) Diğer kısıtlar
 - Aynı araç ile aynı günde, aracın depoya dönerek tekrar yola çıkmasıyla, birden fazla tur yapılması

- Bir turun bir günden uzun olması
- Birden fazla depo olması

ARP'de dağıtım rotalarının aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Tüm müşterilerin talebi karşılanmalıdır.
- Her müşteri sadece bir araç rotasında olmalıdır.
- Bir dağıtım rotasındaki müşterilerin toplam talebi, o rotadaki aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Tüm rotalar, depodan başlayarak depoda sonlanmalıdır.
- Bir rotadaki toplam kat edilen mesafe, maksimum rota mesafesinden az olmalıdır.
- Bazı ARP çeşitlerinde araç sayısı sabit iken, bazı çeşitlerinde değişken olabilmektedir (Demircioğlu, 2009).

4.1. ARP'nin Uygulama Alanları

Aşağıda bazı uygulama alanları belirtilmiştir (Golden ve ark., 2002);

- Ürün ve hizmetlerin bir veya daha fazla sayıdaki depodan, çeşitli müşteri noktalarına dağıtımı
- Ana depodan mağazalara ürün dağıtılması
- Üretim planlaması ve hammadde, yarı mamul ve mamullerin fabrikalar arası dağıtımı
- Para dağıtımı
- Havayolu taşımacılığı
- İnternette yapılan alışverişlerin teslimatı
- Posta hizmetleri

4.2. Araç Rotalama Problemi Türleri

Araç rotalama problemlerin özellikleri, ele alınan problemdeki kısıtlara ve amaçlara göre farklılıklar göstermektedir. Problemin türünü belirleyebilmek için birtakım soruların sorulması gerekmektedir. Bu sorular şunlardır (Crainic,1997):

- Problem dağıtım mı, toplama mı veya her ikisini birden mi içermektedir?
- Dağıtım ve toplama arasında bir öncelik söz konusu mudur?
- Dağıtım tek depodan mı yoksa birden fazla depodan mı yapılmaktadır?
- Kaç araç kullanılmaktadır? Bu sayı sabit mi yoksa karar değişkeni midir?
- Araç filosu homojen mi yoksa heterojen midir?
- Kullanılan araçların kapasitesi, hızı ve taşıma maliyetleri nedir?
- Sürücülerin çalışma koşulları nelerdir? Normal çalışma gününün uzunluğu nedir?
- Fazla mesai koşulları nelerdir?
- Talepler bilinmekte mi yoksa tahmin mi edilmektedir?
- Müşterilere planlama periyodu içinde hangi sıklıkta veya ne zamanlar uğranabilmektedir? Belirli bir zamanda müşteriye uğranması istenmekte midir?

4.2.1. Kapasiteli araç rotalama problemi (KARP)

KARP’de tüm araçların eşit kapasiteleri vardır. Müşterilerin talepleri önceden bilinmektedir. Araçlar hareketine depodan başlar ve tekrar depoya dönerek rotalarını tamamlarlar. Teslimatlar müşterilere tek seferde gönderilmelidir. Aracın rotasındaki müşteri talepleri toplamı, araç kapasitesinden az olmalıdır. Sevkiyatlar için gereken toplam mesafenin minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Yazgan, 2014).

4.2.2. Geri toplamalı araç rotalama problem (GTARP)

Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GTARP), müşteriler, “ürün dağıtılacak müşteriler” ve “ürün toplanacak müşteriler” olmak üzere ikiye ayrılır. Dağıtım planı,

araçların önce dağıtım yapılacak müşterilere, sonrada ürün toplanacak müşterilere uğrayarak depoya dönmeleri şeklinde yapılmaktadır. GTARP araçların, dağıtım işlemi tamamlandıktan sonra toplama işlemi yapmak zorunda oldukları sistemlerdeki problem türüdür. GTARP Np-Hard yapıdadır. Problemin çözümü için geliştirilen sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır (Keçeci, 2007).

GTARP’de merkezden hedefe ve hedeften merkeze müşteriler arasında bir öncelik kısıtı vardır. Eğer bir rota her iki tip müşteriye de hizmet veriyorsa, tüm merkezden hedefe olan müşteriler, hedeften merkeze olan müşterilerden önce hizmet almalıdır (Darcan, 2007).

4.2.3. Zaman pencereli araç rotalama problem (ZPARP)

ZPARP, dağıtım işleminde zaman kısıtı en önemli unsurdur. Bu problem tipinde amaç, araç kapasitesini, servis zamanlarını ve zaman aralıklarını dikkate alan kısıtlarla, optimal rota sayısını ve rotalardaki müşterilerin sırasını bulmaktır (Boğ, 2006).

ZPARP, depodan hareket eden araçların müşterileri belli zaman aralığı içinde ziyaret etme zorunluluğu olan (zaman penceresi kısıtı) bir araç rotalama problemi türüdür. Yapısı nedeniyle okul otobüsü rotalama, posta, akaryakıt dağıtımı, tam zamanlı üretim için satıcı dağıtımı, güvenlik devriyesi kontrolleri, kentsel atık toplama ve zincir mağaza dağıtım lojistiği gibi gerçek hayat problemlerine daha uygundur. Bu nedenlerden dolayı diğer araç rotalama problemlerine göre daha çok çalışma yapılmıştır (Gezdur, 2003).

Bu problem türünü çözmek için birçok kesin ve sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu metotlar yapılandırma algoritmaları, geliştirme algoritmaları ve meta sezgiseller olarak gruplanmaktadır. Sezgisel metotlar makul zamanda optimale yakın sonuçlar bulduğu için bu tür problemlerin çözümünde daha fazla kullanılırlar (Taşkiran, 2006).

4.2.4. Dağıtım toplamalı araç rotalama problemi (DTARP)

DTARP, dağıtım ve toplama işlemleri arasında önceliğin bulunmadığı ARP türüdür. Müşteriler; dağıtım müşterileri ve toplama müşterileri olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Her bir turun kalkış ve varış zamanları önceden belirlenmektedir. Böylece bir turun başlangıç zamanı/yeri ve bitiş zamanı/yeri ile tanımlanabilir. Araçlar kapasitelerine bağlı olarak hem dağıtım hem de toplama işini aynı anda yaparken en önemli kısıt genelde kapasite kısıtı olmaktadır (Özaydın, 2003).

4.2.5. Mesafe ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP)

KARP'ye araçların gidebileceği maksimum rota uzunluğunu belirten kısıtın eklenmesi durumudur. Dağıtım ve lojistik problemlerinde karşılaşılan problemlerdendir.

4.2.6. Geri toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi

GTARP ve ZPARP'nin birleştirilmiş versiyonudur. Araçlar geri toplama yaparken belli zaman kısıtlarına göre hareket etmeleri gerektiğinde oluşan ARP'nin çok kısıt içeren halidir.

4.2.7. Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi

Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi (DTZPARP), araçlar dağıtım ve toplama için rotalama yapılırken, belli zaman kısıtlarının da göz önüne alındığı özel bir ARP türüdür.

4.3. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları

ARP, NP (nondeterministic polynomial) karmaşıklığına sahip ve çözülmesi zaman alan bir problemdir. Bu sebeple, farklı alanlarda kullanılabilen ve kesin çözüme

ulaşan tek bir ARP yaklaşımı bulunmamaktadır ve problemin çözüümü için kullanılan yaklaşımların çoğu sezgisel yaklaşımlardır. Sezgisel yaklaşımlar, probleme kesin bir çözüüm bulmamakla beraber, yaklaşık sonuç bulurlar. Problemin çözüümü için Clark, Fisher, Taillard, Kidervater sezgisel temelli algoritmaları, Rochat, Xu, Tabu arama algoritmalarını, Toth Tanecikli Tabu arama algoritmasını, Shaw kısıtlamalı programlamayı, Gambardella Karınca kolonisi optimizasyonunu kullanmışlardır (şeker, 2007).

4.3.1. ARP için kesin çözüüm yöntemleri

Kesin yöntemler ile optimum sonuçlar bulunmaktadır. Ancak özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde, çözüm zamanı uzamaktadır. Dal-sınır yöntemi, dal-kesme yöntemi, kesme düzlemi yöntemi, dinamik programlama, lagrangian ayrıştırma, ağaç arama ve sütun yaratma (column generation) kesin çözüüm yöntemleri arasındadır (şeker, 2007).

4.3.1.1. Dal ve sınır algoritması

Tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Böl ve yönet ilkesine dayalı bir sayım yöntemidir. Büyük problemler daha küçük problemlere bölünmektedir. Bölme aşamasında, tüm uygun çözüümler daha küçük alt kümelere ayrılır. Dallandırma adım sayısını azaltmak için sınırlandırma yöntemi kullanılır. Dallandırma ile oluşturulan problemlerin çözüümlerinin alt ve üst sınır değerleri belirlenir. Tüm alt problemler sınırlandırılırsa algoritma sona erer. Eğer altkümenin sınırı, altkümenin en iyi çözüümü asla kapsayamayacağını gösteriyorsa bu altküme çıkartılır. En iyi alt sınır, problemin çözüümü olur. Bu yöntemde problem için en iyi çözüüm aranırken, problemin bütün aşamaları sistematik olarak gözden geçirilmelidir (Alpaslan, 2015).

4.3.1.2. Kesme düzlemi algoritması

Dal sınır algoritmasına alternatif olarak geliştirilen bir yöntemdir. Tamsayılı doğrusal programlama probleminde gerekiyorsa, öncelikle sınırların tamsayılı olması sağlanır ve bu durumda sınırların değiştirilmesi söz konusudur. Problemin daha sonra en iyi çözüm tablosu bulunur. En iyi çözüm tamsayı ise durulur. Böylece problemin çözümü bulunmuş olur (Alpaslan, 2015).

4.3.1.3. Dal ve kesme algoritması

Bu algoritma, dal-sınır algoritması ve kesme düzlemi algoritmasının birleştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Tam sayı kısıtı olmayan lineer programı, düzenli simpleks algoritma kullanarak çözmektedir (Yılmaz, 2008).

4.3.1.4. Sütun üretme algoritması

Sütun üretme algoritması, geniş ölçekli lineer programlama problemlerinin çözümü için geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, çözülen modeldeki değişkenlerin bir alt kümedeki değişkenler kullanılır. Gerekli olduğunda değişkenler dinamik olarak oluşturulur. Her iterasyonda temel giriş için yeni bir sütun seçilerek en az indirimli maliyete sahip sütun bulunmaya çalışılır. Eğer böyle bir sütun bulunamazsa, simpleks algoritması çözümü tamamlanmış olur (Yılmaz, 2008).

4.3.1.5. Dal ve değer algoritması

Dal ve değer algoritması, “ayırışma” ve “sütun üretme” kavramlarına dayanmaktadır. “Ayrışma”, orijinal veya yoğun formülasyonu, çok sütun ama tipik olarak orijinal formülasyondan daha az satır içeren bir modele dönüştürür (Yılmaz, 2008).

4.3.1.6. Dinamik programlama

Dinamik programlama yöneylem araştırmasında doğrusal programlama tabanlı bir matematiksel yaklaşımdır. Çözümü kolay olmayan araç rotalama problemlerinin daha küçük alt problemler haline getirilerek en uygun çözümü aramak temeline dayanmaktadır. Yaklaşımda belirli sayıdaki değişkene sahip olan problem çözümü için değişken sayısı miktarınca aşamaya bölünür ve her alt problemde tek değişkene sahip model çözülerek optimum sonuca ulaşılır (Dişkaya, 2018).

