

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALIN ÜRETİM ORTAMINDA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN TASARIMI

DOKTORA TEZİ
Hüseyin Selçuk KILIÇ

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALIN ÜRETİM ORTAMINDA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN TASARIMI

DOKTORA TEZİ
Hüseyin Selçuk KILIÇ
(507062113)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Nisan 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU (İTÜ)
Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sıtkı GÖZLÜ (İTÜ)
Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER (YTÜ)
Prof. Dr. H. Ziya ULUKAN (GSÜ)
Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU (İTÜ)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

İsrafların azaltılmasını amaç edinen yalın üretim sistemlerinde önemli olan noktalardan biri de üretime ilişkin lojistik faaliyetleridir. Doğru malzemelerin istenilen zamanda, istenilen tüketim noktalarına, istenilen miktarda ve şekilde en az mâliyetle ulaştırılması temel hedeftir. Üretimle bütünleşik, yönetilmesi kolay, standardize edilebilir bir iç lojistik yapısı kurmak sürecin sağlıklı işlemesi açısından önemlidir.

Tez çalışması kapsamında yalın üretimin esas kılındığı bir üretim ortamında iç lojistik sisteminde periyodik taşımalar yapan trenler gerek sınırlı sayıda literatür gerekse de pratik uygulamalarda yapılan gözlemlerle detaylı şekilde incelenmiştir. Gerekli sınıflandırmalar ve modellemeler yapılmıştır. Çözüm metodolojileri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller gerçek üretim ortamında da uygulanarak geçerlilikleri ortaya konulmuştur. Setleme sistemi de iç lojistik yapısı altında analiz edilmiş ve periyodik taşıma yapısıyla bütünleştirilmiştir.

Yapılan çalışmanın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiç bir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığımı ve eş danışmanlığımı itina ile yürüten değerli hocalarım Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK'a, tez çalışmalarımın izlenmesinde ve değerlendirilmesinde değerli katkılarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sıtkı GÖZLÜ'ye, uygulama aşamasında yardımlarına esirgemeyen Mercedes Benz A.Ş. yöneticilerine ve çalışanlarına özellikle Mustafa BAYÜLGEN Bey'e ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Haziran 2011

Hüseyin Selçuk KILIÇ
Endüstri Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. YALIN ÜRETİM VE YALIN LOJİSTİK	5
2.1 Yalın Üretimde İsrarlar.....	6
2.2 Yalın Üretimde İsrarların Elimine Edilmesinde Kullanılan Araçlar.....	6
2.3 Yalın Üretimde Kullanılan Yalın Performans Göstergeleri ve İlkeler.....	10
2.4 Yalın Lojistik ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi	11
3. İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN ANA BİLEŞENLERİ VE LİTERATÜR TARAMASI	15
3.1 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Depolara İlişkin Çalışmalar.....	15
3.2 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Malzeme Taşıma Araçlarına Yönelik Çalışmalar	23
3.3 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Hücresel Yerleşim Düzeni ve “Depo-Hücre”, “Hücre-Hücre” ve “Hücre-Depo” Arası Akışlara Yönelik Çalışmalar	29
3.4. İç Lojistik Sisteminin Temel Bileşenlerine Yönelik Yapılan Literatür Araştırması Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi	36
4. FABRİKA İÇİ MALZEME TAŞIMA SİSTEMLERİ	39
4.1 Malzeme Taşımanın Amaçları.....	41
4.2 Malzeme Taşıma İlkeleri	43
4.3 Malzeme Taşıma Sisteminde Performans Göstergeleri.....	45
4.4 Malzeme Taşıma Araçlarının Türleri	47
4.5 Malzeme Taşımada Kullanılan Yardımcı Donanımlar	54
4.6 Malzeme Taşıma Sistemleri Seçiminde Etkin Olan Kriterler ve Tasarım Özellikleri	54
4.7 Malzeme Taşıma Sistemi Tasarımında Kullanılan Modeller	56
4.7.1 Deterministik Yaklaşım	56
4.7.2 Olasılıklı Yaklaşım	58
4.7.3 Bilgi Tabanlı Yaklaşım	59
5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	67
5.1 Klasik Araç Rotalama Problemi.....	70
5.2 Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi.....	73
5.3 Envanter Rotalama Problemi	74
5.4 Stokastik Araç Rotalama Problemi	74
5.5 Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi	75
5.6 Rotalamaya İlişkin Makaleler	76

6. İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNDE SETLEME	89
6.1 Setleme Sisteminin Faydaları ve Sakıncalı Yönleri.....	90
6.2 Setleme Sisteminin Alternatif Sistemlerle Karşılaştırılması	93
6.3 Setleme Sistemine İlişkin Literatür Taraması	95
7. YALIN ÜRETİM ORTAMINDA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNE İLİŞKİN GELİŞTİRİLEN MODELLER.....	101
7.1 Genel Atama Durumu İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modelleri	106
7.1.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	107
7.1.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	116
7.1.2.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Sezgisel Algoritma	117
7.1.2.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Alt Sınır Algoritması.....	123
7.1.3 Genel Atama, Çok Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	126
7.1.4 Genel Atama, Çok Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	131
7.2 Tahsisli Atama Durumu İçin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modelleri	135
7.2.1 Tahsisli Atama, Farklı Zaman Periyotlu Araçlara İlişkin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	136
7.2.2 Tahsisli Atama, Eşit Zaman Periyotlu Araçlara İlişkin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	139
7.3 Zaman Periyodu Belirli Araçlara İlişkin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli.....	139
7.3.1 Zaman Periyodu Belirli, Tek Rotalı Araçlara İlişkin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli.....	140
7.3.2 Zaman Periyodu Belirli, Çok Rotalı Araçlara İlişkin Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli.....	143
7.4 Düşünsel Bir Örnek Üzerinde Genel Atama, Tahsisli Atama ve Belirli Zaman Periyotlu Atama Modellerinin Uygulanması	146
7.4.1 Parametrelerin Belirlenmesi	149
7.4.2 Kurgulanan Sayısal Örnek Üzerinde Modellerin Çalıştırılması	154
7.4.2.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar	154
7.4.2.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar	155
7.4.2.3 Genel Atama, Çok Rotalı, Farklı ve Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	160
7.4.2.4 Tahsisli Atama, Farklı ve Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar	161
7.4.2.5 Belirli Zaman Periyotlu, Tek Rotalı ve Çok Rotalı Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar	166
7.4.3 Bütün Problem Türlerinin Genel Değerlendirilmesi ve Sayısal Örneğe İlişkin Sonuçların Özet Tablo Halinde Gösterilmesi	169
7.5 Sayısal Örneğe İlişkin Gelecek Durum Değer Akış Haritası	173
7.6 Setleme Sisteminin Döngüsel Sefer Taşıma Sistemiyle Bütünleştirilmesi....	175

7.6.1 Setleme Sistemine Geçiş ve Karşılaştırma Algoritması	175
7.6.2 Setleme Sistemine İlişkin Geliştirilen Doğrusal Model	180
8. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİLERİN GEÇERLİLİĞİNİN	
İNCELENMESİ	187
8.1 Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı	187
8.2 Uygulamanın Yapıldığı Kısım	188
8.3 Uygulamanın Aşamaları	189
8.3.1 Uygulamada Kullanılacak Olan Döngüsel Sefer Modelinin Belirlenmesi	189
8.3.2 Modele İlişkin Gerekli Parametrelerin Belirlenmesi.....	205
8.3.3 Modelin İlgili Parametre Değerlerine Göre Çözdürülmesi.....	211
8.4 Uygulamanın Genel Sonuçları	229
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	231
KAYNAKLAR	235
EKLER.....	245
ÖZGEÇMİŞ	285

KISALTMALAR

İng	: İngilizce
TZÜ	: Tam Zamanında Üretim
JIT	: Just In Time (Tam Zamanında)
MRP	: Material Requirement Planning (Malzeme İhtiyaç Planlama)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
NP	: Nondeterministic Polynomial (Deterministik Olmayan Polinomiyal)
AGV	: Automatic Guided Vehicle (Otomatik Yönlendirmeli Araç)
FUMAHES	: Fuzzy Multi-Attribute Material Handling Equipment Selection (Bulanık Çok Amaçlı Malzeme Taşıma Donanımı Seçimi)
TOPSIS	: Technic for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Sıralama)
SAW	: Simple Additive Weighting (Basit Eklemeli Ağırlık Analizi)
ARP	: Araç Rotalama Problemi
KARP	: Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
ZPARP	: Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
ERP	: Envanter Rotalama Problemi
DTARP	: Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi
ÖSK	: Özel Sıralı Küme Türü
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
GAMS	: General Algebraic Modelling System (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi)
TRK1	: Tekli Rota Kural 1
ÇRK1	: Çoklu Rota Kural 1