4.3.2. ARP klasik sezgisel yöntemler

Bu bölümde ARP için geliştirilen klasik sezgisel yöntemler anlatılacaktır.

4.3.2.1. Tasarruf yöntemi

Clark ve Wright Algoritması en çok bilinen ARP sezgisel yöntemlerinden biridir. 1964'te Clark ve Wright tarafından geliştirilmiştir ve araç sayısının belirli olmadığı problemlere uygulanmaktadır (Şeker, 2007).

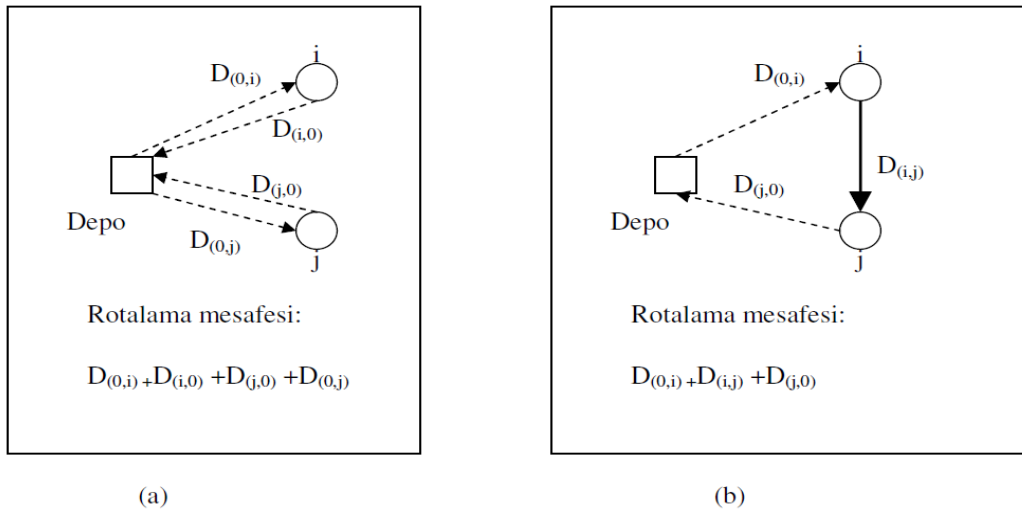
Bu yöntem sweep yöntemine göre daha optimal sonuç vermektedir. Yapılan incelemelerde kazanç yönteminin hata oranının ortalama %2 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu oran sweep yöntemine göre daha optimaldir (Karahan, 2003).

Tasarruf yönteminin amacı tüm araçların almış olduğu toplam seyahat mesafesini minimize etmek ya da servis için gerekli olacak araç sayılarını azaltmaktır. Metodun mantığı tüm varış noktalarına hizmet veren ve tekrar orijin noktasına geri dönen hayali bir araç ile başlar. Bu durum Şekil 4.1.(a)'da gösterilmektedir. Bu işlem oluşturulacak rotalama için hesaplanan en uzun mesafedir. İki tane varış noktası aynı rota üzerinde birleştirilerek, bir araç azaltılmış ve orijinden bir noktaya, diğer noktadan orijine seyahat mesafesi kısaltılmış olur (Karahan, 2003).

Ancak iki nokta arasında bir seyahat mesafesi ilave edilmiştir. Mesafeler birleşme öncesi ve sonrası hesaplanarak hangi noktaların birleştirileceğine karar verilir. İki noktanın (i ve j) birleştirilmesi sonucu oluşan mesafe Şekil 4.1. (b)'de gösterilmiştir. Birleştirme sonucu oluşan kazanç ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.1) hesaplanır (Karahana, 2003).

$$S = d_{(0,i)} + d_{(j,0)} - d_{(i,j)} \quad (4.1)$$

Bu işlem ikili tüm noktalar için yapılır. En büyük kazanç değerine sahip nokta çiftleri birleştirilir (Karahana, 2003).



Şekil 4.1. Tasarruf Yöntemi Rotalama Mesafesi Gösterimi (Karahana, 2003)

Tasarruf algoritması ARP'de yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Araçların uğrak noktaları (n) küçük değerlerde ise, tasarruf metodu manuel çözüm yapmak için uygun olabilir (Karahana, 2003).

Tasarruf algoritmasının ardışık ve paralel iki versiyonu vardır. Sıralı versiyonda, aynı anda bir rota tek bir rota inşa edilebilirken, paralel sürümde aynı anda birden fazla rota oluşturulabilmektedir (Kızıloğlu, 2017).

Algoritmanın temel adımları versiyonlarına göre aşağıdaki şekildedir (Kızıloğlu, 2017) ;

Adım 1: Tüm istasyon çiftleri için tasarruflar hesaplanır.

Adım 2: Tasarruflar büyükten küçüğe sıralanır.

Paralel versiyonda;

Adım 3: Listenin başından başlanarak alınan istasyonlar kapasite kısıtını sağlıyorsa rotaya katılır.

Adım 4: Sıradaki istasyon bağlantısı alınır ve liste boşalana kadar adım 3 tekrarlanır.

Sıralı versiyonda;

Adım 3: Mevcut rotanın iki ucundan birine bağlanacak istasyon seçilir.

Adım 4: Seçilecek istasyon kalmadığında rota sonlandırılır ve açıkta kalan ilk istasyon yeni bir rotaya atılır.

Adım 5: Tüm tasarruflar kullanılana kadar adım 3 ve adım 4 tekrar edilir.

4.3.2.2. Süpürme (Sweep) yöntemi

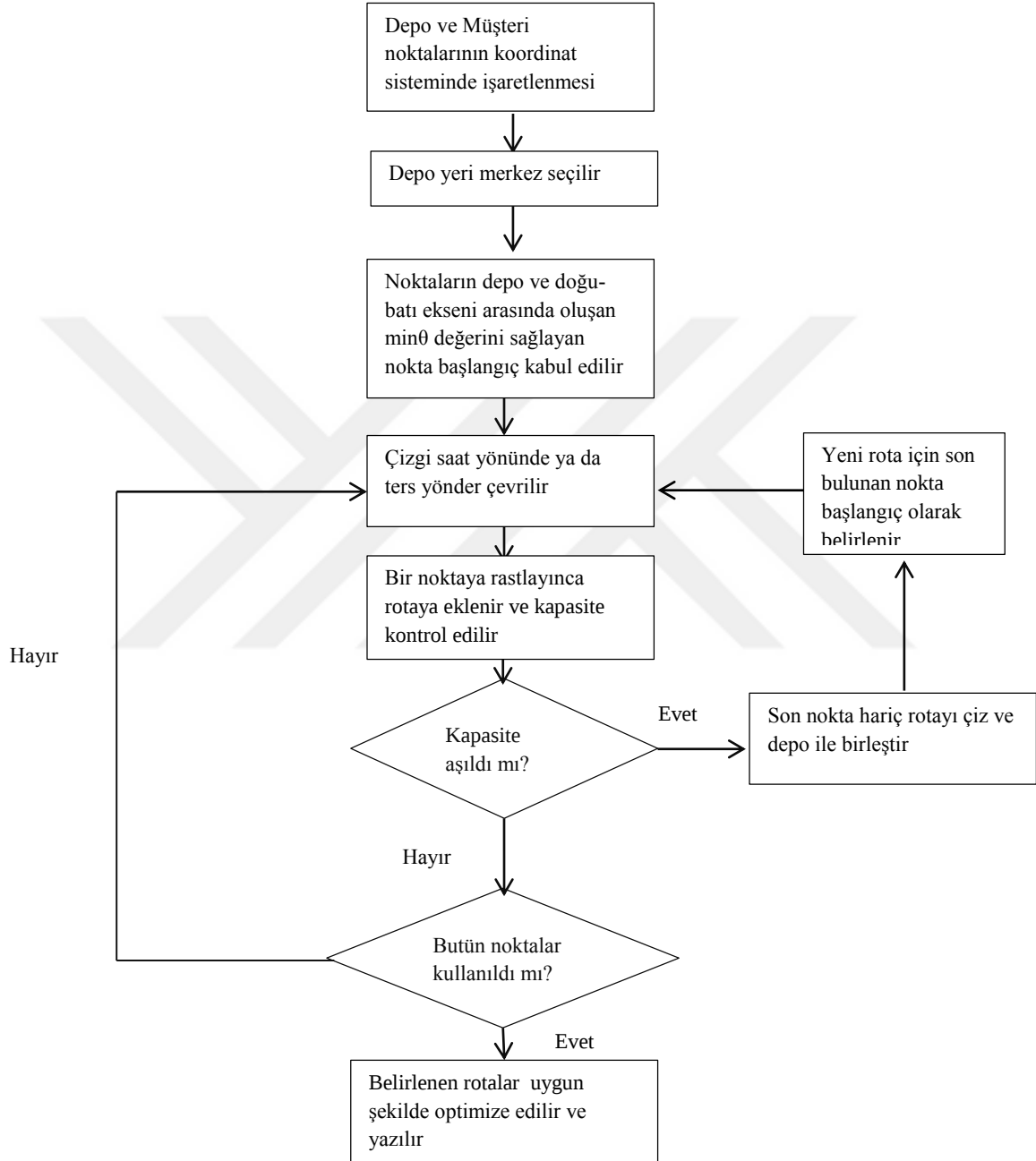
Sweep yöntemi ilk önce şebeke içerisindeki müşterileri araçlara atayan ve daha sonra gezgin satıcı yöntemiyle araçları rotalayan iki aşamalı bir yöntemdir (Karahan, 2003).

Sweep yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Şeker, 2007):

1. Bir harita üzerinde depo (orjin noktası) ile müşteri noktalarının (varış noktaları) yeri doğru şekilde işaretlenir.
2. Herhangi bir araç belirlenir.
3. Bu araç göz önüne alınarak araç kapasitesine uygun yükleme yapılır. Öncelikle depodan herhangi bir noktaya gidilir. Eğer gidilen noktadaki talep miktarı aracın kapasitesini aşmıyorsa saat yönünde ya da ters yönde ikinci bir noktaya gidilir. Bu ikinci noktanın talep miktarı toplam miktara eklenir. Bu toplam miktar eğer aracın kapasitesini aşmıyorsa üçüncü bir noktaya gidilir, aksi halde araç depoya geri döndürülür.
4. Birinci araç depoya geri döndükten sonra ikinci araç için rota hazırlanır. İkinci aracın rotası birinci aracın en son uğradığı noktadan başlar. Ve 3. Adımdaki gibi devam edilir. Bu işlem şebeke içerisindeki tüm noktalar rotaya katılincaya kadar sürer.

5. Tüm noktalar rotalandıktan sonra belirlenen rotalar uygun bir şekilde optimize edilir.

Sweep yönteminin yukarıda anlatılan algoritması Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sweep (Süpürme) Yönteminin Algoritması

4.3.2.3. En yakın komşu algoritması

En yakın komşu arama algoritması, başlangıç düğümünden başlayarak en yakın komşuların seçimi ile ilerler. Tüm düğümler ziyaret edilerek turlar tamamlanır. ARP'ye uygun ve sıklıkla kullanılan bir tur kurucu sezgiseldir. Basit ve etkin sonuçlar verdiği için tercih edilir. Adımları aşağıdaki gibidir (Kızıloğlu, 2017):

Adım 1: Depolara atanmış müşterilerden depoya en yakın olanı ilk müşteri olarak seçilir.