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yalın uygulamalar ve endüstri ile yönetim literatüründe (1977-1999) kullanılma sıklıkları (Bayou ve Korvin, 2008).	7
Çizelge 7.1 : Sayısal örnekteki rotaların güzergahındaki hücreler.....	150
Çizelge 7.2 : Sayısal örnekteki stok noktalarında parçaların birim değerleri (TL)..	152
Çizelge 7.3 : Stok noktalarının birim zamandaki talep miktarları (kasa/dak.)	154
Çizelge 7.4 : Genel atama, tek rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim süreleri ve atanan stok noktaları	155
Çizelge 7.5 : Genel atama, tek rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim süreleri ve atanan stok noktaları	156
Çizelge 7.6 : Rotaların üzerinden geçtiği hücreleri gösteren başlangıç tablosu.	158
Çizelge 7.7 : $t=20$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	158
Çizelge 7.8 : Alt sınır bulma adımlarına ilişkin her adımda elde edilen çözümler..	159
Çizelge 7.9 : Genel atama, çok rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim süreleri ve atanan stok noktaları	160
Çizelge 7.10 : Tahsisli atama, farklı zaman periyotlu duruma ilişkin çözüm	165
Çizelge 7.11 : Tahsisli atama, eşit zaman periyotlu duruma ilişkin çözüm	165
Çizelge 7.12 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum rota) durumuna ilişkin çözüm	166
Çizelge 7.13 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum katedilen mesafe) durumuna ilişkin çözüm.....	167
Çizelge 7.14 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum taşıma mâliyeti) durumuna ilişkin çözüm.....	167
Çizelge 7.15 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum araç sayısı) durumuna ilişkin çözüm.....	168
Çizelge 7.16 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum katedilen mesafe) durumuna ilişkin çözüm.....	168
Çizelge 7.17 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum taşıma mâliyeti) durumuna ilişkin çözüm.....	169
Çizelge 7.18 : Bütün problem sınıflarına ilişkin özet sonuç tablosu.....	172
Çizelge 7.19 : Setleme sistemine ilişkin kurgulanan örneğin parametreleri.....	184
Çizelge 7.20 : Setleme sistemine ilişkin modelden elde edilen sonuçlar	185
Çizelge 8.1 : Uygulamadaki olası rotalara atanabilecek istasyonlar	206
Çizelge 8.2 : Uygulamadaki olası rotaların uzunlukları ve süreleri	208
Çizelge 8.3 : Uygulamada kullanılan kasa özellikleri	209
Çizelge 8.4 : İstasyonların birim zamandaki talep miktarları (kasa/dak.)	209
Çizelge 8.5 : İstasyonlarda kullanılan kasaların ortalama parasal değerleri.....	210
Çizelge 8.6 : Rotaların katedilmesi için gerekli olan enerji mâliyeti	210
Çizelge 8.7 : 45 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler ..	212
Çizelge 8.8 : 45 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	212
Çizelge 8.9 : 45 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler..	214

Çizelge 8.10 : 45 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	214
Çizelge 8.11 : 60 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	216
Çizelge 8.12 : 60 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	216
Çizelge 8.13 : 60 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	218
Çizelge 8.14 : 60 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	218
Çizelge 8.15 : 75 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	220
Çizelge 8.16 : 75 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	220
Çizelge 8.17 : 75 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	222
Çizelge 8.18 : 75 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	222
Çizelge 8.19 : 90 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	224
Çizelge 8.20 : 90 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	224
Çizelge 8.21 : 90 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler	226
Çizelge 8.22 : 90 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.....	226
Çizelge 8.23 : Genel atama durumuna ilişkin özet çözümler.....	228
Çizelge 8.24 : Tahsisli atama durumuna ilişkin çözüm tablosu	229
Çizelge A.1 : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları ..	247
Çizelge B.1 : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması	253
Çizelge C.1 : Setlemeye ilişkin makalelerin sınıflandırılması	265
Çizelge D.1 : $t=8$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	268
Çizelge D.2 : $t=10$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	268
Çizelge D.3 : $t=12$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	269
Çizelge D.4 : $t=14$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	269
Çizelge D.5 : $t=16$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	270
Çizelge D.6 : $t=18$ zaman dilimi için elde edilen çözüm	270
Çizelge G.1 : Uygulama ortamında istasyonlarda kullanılan sarf malzemeleri	275

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tam zamanında üretim felsefesi yaklaşımı (Hay, 1988).	8
Şekil 2.2 : Tedârikçiden tesise, tesisten müşteriye ve tesis içi döngüsel seferler (Baudin, 2004).....	13
Şekil 4.1 : Tesis planlama hiyerarşisi (Tompkins ve White, 1984).	41
Şekil 4.2 : Bazı konveyör türleri: (a) bantlı konveyör, (b) rulolu konveyör, (c) zincirli konveyör ve (d) spiral konveyör (Url-4).....	50
Şekil 4.3 : Bazı vinç türleri: (a) monoray köprü vinç, (b) monoray tavan vinç, (c) pergel vinç, (d) portal vinç ve (e) çift kirişli vinçlerdir (Url-5).	52
Şekil 4.4 : Transpalet ve istif araçları: (a) transpalet, (b) akülü transpalet, (c) akülü transpalet-platformlu, (d) manüel istif aracı, (e) yarı manüel istif aracı, (f) akülü istif aracı (Url-6).	53
Şekil 4.5 : (a) Forklift (Url-7), (b) otomatik yönlendirmeli araç (Url-8), (c) kısa tren (Url-9).....	54
Şekil 4.6 : (a) konteyner, (b) kasa ve (c) palet (Url-10).	54
Şekil 4.7 : Karar destek sisteminin yapısı (Garcia-Diaz ve Smith, 2008).	60
Şekil 4.8 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde malzeme boyutu içeriği (Heragu, 2008).	61
Şekil 4.9 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde hareket boyutu içeriği (Heragu, 2008).	61
Şekil 4.10 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde metot boyutu içeriği (Heragu, 2008).....	62
Şekil 4.11 : Malzeme taşıma sistemi eşitliği (Tompkins ve diğerleri, 2010).	63
Şekil 5.1 : Araç rotalama probleminde depo, müşteri ve rotalar (Ai, 2009).	67
Şekil 5.2 : Çok amaçlı ulaştırma ağ tasarımı probleminin alt dalları (Ekşioğlu ve diğerleri, 2009).	69
Şekil 6.1 : Setleme sistemlerinde genel malzeme akışı (Bozer ve McGinnis, 1992).	89
Şekil 6.2 : Geleneksel montaj hattı (Url-11).....	92
Şekil 6.3 : Setleme sistemi (Toyota yeni malzeme taşıma sistemi) (Url-11).	92
Şekil 7.1 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi problem türleri	103
Şekil 7.2 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi problem sınıflarının kullanıldığı durumlar	105
Şekil 7.3 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi ile setleme sisteminin girdi ve çıktıları	106
Şekil 7.4 : GAMS eniyileme programının 3. günde çalışırken ve yarıda kesildiğinde elde edilen ekran görüntüleri	117
Şekil 7.5 : Geliştirilen sezgiselin algoritması	119
Şekil 7.6 : Alt sınır bulmaya ilişkin geliştirilen algoritma.....	124
Şekil 7.7 : Düşünsel örneğe ilişkin yerleşim planı	147
Şekil 7.8 : Yerleşim planı üzerinde rota 1, rota 2 ve rota 3'e ilişkin gösterim.	148
Şekil 7.9 : Yerleşim planı üzerinde rota 4, rota 5 ve rota 6'ya ilişkin gösterim.	148
Şekil 7.10 : Yerleşim planı üzerinde rota 7, rota 8 ve rota 9'a ilişkin gösterim.	149
Şekil 7.11 : Yerleşim planı üzerindeki hücreler arası mesafeler (metre)	151

Şekil 7.12 : Sayısal örneğe ilişkin tren, vagon ve kasa özellikleri.....	153
Şekil 7.13 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan ilk grup	161
Şekil 7.14 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan ikinci grup	162
Şekil 7.15 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan üçüncü grup	162
Şekil 7.16 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan ilk grup	163
Şekil 7.17 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan ikinci grup	164
Şekil 7.18 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan üçüncü grup	164
Şekil 7.19 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan dördüncü grup.....	165
Şekil 7.20 : Sayısal örnek ürün 1'e ilişkin gelecek durum değer akışı	174
Şekil 7.21 : Hat kenarında stoklama sistemine ilişkin gösterim.....	176
Şekil 7.22 : Setleme sistemine ilişkin gösterim	177
Şekil 7.23 : Setleme sistemine ilişkin geliştirilen algoritma	178
Şekil 7.24 : Setleme sistemine ilişkin kurgulanan örneğin gösterimi	183
Şekil 8.1 : Hoşdere otobüs fabrikası.	188
Şekil 8.2 : Üretim alanı yerleşim planı.....	189
Şekil 8.3 : Olası rotalar rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4'e ilişkin gösterim.....	207
Şekil 8.4 : 45 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar ve rotalara atanan istasyonlar	213
Şekil 8.5 : 45 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	215
Şekil 8.6 : 60 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	217
Şekil 8.7 : 60 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	219
Şekil 8.8 : 75 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	221
Şekil 8.9 : 75 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	223
Şekil 8.10 : 90 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	225
Şekil 8.11 : 90 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar	227
Şekil 8.12 : Tahsis edilmiş istasyonlar	229
Şekil 8.13 : Farklı zaman periyotlarında, sistemde gerekli olan araç sayıları	230
Şekil 8.14 : Farklı zaman periyotlarında, istasyonlardaki süreç içi stok miktarı.....	230
Şekil E.1 : Sayısal örnek ürün 2'ye ilişkin gelecek durum değer akışı	271
Şekil E.2 : Sayısal örnek ürün 3'e ilişkin gelecek durum değer akışı	272
Şekil F.1 : Olası rotalar rota 5, rota 6, rota 7 ve rota 8'e ilişkin gösterim	273
Şekil F.2 : Olası rotalar rota 9 ve rota 10'a ilişkin gösterim	274