Adım 2: Seçilen müşteriye en yakın müşteri sırayla seçilir.

Adım 3: Araç kapasitesi aşıldığında bir sonraki tura geçilir ve seçilmemiş müşteri kalmayacak şekilde adım.2 tekrarlanır.

Adım 4: Toplam tur uzunluklarını hesaplanır.

4.3.3. Meta-Sezgisel algoritmalar

İyileştirme sezgiselleri mevcut rotalar üzerinde çalışır. Geliştirme yöntemleri, yerel iyileştirme yöntemleri ve genel iyileştirme yöntemleri olarak sınıflandırılır. Yerel iyileştirme prosedürleri, müşterileri tek bir rota (rota içi iyileştirme) ve iki veya daha fazla rota (rota arası iyileştirme) arasında hareket veya alışverişte bulunarak yerel bir minimum bulur. Arama stratejisine "kör arama sezgiselleri" adı verilir; burada yeni çözümler, yalnızca süreç sırasında toplanan bilgilere dayanarak üretilir. Bu yaklaşımlar daha fazla iyileşme olmadığında durdurulması yerel iyileştirme yöntemlerinin öncülüğünü yapar. Yerel iyileştirme yöntemleri, geçici olarak hedef fonksiyon değer çözümlerinin kötüleşmesini kabul eder. Bu strateji de yerel optimumu terk etme olasılığını artırır. Bu mantıkla çalışan genel geliştirme yöntemlerine genellikle "metasezgisel yöntemler" denir (Şahin ve Eroğlu, 2014).

Tavlama Benzetim Yöntemi, Tabu Arama Yöntemi, Karınca Kolonisi Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları literatürde kabul görmüş en yaygın metasezgisel yöntemlerden bazılarıdır.



BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1. Materyal

Bu çalışmada; önceki bölümlerde açıklanan ARP çözüm yaklaşımlarından olan tasarruf yöntemi ve süpürme (sweep) yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca problemin çözümü için matematiksel model geliştirilmiştir.

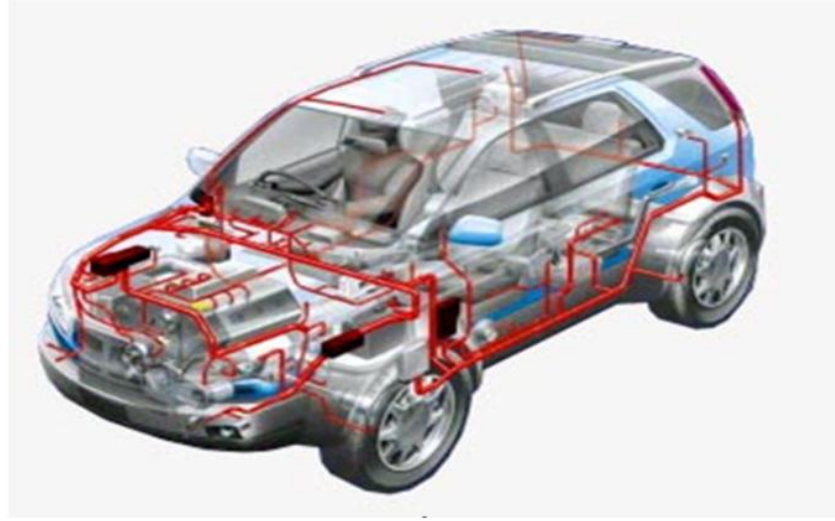
5.2. Yöntem

Bu bölümde; mevcut durum analizi, problemin tanımı, problemin veri seti ve problemin çözümü için kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

5.2.1. Mevcut durum analizi

Bu çalışma, araçlar için “Kablo Ağları (Harness)” üreten bir fabrikada gerçekleşmiştir.

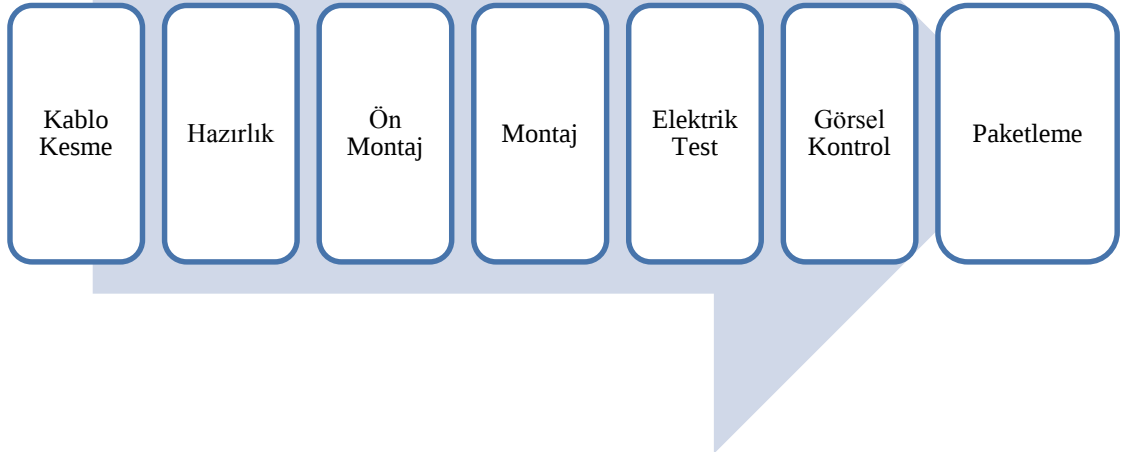
Fabrika 25 üretim hattında otomotiv kablo ağı üretimini yapılmaktadır. Kablo ağları araç modeline göre değişmekle birlikte; ortalama 1200 çeşit farklı özelliklerde (kesit, cins, boy vb.) kablo ve 3000 çeşit malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşur. Fabrikada 8000 çeşit malzeme ve farklı boy ve çaplarda kablolar işlem görmektedir. Şekil 5.1.’de kablo ağlarının araç üzerindeki kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Kablo Ağlarının (Harness) Araç Üzerinde Gösterimi

5.2.1.1. Süreç akışı

Bu bölümde problemin daha iyi anlaşılabilmesi için üretim süreci ve işlemler açıklanmaktadır. Kablo ağı üretim süreciydi aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Kablo Ağlarının(Harness) Süreç Akışı

Kablo Kesme: Depodan gelen kablolar yarı mamul özelliklerine göre otomatik kesim makinelerinde kesilir ve terminal basılır. Otomatik kesim makinelerinde işlemi biten

kablolar montaj hatlarına, hazırlık bölümüne ve ya fason bölümüne bir sonraki işlemi yapılmak üzere kablo dağıtım operatörleri tarafından taşınırlar.

Hazırlık: Otomatik kesim makinelerinde yapılamayan twist (burgu yapma), splicing (kaynak yapma) ve çift sıkma gibi işlemlerin yapıldığı kısımdır. Hazırlık bölümünde işlemi tamamlanan kablolar montaj hatlarına kablo dağıtım operatörleri tarafından dağıtılmaktadır.

Ön Montaj: Kesim Bölümü'nde hatların ihtiyacına göre kesilen kablolar ön montaj işlemlerini görmek üzere hatların içinde bulunan ön montaj masalarına getirilir. Burada konnektöre terminal takılması ve montajı yapılacak kabloların gruplandırılması işlemleri yapılmaktadır. Burada işlemi tamamlanan kablo grupları montaj işlemini görecekları masalara serilir.

Montaj: Ön montaj alanında işlemleri tamamlanan kablo grupları montaj masalarına serilerek bantlama, hortum takma ve kelepçe takma gibi işlemleri yapılır.

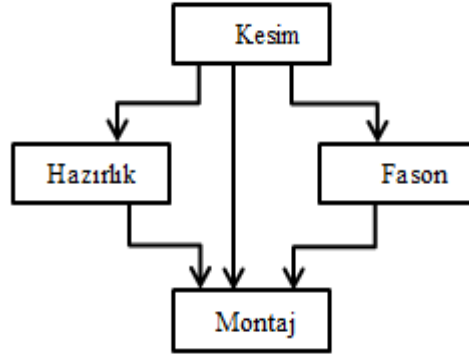
Elektrik Test: Elektriksel bağlantı hatası olup olmadığının montaj işlemleri tamamlandıktan sonra kontrol edilmesi gerekir. Bu kontrol için ürünler Elektrik Test makinesinden geçirilir. Elektrik Test onayı olmayan ürünler müşteriye gönderilemez.

Görsel Kontrol: Elektriksel kontrolden geçen ürünler kalite kontrol operatörleri tarafından görsel olarak %100 kontrol edilir.

Paketleme: Montaj işlemleri tamamlanan, elektriksel ve görselden geçen ürünler talimatlara uygun olarak paketlenir ve bitmiş ürün deposuna paletler ile taşınır.

Fabrika içi kablo taşıma otomatik kesim makinelerinde kesilen kablolar tüm işlemleri tamamlanmış ise iş emir kağıdında tanımlı olan hat adresine götürülür. Tüm işlemleri tamamlanmamış kablolar ise göreceği işleme bağlı olarak hazırlık ya da fason bölümüne götürülür. Fason ve hazırlık bölümünde işlemi tamamlanan kablolar

tanımlı olan hat adresine götürülür. Kablo taşıma akışı aşağıdaki Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Fabrika İçi Kablo Taşıma Sürec Akışı

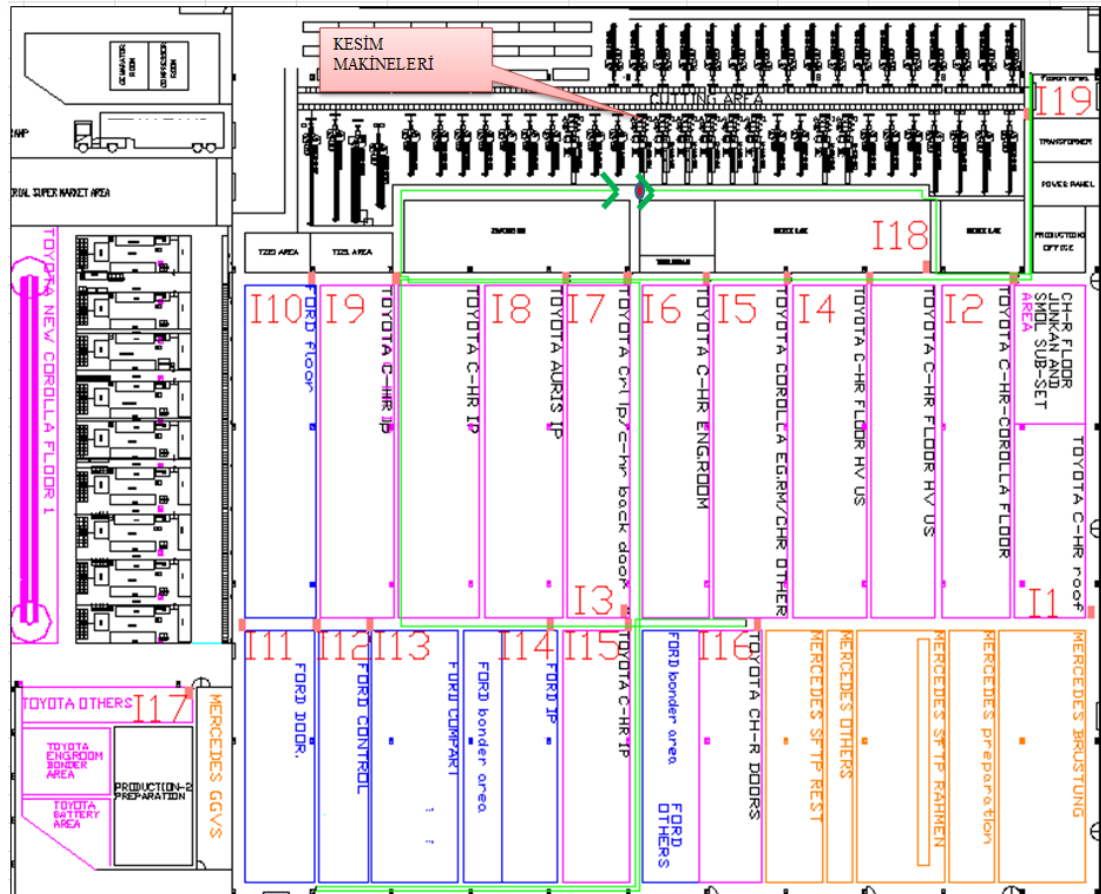
Mevcut durumda k-esim bölümünde 12, hazırlık bölümünde 3 ve fason bölümünde ise 3 dağıtım operatörü çalışmaktadır.

Uygulamada kesim bölümünde üretilen yarı mamullerin montaj hatlarına dağıtımını değerlendirmeye alınarak bu bölümde çalışma yapılmıştır. Kesim bölümünde üretilen kablolar 19 farklı istasyona dağıtılmaktadır.

Mevcut durumda kablo dağıtım operatörü kesim makinelerinin başlangıç noktasından başlayarak üretilen kabloları hangi hatta ait olduklarını dikkate almadan kablo dağıtım arabasına yerleştirmektedir. Kablo dağıtım arabası dolana kadar sırayla makinelerden kesilen kabloları almaktadır. Dağıtım arabası dolduğunda ise arabasında bulunan kabloları herhangi bir rotaya bağlı kalmaksızın hatlara dağıtmaktadır. Tüm kabloların hatlara dağıtımını tamamlandığında bir önceki turdaki en son kablo alınan makineden başlanarak kablolar toplanarak hatlara dağıtım işlemi yapılmaktadır. Kesim bölümünde bulunan 4 dağıtım operatörü bir birinden bağımsız şekilde hareket etmektedir. Bu durum, 4 operatöründe aynı makine ve hatlara uğramasına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca dağıtım arabasına kablolar asılırken herhangi bir gruplama yapılmadığı için dağıtım esnasında kablo arama ve önceki hatlara geri dönüşlere sebep olmaktadır.

Şekil 5.4.'te bir dağıtım operatörünün bir turda izlediği kablo toplama ve kablo dağıtma rotası fabrika yerleşimi üzerinde yeşil çizgiler ile gösterilmiştir. Montaj hattı kablo dağıtım istasyonları ise kırmızı "I" harfi ile gösterilmektedir.

İncelenen örnekte dağıtım operatörünün kesim makinelerinden kablo toplama süresi 12 dakika ve hatlara kablo dağıtma süresi 28 dakika sürmüştür. Bir turda toplam 480 metre yol yürümüştür. Tüm operatörlerin toplam tur sayısı ortalama günlük 44 turdur. Bu durumda kablo dağıtım operatörleri tarafından ortalama günlük 21120 metre yol yürünmektedir.



Şekil 5.4. Mevcut Durum Örnek Kablo Dağıtım Rotası

5.2.2. Problemin tanımı

Fabrikadaki yarı mamul taşıma sisteminin mevcut durumu analiz edilerek aşağıdaki problemler tespit edilmiştir:

- Kesim makinelerinde kablo toplama esnasında herhangi bir hat gruplaması yapılmadan kablolar dağıtım arabasına asılmaktadır.
- Kesim makinelerinden kablo toplama işlemi makine sırasına göre yapılmaktadır, makine grupları oluşturulmamıştır.
- Dağıtım operatörleri bir birinden bağımsız hareket ettiği için aynı toplama ve dağıtım istasyonlarına uğrayabilmektedir. Bu durum zaman kayıplarına ve dağıtım operatörlerinin çakışmasına sebep olabilmektedir.
- Montaj hatlarına kablo dağıtımı için herhangi bir rota tanımlanmadığı için dağıtım operatörleri dağıtım arabasındaki kabloların etiketleri üzerinde yazan hat adreslerine göre kabloları ait oldukları istasyonlara götürmektedir.
- Kablo toplama esnasında kablolar arabaya karışık bir şekilde yerleştirildiği için dağıtım esnasında arabada kablo aramalara sebep olmaktadır.
- Kablo toplama esnasında kablolar arabaya karışık bir şekilde yerleştirildiği için dağıtım esnasında kabloların yanlış hatlara götürülmesine sebep olmaktadır.
- Kablo dağıtım operatörü hem kablo toplama hem de kablo dağıtım işlemi yaptığı için geniş bir alanda çok fazla yol yürümektedir. Bu durum dağıtım operatörlerinin performans takibinin ve yapılan işin kalitesinin değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Fabrika içi taşıma sistemindeki yukarıda belirtilen problemlerin çözülmesi için sadece operatörün yürüme mesafesinin azaltılmasının yeterli olmayacağı öngörülmüş, tüm taşıma sistemi için iyileştirme önerileri sunulmuştur. Bu iyileştirmeler aşağıda belirtilmiştir:

- Kablo toplama ve dağıtma işlemlerinin bir birinden ayrılması, kablo dağıtım arabalarının bekleme noktasının tanımlanması.
- Montaj hatlarına kabloların dağıtım işlemi için kablo dağıtım operatörünün minimum sürede turunu tamamlayabileceği rotanın belirlenmesi.
- Kablo dağıtım rotalarına göre kablo toplama işlemi için makine gruplarının oluşturularak kablo toplama işleminin standartlaştırılması.

5.2.3. Problemin veri seti

Uygulama kapsamında yapılan gözlemler ve değerlendirmeye alınan üretim verilerinin analiz edilmesi sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- İstasyonların talep miktarları

İstasyonların saatlik ortalama talep miktarları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. İstasyonların Talep Miktarları

İstasyon Adı	İstasyon No	Cm/saat	Askı Kol sayısı/saat
CH-Roof	I1	25	1
C-Floor	I2	37	2
CH-B-door	I3	24	1
CH-Floor	I4	261	13
C-Eng Room	I5	75	4
CH-Eng Room	I6	213	11
C-IP	I7	66	3
A-IP	I8	178	9
C-IP	I9	244	12
F- Floor	I10	108	5
F-Door	I11	28	1
F-CONT	I12	24	1
F-COMP	I13	84	4
F-IP	I14	74	4
CH-IP 2	I15	67	3
CH-Door	I16	79	4
CH-Other	I17	18	1
Hazırlık	I18	281	14
FASON	I19	53	3

- Birim kablo dağıtım süresi

Bir cm kablunun dağıtım süresi yapılan zaman etütlerine göre ortalama 2 saniye olarak hesaplanmıştır.

- Kablo taşıma arabası kapasitesi

Bir kablo taşıma arabasında 20 askı kolu bulunmaktadır. Her bir askının uzunluğu 20 cm'dir. Bir taşıma arabasına asılabilecek kablo miktarı toplam 400 cm'dir.

Şekil 5.5.'de kablo taşıma arabası gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kablo Taşıma Arabası

- Taşıma Aracı Hazırlık süresi

Taşıma aracı hazırlık süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre; kablo taşıma arabasının istasyonlara malzeme dağıtımını bitirip dağıtım başlangıç noktasına geldikten sonra boş arabanın yerine yerleştirilmesi, dolu olan arabanın alınması, bazı veri girişlerinin sisteme girilmesi ve beklenmedik durumlar için gereken süreyi içermektedir.

- İstasyonların iç kısımlarına girmek için gereken süre

Bazı hatlarda, kablo dağıtımını için hatların içerisine girilmesi gerekmektedir. Bu süre, ilgili hatlar için bir dakika olarak hesaplanmıştır.

- İstasyonlar arası uzaklık matrisi

Depo ve istasyonlar arası uzaklıklar Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. İstasyonlar Arası Uzaklık Matrisi

	0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
0	0	94	44	40	31	17	8	3	10	29	41	85	77	71	51	44	54	99	34	66
11	94	0	47	53	64	74	84	94	102	122	132	98	90	84	63	53	38	111	58	66
12	44	47	0	83	17	27	37	46	53	72	83	129	121	115	94	84	98	143	10	22
13	40	53	83	0	67	57	47	39	47	67	77	44	36	30	9	2	15	58	73	105
14	31	64	17	67	0	10	20	30	38	58	68	111	103	97	76	66	82	125	8	39
15	17	74	27	57	10	0	10	20	27	46	58	101	93	87	66	56	71	115	16	47
16	8	84	37	47	20	10	0	10	18	37	48	91	83	77	56	46	61	105	26	57
17	3	94	46	39	30	20	10	0	8	28	38	81	73	67	46	40	55	95	35	66
18	10	102	53	47	38	27	18	8	0	20	30	89	81	75	54	48	63	103	43	74
19	29	122	72	67	58	46	37	28	20	0	10	58	66	72	74	64	82	72	60	93
110	41	132	83	77	68	58	48	38	30	10	0	47	56	62	83	76	91	61	70	103
111	85	98	129	44	111	101	91	81	89	58	47	0	8	14	35	45	60	14	117	150
112	77	90	121	36	103	93	83	73	81	66	56	8	0	6	27	37	52	22	109	142
113	71	84	115	30	97	87	77	67	75	72	62	14	6	0	21	31	46	28	103	136
114	51	63	94	9	76	66	56	46	54	74	83	35	27	21	0	10	25	49	83	114
115	44	53	84	2	66	56	46	40	48	64	76	45	37	31	10	0	15	59	73	104
116	54	38	98	15	82	71	61	55	63	82	91	60	52	46	25	15	0	74	88	119
117	99	111	143	58	125	115	105	95	103	72	61	14	22	28	49	59	74	0	131	162
118	34	58	10	73	8	16	26	35	43	60	70	117	109	103	83	73	88	131	0	31
119	66	66	22	105	39	47	57	66	74	93	103	150	142	136	114	104	119	162	31	0

Çalışmada aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmeye alınmıştır.

- Yerleşim planı üzerinde değişiklik yapılmadan taşıma sistemi iyileştirilmektedir.
- İstasyonların birim zamandaki talep miktarı sabit olarak alınmıştır.
- İstasyon içi taşımalar değerlendirilmeye alınmamaktadır.
- Yürüme hızı yapılan gözlemlere göre ortalama alınarak hesaplanmıştır.
- Aracın hareketi esnasında trafik sıkışıklığı olmamaktadır.
- Kablo dağıtım aracı arıza vermemektedir.
- Tüm araçlar birbirinin aynısıdır.
- Taşıma işlemini yapacak yeterli sayıda araç mevcuttur.
- Rota üzerindeki noktalar arasında yük taşınması yapılmamaktadır.

5.2.4. Problemin tasarruf algoritması ile çözümü

Çalışma kapsamında incelenen problem, araçların belirli bir kapasitesi olması nedeniyle kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KARP) olarak adlandırılmaktadır. Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilmiş olan Tasarruf Algoritması bu problemin çözümü için kullanılmıştır.

Tasarruf Algoritması'nın seçilme sebebi ise kısa sürede iyi sonuçlar vermesi ve aynı zamanda kolayca uygulanabilir olmasıdır.

Tasarruf yönteminin uygulanması için gerekli olan veriler; talep verileri, dağıtım noktalarının depoya olan uzaklıkları ve kendi aralarındaki uzaklıkları ve araç kapasiteleridir.

Tablo 5.2.'den faydalanılarak tasarruf miktarları (s_{ij}) hesaplanabilir. Örneğin istasyon 1 ile istasyon 2 arasındaki tasarruf miktarı şu şekilde hesaplanır: $s_{12}=c_{01}+c_{02}-c_{12}$ Bu formülde c_{01} değeri istasyon 1'in dağıtım başlangıç noktasına olan uzaklığını göstermektedir. Bu değer Tablo 5.2.'ye göre 94 metredir. Aynı şekilde c_{02} değeri istasyon 2'nin dağıtım başlangıç noktasına olan uzaklığını göstermektedir ve değeri 44 metredir. Son olarak istasyon 1 ve istasyon 2 arasındaki uzaklık (c_{12}) değeri 47 metredir. Sonuç olarak istasyon 1 ve istasyon 2 arasındaki tasarruf miktarı $S_{12}= 94+44-47=91$ metre olarak bulunur. Aynı işlem diğer ikili noktalar için tekrar edilirse Tablo 5.3.'te gösterilen tasarruf matrisi elde edilir.

Tablo 5.3. Tasarruf Matrisi

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19
I1																			
I2	91																		
I3	0,5	1																	
I4	61	58	3,5																
I5	37	35	0	38															
I6	18	16	1	19	15														
I7	3	1	4	3,5	0	1													
I8	2	1	3	2,5	0	0	5												
I9	1	1	2	1,5	0	0	4	19											
I10	3	2	4	3,5	0	1	6	21	60										
I11	81	0	81	4,5	1	2	7	6	56	79									
I12	81	0	81	4,5	1	2	7	6	40	62	154								
I13	81	0	81	4,5	1	2	7	6	28	50	142	142							
I14	82	1	82	5,5	2	3	8	7	6	9	101	101	101						
I15	85	4	82	8,5	5	6	7	6	9	9	84	84	84	85					
I16	110	0	79	2,5	0	1	2	1	1	4	79	79	79	80	83				
I17	82	0	81	4,5	1	2	7	6	56	79	170	154	142	101	84	79			
I18	70	68	1	57	35	16	2	1	3	5	2	2	2	2	5	0	2		
I19	94	88	1	58	36	17	3	2	2	4	1	1	1	3	6	1	3	69	

Aşağıda problemin paralel tasarruf algoritması ile çözümü gösterilmiştir. Paralel tasarruf algoritmasında, mevcut rotaya eklenemeyen kenarlar için yeni rota açılmaktadır. Ayrıca ikililere bakılırken rotaların birleştirilip birleştirilemeyeceği de kontrol edilmektedir. Tasarruf değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve tasarruf matrisi oluşturulduktan sonra, ilk olarak en büyük tasarruf olan değerden hesaplamaya başlanır. Tablo 5.4.'te tasarruf adımlarının bir kısmı gösterilmiştir. Kapasite yeterli olmadığında, bir sonraki en yüksek tasarruf değerine geçilerek iterasyona devam edilmelidir.

Tablo 5.4. Tasarruf Hareketleri

Konum 1	Konum 2	Tasarruf Miktarı	Talep 1	Talep 2	Toplam askı/saat	Karar
I17	I11	170	0,9	1,4	2,3	I11-I17
I12	I11	154	1,2	1,4	2,6	I12-I11-I17
I17	I12	154	0,9	1,2	2,1	Aynı Rotadalar
I13	I11	142	4,2	1,4	5,6	I13-I12-I11-I17
I13	I12	142	4,2	1,2	5,4	Aynı Rotadalar
I17	I13	142	0,9	4,2	5,1	Aynı Rotadalar
I16	I1	109,5	3,9	1,2	5,2	I13-I12-I11-I17 ve I1-I16 birleştir
I14	I11	101	3,7	1,4	5,1	I1-I16-I13-I12-I11-I17 ve I14 birleştir
I14	I12	101	3,7	1,2	4,9	Aynı Rotadalar
I14	I13	101	3,7	4,2	7,9	Aynı Rotadalar
I17	I14	101	0,9	3,7	4,6	Aynı Rotadalar
I19	I1	93,5	2,6	1,2	3,9	I1-I16-I14-I13-I12-I11-I17 ve I19 birleştir
I2	I1	90,5	1,8	1,2	3,1	Araç kapasitesini aşar
I19	I2	88	2,6	1,8	4,5	Araç kapasitesini aşar
I15	I14	85	3,4	3,7	7,1	Araç kapasitesini aşar
I15	I1	84,5	3,4	1,2	4,6	Araç kapasitesini aşar
I15	I11	84	3,4	1,4	4,8	Araç kapasitesini aşar
I15	I12	84	3,4	1,2	4,6	Araç kapasitesini aşar
I15	I13	84	3,4	4,2	7,5	Araç kapasitesini aşar
I17	I15	84	0,9	3,4	4,2	Araç kapasitesini aşar
I16	I15	83	3,9	3,4	7,3	Araç kapasitesini aşar
I14	I3	82	3,7	1,2	4,9	Araç kapasitesini aşar
I15	I3	82	3,4	1,2	4,6	I15-I3

Bütün iterasyonların sonucunda 6 farklı rota grubu bulunmuştur. Bulunan rota grupları Tablo 5.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Tasarruf Algoritması Rota Grupları

Rota	İstasyon No
1	I19-I1-I16-I14-I13-I12-I11-I17
2	I18-I2
3	I10-I9
4	I4-I5
5	I3-I6-I7-I15
6	I8

Tasarruf algoritmasına göre bulunan rota grupları en yakın komşu algoritmasına göre sıralanarak optimum rotalar oluşturulmuştur. Bu rotalara ait araçların doluluk oranları ve rotaların uzunlukları aşağıdaki Tablo 5.6.'da gösterilmiştir. Bu tabloya göre tasarruf algoritması sonucunda istasyonların bir saatlik talebinin dağıtılması için kablo dağıtım operatörlerinin 695,5 metre yol yürümesi gerekmektedir.

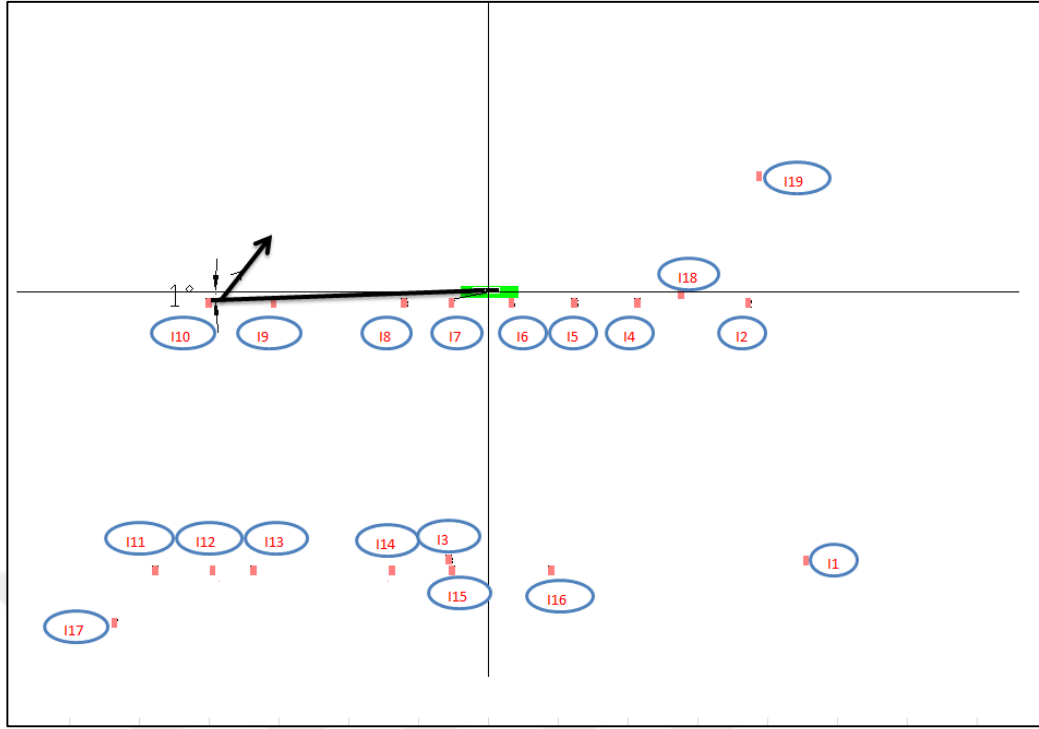
Tablo 5.6. Tasarruf Algoritması Rotalarının Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu

Rota NO	Rota	Askı Sayısı	Doluluk Oranı %	Mesafe(m)
1	I0-I14-I13-I12-I11-I17-I16-I1-I19-I0	19,2	96%	344
2	I0-I18-I2-I0	15,9	80%	88
3	I0-I9-I10-I0	17,6	88%	80
4	I0-I5-I4-I0	16,8	84%	57,5
5	I0-I7-I6-I3-I15-I0	18,5	93%	106
6	I0-I8-I0	8,9	44%	20

5.2.5. Problemin süpürme (sweep) algoritması ile çözümü

Bu yöntemde kablo dağıtım başlangıç noktası (depo) ve istasyonların koordinat sistemindeki yerleri işaretlenir. Kablo dağıtım deposu merkez kabul edilerek, noktaların depo ve doğu-batı ekseninde oluşan minimum açı değerini sağlayan istasyon (I10) başlangıç kabul edilir. Saat yönünde ve saatin tersi yönünde araç kapasitesini aşmayacak şekilde rotalar oluşturulur (Şeker, 2007).

Saat Yönünde Çözüm: Saat yönünde çözüm için istasyonların kutupsal koordinat sistemindeki yerleri Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözüm

Saat yönünde çözüme göre bulunan rota grupları aşağıdaki Tablo 5.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözüm Rota Grupları

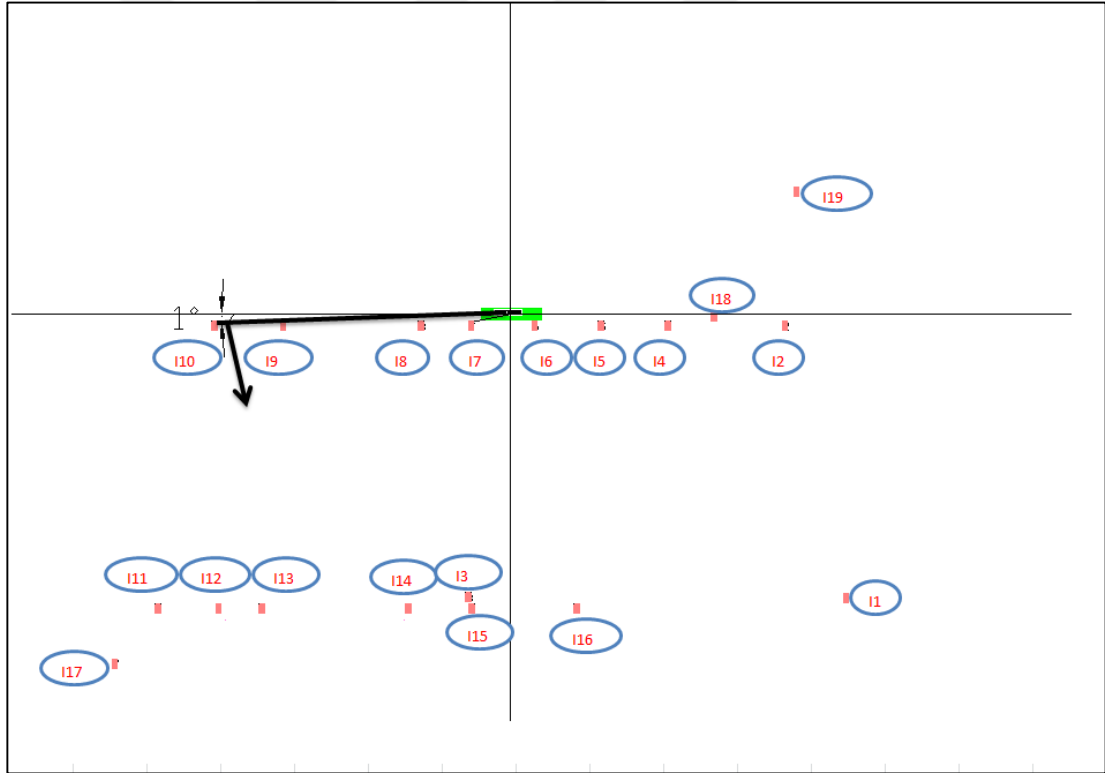
Rota No	İstasyon NO
1	I10-I19
2	I18-I2
3	I4-I5
4	I6-I1-I16-I15-I3
5	I14-I13-I12-I11-I17-I7
6	I8
7	I9

Saat yönünde çözüme göre bulunan rota grupları en yakın komşu algoritmasına göre sıralanmıştır. Tablo 5.8.'de elde edilen rotalara ait araç doluluk oranları ve mesafe bilgileri gösterilmiştir. Sweep algoritmasında saat yönünde çözüm ile elde edilen rotaların toplam mesafesi 834 metredir.

Tablo 5.8. Sweep Algoritması Saat Yönünde Çözümüne Göre Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu

Rota No	İstasyon NO	Askı Sayısı	Doluluk Oranı %	Mesafe (m)
1	I0-I10-I19-I0	8	40%	210
2	I0-I18-I2-I0	16	80%	88
3	I0-I5-I4-I0	17	85%	57,5
4	I0-I6-I3-I15-I16-I1-I0	20	100%	203,5
5	I0-I7-I14-I13-I12-I11-I17	15	75%	197
6	I0-I8-I0	9	45%	20
7	I0-I9-I0	12	60%	58

Saat Yönünün Tersine Çözüm: Saat yönünün tersine çözüm için istasyonların kutupsal koordinat sistemindeki yerleri Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Sweep Algoritması Saat Yönünün Tersine Çözüm

Saat yönünün tersine çözüme göre bulunan rota grupları aşağıdaki Tablo 5.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Sweep Algoritması Saat Yönünün Tersine Göre Çözüm Rota Grupları

Rota No	İstasyon No
1	I10-I9
2	I8-I7-I11-I17-I12-I13
3	I14-I3-I15-I16-I1
4	I6-I5
5	I4-I2
6	I18-I19

Saat yönünün tersi çözümüne göre bulunan rota grupları en yakın komşu algoritmasına göre sıralanmıştır. Tablo 5.10.'da elde edilen rotalara ait araç doluluk oranları ve mesafe bilgileri gösterilmiştir. Sweep algoritmasında saat yönünün tersi çözümü ile elde edilen rotaların toplam mesafesi 758,5 metredir.

Tablo 5.10. Sweep Algoritması Saat Yönünün Tersi Çözümü Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu

Rota NO	Rota	Askı Sayısı	Doluluk Oranı %	Mesafe (m)
1	I0-I9-I10-I0	18	90%	80
2	I0-I7-I8-I13-I12-I11-I17-I0	19,8	99%	213
3	I0-I3-I15-I14-I16-I1-I0	13	65%	208,5
4	I0-I6-I5-I0	14	70%	35
5	I0-I4-I2-I0	15	75%	91
6	I0-I18-I19-I0	17	85%	131

5.2.6. Problemin matematiksel modeli ve lingomodeli

Problemin çözümü için literatürde adı geçen kapasite kısıtlı bir araç rotalama probleminin matematiksel modeli esas alınmıştır.

KARP'de tüm araçların birbirine eşit kapasiteleri vardır. Müşteri talepleri önceden bilinmektedir. Araçlar hareketine depodan başlar ve tekrar depoya dönerek rotalarını tamamlarlar. Müşterilerin sevkiyatı için gereken toplam mesafenin minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Yazgan, 2014).

Problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Şahin ve Eroğlu, 2014).

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ müşteriler ve $v_0 = \text{Depo}$,

d_{ij} : i müşterisinden j müşterisine olan mesafe, (KARP için $d_{ij} = d_{ji}$),

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ araçlar ve m: toplam araç sayısı,

$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ araç kapasiteleri (KARP için $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_m$),

q_i : i müşterisinin talep miktarı olmak üzere;

$x_{ij}^k \begin{cases} 1, & \text{Eğer k aracı i düğümünden sonra j düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$y_i^k \begin{cases} 1, & \text{eğer i düğümüne k aracı hizmet verirse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

Amaç Denklemi:

$$\text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{i, j \in V} d_{ij} x_{ij}^k \quad (5.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ij}^k = 1 \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^k + \sum_{j \in V} x_{ji}^k = 1 \quad (5.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{0j}^k = K \quad (5.4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^k = 1 \quad (5.5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j, n+1}^k = 1 \quad (5.6)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow y_i - q_i = y_j \quad (5.7)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i \quad (5.8)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0, i \neq j}^n x_{ij}^k \leq Q \quad (5.9)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad (5.10)$$

Denklem (5.1)'de toplam mesafenin minimizasyonu sağlayan amaç fonksiyonu gösterilmiştir. Denklem (5.2), her müşteriye bir aracın hizmet vermesini sağlar. Denklem (5.3), geri dönüşlerin engellenmesini sağlar. Denklem (5.4), tüm araçların depodan çıkmasını sağlar. Denklem (5.5), her aracın depodan bir defa ayrılmasını sağlar. Denklem (5.6) her aracın müşterilere bir kez uğramasını sağlar. Denklem (5.7) aracın i-j düğümüne atanması halinde i düğümünden j düğümüne geldiğinde kalacak kapasiteyi göstermektedir. Denklem (5.8) her aracın kapasitesinin Q değeri ile başladığını gösterir. Denklem (5.9) ile rotadaki müşterilerin talepleri bu Q değerini aşamayacağı kısıtlanmıştır. Denklem (5.10) ise x'in 0 ve 1 tamsayı değerini almasını sağlayan kısıttır.

Yukarıda tanımlanan ve matematiksel modeli ortaya konulan KARP'nin çözümü için oluşturulan LINGO modeli aşağıdaki gibidir.

Setler:

IST: Üretim hattındaki istasyonları gösterir.

DIST(i,j): i istasyonu ile j istasyonu arasındaki mesafeyi gösterir.

Veriler ve Karar Değişkenleri:

- DIST: İstasyonlar arası uzaklığı gösteren simetrik matristir.
- Q(i): i istasyonunun talep miktarlarını göstermektedir.
- VCAP: Dağıtım arabasının kapasitesini göstermektedir.

Yukarıda yöneylem formülasyonu verilen araç rotalama problemine ilişkin LINGO programı modeli EK 1'de verilmiştir.

Yukarıda yazılan matematiksel model LINGO 18.0 yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Modele ait sonuç çıktısının bir kısmı EK 2'de verilmiştir. Model sonucuna göre Tablo 5.11.'de gösterilen istasyonlar arasında bağlantı kurulmuştur.

Tablo 5.11. LINGO Modeli Sonucu Oluşturulan Rotalar

Variable	Value
X(I0, I3)	1000000
X(I0, I5)	1000000
X(I0, I6)	1000000
X(I0, I7)	1000000
X(I0, I8)	1000000
X(I0, I9)	1000000
X(I0, I18)	1000000
X(I1, I0)	1000000
X(I2, I19)	1000000
X(I3, I15)	1000000
X(I4, I0)	1000000
X(I5, I4)	1000000
X(I6, I0)	1000000
X(I7, I14)	1000000
X(I8, I0)	1000000
X(I9, I10)	1000000
X(I10, I0)	1000000
X(I11, I17)	1000000
X(I12, I11)	1000000
X(I13, I12)	1000000
X(I14, I13)	1000000
X(I15, I16)	1000000
X(I16, I1)	1000000
X(I17, I0)	1000000
X(I18, I2)	1000000
X(I19, I0)	1000000

Yukarıdaki Tablo 5.11.'e göre lingo modeli sonucunda 7 rota oluşturulmuştur. Tablo 5.12.'de araçların izleyeceği rotalar gösterilmiştir.

Tablo 5.12. LINGO Modeli Rota Grupları

Rota	İstasyon No
1	I0 I3 I15 I16 I1 I0
2	I0 I5 I4 I0
3	I0 I6 I0
4	I0 I7 I14 I13 I12 I11 I17 I0
5	I0 I8 I0
6	I0 I9 I10 I0
7	I0 I18 I2 I19 I0

Tablo 5.13.'de elde edilen rotalara ait araç doluluk oranları ve mesafe bilgileri gösterilmiştir. Lingo modeli çözümü ile elde edilen rotaların toplam mesafesi 691 metredir.

Tablo 5.13. LINGO Modeli Çözümüne Göre Araç Doluluk Oranı ve Mesafe Tablosu

Rota NO	Rota	Askı Sayısı	Doluluk Oranı %	Mesafe (m)
1	I0-I3-I15-I16-I1-I0	9,9	50%	188,5
2	I0-I5-I4-I0	16,8	84%	57,5
3	I0-I6-I0	10,64	53%	16
4	I0-I7-I14-I13-I12-I11-I17-I0	14,7	74%	197
5	I0-I8-I0	9	45%	20
6	I0-I9-I10-I0	17,7	89%	80
7	I0-I18--I2-I19-I0	18,6	93%	132

BÖLÜM 6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, öncelikle fabrika içi mevcut yarı mamul taşıma sistemi incelenerek problem noktaları tespit edilmiştir. Fabrikanın kesim bölümünden kabloların toplanarak montaj istasyonlarına dağıtımının yapıldığı alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle mevcutta kablo toplama ve dağıtım işlemleri bir birinden ayrılarak, toplama işlemi ve dağıtım işlemi ayrı olarak incelenmiş ve problemlere çözüm önerileri getirilmiştir.

Kablo dağıtım işlemi, iç lojistik sisteminin iyileştirilmesi noktasında araç rotalama problemi olarak değerlendirilmiş ve öncelikle Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması ile çözülmüştür. İkinci adımda, aynı problem Sweep (Süpürme) yöntemiyle çözülmüştür. Son olarak matematiksel modelleme yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Tüm çözüm yöntemlerine göre rotalar oluşturulmuş ve toplam yollar hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır.

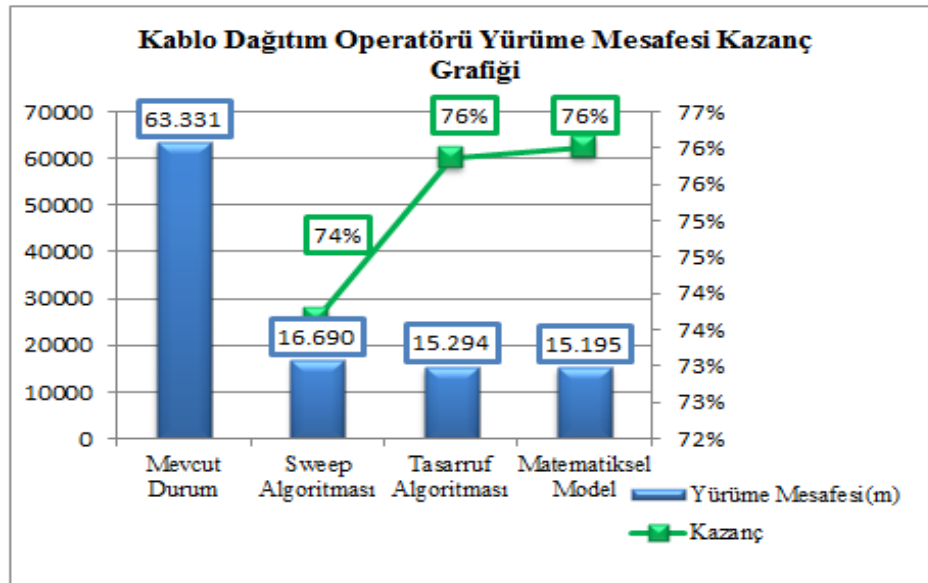
Tablo 5.14.'te kablo dağıtım işleminin mevcut durumu ve problemin çözümü için kullanılan üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda kablo toplama ve kablo dağıtım işlemi için 12 operatör vardır. Bu operatörlerin günlük yürüme mesafesi 63331 metredir. Bu tabloda; sweep yöntemine göre günlük toplam yürüme mesafesi 16690 metre, tasarruf yöntemine göre 15294 metre ve matematiksel modele göre 15195 metredir. Yürüme mesafesi için en iyi sonucu matematiksel model sağlamıştır. Kablo dağıtım çevrim süresi tasarruf yöntemi ve matematiksel modelde aynı sonucu vermiştir. Ancak matematiksel modelde araç sayısı 7 olarak tespit edildiği için gerekli olan toplam operatör sayısı tasarruf yöntemine göre daha yüksek çıkmıştır. En az operatör sayısını tasarruf yöntemi sağlamıştır. Sweep yöntemi ile

hem toplam mesafenin hem de çevrim süresinin minimizasyonunda diğer yöntemlere göre iyi sonuç sağlanamamıştır.

Tablo 5.14. Kablo Dağıtım Sistemi Problemi Çözüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

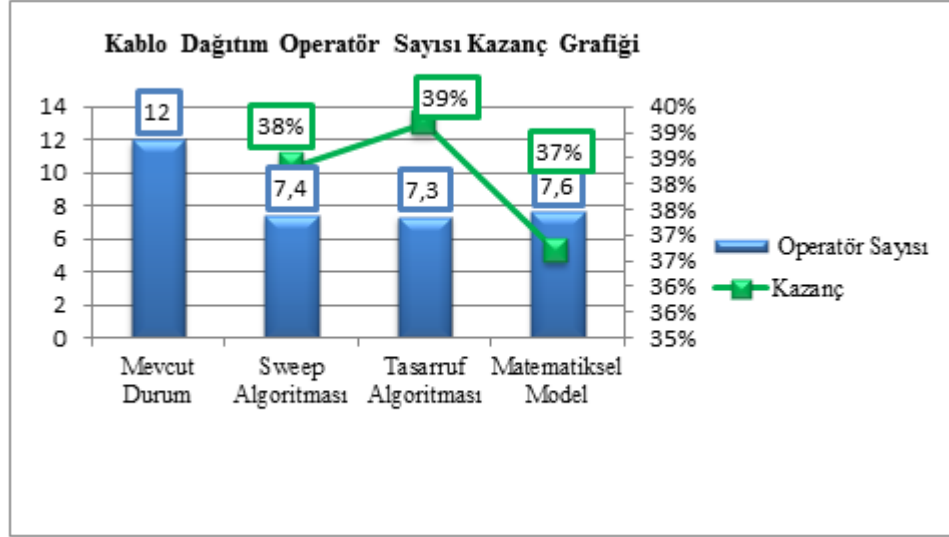
	Mevcut Durum	Sweep Yöntemi	Tasarruf Yöntemi	Matematiksel Model
Kablo dağıtım çevrim süresi (Dakika)	168	103	101	101
Kablo toplama çevrim süresi (Dakika)	72	12,2	12,2	12,2
Mesafe (Metre)	2880	759	695,5	691
Hazırlanması gereken saatlik araç sayısı (Adet)	6	6	6	7
Günlük kablo dağıtım süresi (saat)	62	38	37	37
Günlük kablo toplama süresi (saat)	26	5,8	5,8	5,8
Gerekli kablo toplama operatör sayısı	3,6	0,8	0,8	0,8
Gerekli kablo dağıtım operatör sayısı	8,4	5,2	5,1	5,1
Araç hazırlık işlemi için gerekli operatör sayısı	0	1,5	1,5	1,8
Toplam operatör Sayısı	12,0	7,4	7,3	7,6
Günlük toplam yürüme mesafesi (Metre)	63331	16690	15294	15195
Yürüme mesafesi kazanç oranı		74%	76%	76%
Operatör sayısı kazanç oranı		38%	39%	37%

Şekil 5.8.'de kablo dağıtım operatörlerinin günlük toplam yürüme mesafesinin mevcut durum ile karşılaştırılması ve kazanç oranları göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda yürüme mesafesinde günlük %76 iyileştirme sağlanmıştır.



Şekil 5.8. Kablo Dağıtım Operatörü Yürüme Mesafesi Kazanç Grafiği

Şekil 5.9.'da operatör sayılarının mevcut durum ile karşılaştırılması ve sağlanan kazanç gösterilmektedir. Tasarruf yöntemi, toplam operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayarak en yüksek kazancı sağlayan yöntem olmuştur.



Şekil 5.9. Kablo Dağıtım Operatörü Sayısı Kazanç Grafiği

Genel olarak çözüm yöntemleri karşılaştırıldığında tasarruf yöntemi ve matematiksel model bir birine yakın değerler vermiştir. Ancak araç sayısı matematiksel modelde 7 olarak hesaplandığı için araç hazırlığı için gereken sürede artış olmuştur. Bu nedenle operatör sayısındaki kazancın matematiksel modelde daha az olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak en iyi çözümü yürüme mesafesinde %76 iyileştirme ve operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayan tasarruf yöntemi olduğu görülmektedir.

Tasarruf yöntemi ile belirlenen rotalara göre taşıma araçları için Şekil 5.10.'da gösterilen örnekteki gibi kablo yerleşim planları oluşturulmuştur. Böylece kablo taşıma arabalarının yerleşimi standart hale getirilmiş ve dağıtım operatörünün arabada kablo arama süresi azaltılmıştır.

Kablo Taşıma Arabası Yerleşim Planı										
ROTA 5	I0(Depo)-I7(C-IP)-I6(CH-Eng Room)-I3(CH-B-Door)-I15(CH-IP 2)-I0(Depo)									
1	2	3	4	5		11	12	13	14	15
I6	I6	I6	I6	I6		I6	I7	I7	I7	I7
6	7	8	9	10		16	17	18	19	20
I6	I6	I6	I6	I6		I15	I15	I15	I15	I3

Şekil 5.10. Kablo Taşıma Arabası Yerleşim Planı

Tasarruf yöntemi ile oluşturulan rotalara ait araçların kablo toplamak için uğraması gereken makine sayıları Tablo 5.15.'te belirtilmiştir.

Tablo 5.15. Araçların Kablo Toplaması Gereken Makine Sayıları

Araç No	Makine Sayısı
Araç 1	46
Araç 2	47
Araç 3	46
Araç 4	37
Araç 5	37
Araç 6	37

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Üretim sistemlerinin sürekli iyileştirilmesini amaçlayan ve bu noktada israfların azaltılmasına yönelik yöntemlerin geliştirildiği Yalın Üretim yaklaşımında en önemli israf kaynaklarından biri de üretim içi malzeme taşıma işlemine ilişkin yanlış uygulamalardır. Üretimle bütünleşememiş, planlanması ve yönetilmesi zor, standardize olmayan bir malzeme taşıma yapısı, temin süresini arttırarak, işgücü ve enerji kayıplarına neden olabilmektedir (Kılıç, 2011).

İç lojistik, lojistiğin diğer bölümlerine göre üzerinde daha az durulmuş ve yöntemler geliştirilmiş bir alanıdır. İç lojistikte ana konu, üretim ortamındaki malzemelerin üretim ve tüketim noktaları arasındaki akışının tam zamanında, istenilen miktarda ve şekilde, minimum maliyetle yerine getirilmesidir (Kılıç, 2011).

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Kesim Bölümü'nde üretilen yarı mamullerin montaj hatlarına dağıtılma süreci iyileştirilmeye çalışılmıştır. Mevcut durumda kablo dağıtım rotalarının belirlenmesinde herhangi bir bilimsel yöntemin kullanılmaması ve rotaların standart hale getirilmemesi sebebiyle işgücü kayıpları oluşmaktadır.

Fabrika içi yarı mamul taşıma sisteminin iyileştirilmesi amacıyla Araç Rotalama Problemi çözüm yöntemlerinden yararlanılarak kablo dağıtım operatörünün çevrimini en kısa sürede tamamlayacağı rotalar oluşturulmuştur. Çözüm için Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması, Sweep (Süpürme) Algoritması ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi matematiksel modeli kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerden, kablo dağıtım operatör sayısında %39 iyileştirme sağlayan Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması'nın en iyi çözüm olduğu görülmüştür. Tasarruf Algoritması ile belirlenen rotalara göre kablo toplama işlemi ve taşıma aracına

kabloların yerleştirilmesi standart hale getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmış ve sağlanan iyileştirmeler gösterilmiştir.

Bu bağlamda önerilen yeni sistemin kazanımları şöyledir:

- Kablo toplama ve kablo dağıtım işlemleri ayrılmıştır. Böylece operatörlerin performans takibi ve yapılan işin kontrolü kolaylaşmıştır.
- Kablo dağıtım operatörlerinin minimum yürüme mesafesi ile yapacağı rotalar belirlenmiştir. Toplam yürüme mesafesinde %76 iyileşme sağlanmıştır.
- Belirlenen rotalar kablo dağıtım operatörlerine tanımlanarak operatörlerin aynı hatlara gereksiz yere gitmesi engellenmiştir.
- Kablo dağıtım rotalarına göre kablo toplama operatörlerinin uğraması gereken makineler belirlenmiştir.
- Kablolar arabalara yerleştirilirken hat sırasına göre yerleştirildiği için kablo dağıtım operatörünün arabada kablo arama süresi azalmıştır.
- Dağıtım rotasında bulunmayan hatlara ait kablolar, dağıtım arabasında olmadığı için kabloların yanlış hatlara dağıtılma riski azalmıştır.
- Yürüme ve arama sürelerinde sağlanan kazanç ile operatör sayısı azaltılmıştır. Toplam operatör sayısında %39 iyileştirme ile operatör maliyetinde kazanç sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alanur, H. 2014. Soğuk zincir lojistik yönetiminde dış kaynak kullanımının işletme performansı üzerine etkisi: Gıda tedarik zincirine yönelik bir alan çalışması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Alpaslan, M. 2015. Araç rotalama problemleri için matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Boğ, S. 2006. Algorithms for the vehicle routing problem with time windows and the location-routing problem. Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Crainic, T.G., Laporte, G. 1997. Planning models for freight transportation. European Journal of Operational Research, 97: 409-438.
- Çoban, G., Güven, T. 2011. Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada fabrika içi lojistik sürecinin iyileştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi.
- Darcan, U. 2007. Stokastik araç rotalama algoritmalarının karşılaştırmalı incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Demircioğlu, M. 2009. Araç rotalama probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama. Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, Doktora Tezi.
- Derici, S. 2015. Lojistik yönetiminde özel nitelikli kargoların havayolu ile taşınmasında müşteri tercihlerinin belirlenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dişkaya, F. 2018. Yeşil Lojistik Yönetiminde Ulusal Karayolu Yük Taşımacılığı Araç Rotalama Optimizasyonu. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Bölümü, Doktora Tezi.
- Eker, Ö. 2006. Lojistik Yönetimi ve Tedarik Lojistiği Sürecinde Performansın Arttırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Gezdur, A. 2003. Integrated vehicle routing and warehouse location problem. Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Golden, B.L., Assad A.A., Wasil E.A. 2002. Routing Vehicles in the Real World: Applications in the Solid Waste, Beverage, Food, Dairy and Newspaper Industries, Philadelphia.
- Karahan, A. 2003. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Keçeci, B. 2007. Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için tamsayılı karar modelleri, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kızıloğlu, K. 2017. Stokastik talepli çok depolu araç rotalama problemi için sezgisel bir çözüm yaklaşımı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kılıç, H.S. 2011. Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Küçük, O. 2012. Lojistik İlkeleri ve Yönetimi, 5. Baskı, Seçkin Yayınları, 1-264.
- Özaydın, E. 2003. Capacitated vehicle routing problem with time windows. Sabancı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Rushton A., Croucher P., Baker P. 2006. Handbook of Logistics and Distribution management 3rd Edition, Kogan Page, 1-665.
- Sürmen, Y., Davut, A. 2006. Türkiye’de Lojistik Faaliyetler ve Muhasebe İşlemleri. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 30(1): 54-66.
- Şahin, Y., Eroğlu, A. 2014. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel yöntemler bilimsel yazın taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(4): 337-355.
- Şeker, Ş. 2007. Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Taşkıran, D. 2006. A revised multiple ant colony system for vehicle routing problems with time Windows. Sabancı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yılmaz, A. G. 2015. 2008 Küresel Krizi ve Lojistik Sektörü Üzerine Etkileri. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Yılmaz, Ş. 2008. Çok depolu araç rotalama probleminin karınca kolonisi optimizasyonu ile modellenmesi ve bir çözüm önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Yazgan, H. 2014. Talep ve kapasite kısıtlı optimizasyon problemi için yeni bir melez algoritma. Endüstri Mühendisliği Dergisi Makale. 25(1): 16-28.



EKLER

EK 1: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi LINGO Modeli

MODEL: ! (VROUTE);

SETS:

IST/ I0 I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 I10 I11 I12 I13 I14 I15 I16 I17 I18 I19/: Q, U;

! Q(I) = amount required at IST I(given),
must be delivered by just 1 vehicle.

U(I) = accumulated deliveries at IST I ;

CXC(IST, IST): DIST, X;

! DIST(I,J) = distance from IST I to IST J

X(I,J) is 0-1 variable,

= 1 if some vehicle travels from IST I to J,

else 0 ;

ENDSETS

DATA:

! IST 0 represents the common depot, i.e. Q(1) = 0;

Q= 0 2537242617521366178244 108 28 24 84 74 67 79 18 281 53;

! distance from IST I to IST J is same from J to I,

distance from IST I to the depot is 0,

because vehicle need not return to the depot ;

DIST= ! To IST;

! I0 I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 I10 I11 I12 I13 I14 I15 I16 I17 I18 I19 From;

0 93 44 40 30 17 8 3 10 29 41 85 77 71 51 44 54 99 34 66! I0;

0 0 47 53 64 74 84 94 102 122 132 98 90 84 63 53 38 111 58 66! I1;

0 47 0 83 17 27 37 46 53 72 83 129 121 115 94 84 98 143 10 22! I2;

0 53 83 0 67 57 47 39 47 67 77 44 36 30 9 2 15 58 73 105! I3;

0 64 17 67 0 10 20 30 38 58 68 111 103 97 76 66 82 125 8 39! I4;

0 74 27 57 10 0 10 20 27 46 58 101 93 87 66 56 71 115 16 47! I5;

0 84 37 47 20 10 0 10 18 37 48 91 83 77 56 46 61 105 26 57! I6;

0 94 46 39 30 20 10 0 8 28 38 81 73 67 46 40 55 95 35 66! I7;

0 102 53 47 38 27 18 8 0 20 30 89 81 75 54 48 63 103 43 74! I8;

0 122 72 67 58 46 37 28 20 0 10 58 66 72 74 64 82 72 60 93! I9;

0 132 83 77 68 58 48 38 30 10 0 47 56 62 83 76 91 61 70 103! I10;

0 98 129 44 111 101 91 81 89 58 47 0 8 14 35 45 60 14 117 150! I11;

0 90 121 36 103 93 83 73 81 66 56 8 0 6 27 37 52 22 109 142! I12;

0 84 115 30 97 87 77 67 75 72 62 14 6 0 21 31 46 28 103 136! I13;

0 63 94 9 76 66 56 46 54 74 83 35 27 21 0 10 25 49 83 114! I14;

0 53 84 2 66 56 46 40 48 64 76 45 37 31 10 0 15 59 73 104! I15;

0 38 98 15 82 71 61 55 63 82 91 60 52 46 25 15 0 74 88 119! I16;

0 111 143 58 125 115 105 95 103 72 61 14 22 28 49 59 74 0 131 162! I17;

0 58 10 73 8 16 26 35 43 60 70 117 109 103 83 73 88 131 0 31! I18;

0 66 22 105 39 47 57 66 74 93 103 150 142 136 114 104 119 162 31 0; ! I19;

! VCAP is the capacity of a vehicle ;

VCAP =400;

ENDDATA

!-----;!

The objective is to minimize total travel distance;
 MIN = @SUM(CXC: DIST * X);
 ! for each IST, except depot...;
 @FOR(IST(K)| K #GT# 1:
 ! a vehicle does not travel inside itself...;
 X(K, K) = 0;
 ! a vehicle must enter it,... ;
 @SUM(IST(I)| I #NE# K #AND# (I #EQ# 1 #OR#
 Q(I) + Q(K) #LE# VCAP): X(I, K)) = 1;
 ! a vehicle must leave it after service ;
 @SUM(IST(J)| J #NE# K #AND# (J #EQ# 1 #OR#
 Q(J) + Q(K) #LE# VCAP): X(K, J)) = 1;
 U(K) = amount delivered on trip up to IST K
 >= amount needed at K but <= vehicle capalST;
 @BND(Q(K), U(K), VCAP);
 ! If K follows I, then can bound U(K) - U(I);
 @FOR(IST(I)| I #NE# K #AND# I #NE# 1: U(K) >=
 U(I) + Q(K) - VCAP + VCAP*(X(K, I) + X(I, K))
 - (Q(K) + Q(I)) * X(K, I);
);
 ! If K is 1st stop, then U(K) = Q(K);
 U(K) <= VCAP - (VCAP - Q(K)) * X(1, K);
 ! If K is not 1st stop...;
 U(K) >=
 Q(K)+ @SUM(IST(I)| I #GT# 1: Q(I) * X(I, K));
);
 ! Make the X's binary;
 @FOR(CXC(I, J): @BIN(X(I, J)));
 ! Must send enough vehicles out of depot;
 @SUM(IST(J)| J #GT# 1: X(1, J)) >=
 @FLOOR((@SUM(IST(I)| I #GT# 1: Q(I))/ VCAP) + .999);
 END

EK 2: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi LINGO Model

Çıktısı

```
Global optimal solution found.
Objective value:                691.0000
Objective bound:                691.0000
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          579
Total solver iterations:        17936
Elapsed runtime seconds:        23.21
```

```
Model Class:                    MILP
```

```
Total variables:                401
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              381
```

```
Total constraints:              420
Nonlinear constraints:          0
```

```
Total nonzeros:                2833
Nonlinear nonzeros:            0
```

Reduced Cost	Variable	Value
0.000000	VCAP	400.0000
0.000000	Q(I0)	0.000000
0.000000	Q(I1)	25.00000
0.000000	Q(I2)	37.00000
0.000000	Q(I3)	24.00000
0.000000	Q(I4)	261.0000
0.000000	Q(I5)	75.00000
0.000000	Q(I6)	213.0000
0.000000	Q(I7)	66.00000
0.000000	Q(I8)	178.0000
0.000000	Q(I9)	244.0000
0.000000	Q(I10)	108.0000
0.000000	Q(I17)	18.00000

0.000000	Q(I18)	281.0000
0.000000	Q(I19)	53.00000
0.000000	U(I0)	0.000000
0.000000	U(I1)	195.0000
0.000000	U(I2)	318.0000
0.000000	U(I3)	24.00000
0.000000	U(I4)	336.0000
0.000000	U(I5)	75.00000
0.000000	U(I6)	213.0000
0.000000	U(I7)	66.00000
0.000000	U(I8)	178.0000
0.000000	U(I9)	244.0000
0.000000	U(I10)	352.0000
0.000000	U(I11)	276.0000
0.000000	U(I12)	248.0000
0.000000	U(I13)	224.0000
0.000000	U(I14)	140.0000
0.000000	U(I15)	91.00000
0.000000	U(I16)	170.0000
0.000000	U(I17)	294.0000
0.000000	U(I18)	281.0000
0.000000	U(I19)	371.0000
0.000000	DIST(I0, I0)	0.000000

ÖZGEÇMİŞ

Seçil KAYA 29.11.1989 tarihinde Sakarya’da doğmuştur. Soğuksu İlköğretim Okulunda ilköğretimini tamamlamıştır. 2006 yılında Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Anadolu lisesini bitirmiştir. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.