YALIN ÜRETİM ORTAMINDA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN TASARIMI

ÖZET

Üretim lojistiği, tedârik lojistiği ve dağıtım lojistiğine nazaran üzerinde daha az çalışılmış önemli ve iyileştirmeye açık bir alandır. Tez çalışması kapsamında düzgünleştirilmiş bir üretimin esas kılındığı yalın üretim ortamında iç lojistik yapısının nasıl olması gerektiği incelenmiştir. Özellikle pratik uygulamalarda hızla yerini almaya başlayan belirli zaman dilimlerinde, belirli bir rotada hareket eden döngüsel sefer trenleri bu noktada önemli bir yere sahiptir.

İlgili yayınlar incelendiğinde üretim lojistiği bağlamında döngüsel sefer trenlerine ilişkin çok az sayıda yayın bulunmaktadır. İç lojistiğin kendine özgü yapısı, döngüsel sefer problemini klasik tedârik ve dağıtım lojistiğindeki araç rotalama problem türlerinden ayırmaktadır.

Yapılan çalışmayla amaçlanan yalın üretimin esas kılındığı bir üretim ortamında süreç içi stok ve taşıma mâliyetlerini düşüren, katma değerli süreyi arttıran, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş taşıma araçlarından kurulu bir iç lojistik yapısı oluşturmaktır. Bu amaçla, ilk olarak sınırlı sayıdaki literatüre ve özellikle yalın üretimin esas kılındığı çeşitli üretim ortamlarında yapılan gözlemlere dayanarak üretim içi döngüsel sefer problemi sınıflandırılmıştır. Her sınıflandırmaya ilişkin modellemeler yapılmış, belirli bir sınıf için sezgisel ve alt sınır algoritmaları geliştirilmiştir. Ayrıca yalın üretim sistemlerinde özellikle montaj hatlarının beslenmesinde önemli bir konu olan setleme sistemi incelenmiş ve döngüsel sefer yapısıyla bütünleştirilmesinde kullanılacak bir model sunulmuştur.

Geliştirilen modellerin geçerliliklerinin gösterilmesi açısından yalın üretimi esas alan bir fabrikada uygulamada bulunulmuştur. Çeşitli senaryolar altında fabrika için çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Yapılan tez çalışmasının bölümlerine ait içerik bilgileri aşağıda özetlenmiştir:

Tezin birinci bölümünde, tesis içi lojistik kavramı açıklanmış, tesis içi lojistikte yapılacak iyileştirmelerin ne gibi faydalar getireceği belirtilmiştir. Tezin temel bileşenleri hakkında bilgi verilmiş ve literatürdeki çalışmalardan farkı ortaya konularak ne gibi özgünlükleri olduğu ifade edilmiştir.

İkinci bölümde, yalın üretim ve yalın lojistik arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu bağlamda yalın üretimde israfların neler olduğu, yalın üretimde israfların elimine edilmesinde kullanılan araçlar, yalın üretimde kullanılan performans göstergeleri ve ilkeler ile döngüsel sefer taşıma sisteminin yalın lojistikteki yeri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, iç lojistik sistemi depolar, malzeme taşıma araçları, hücresel yerleşim düzeni ile akışlar adı altında sınıflandırılmış ve bu noktadaki yayınlar incelenmiştir.

Dördüncü bölümde fabrika içi malzeme taşıma sistemlerinin amaçları, ilkeleri, taşıma sistemlerinde kullanılan performans göstergeleri, taşıma araç türleri ve yardımcı donanımlar, malzeme taşıma sistemleri seçiminde etkin olan kriterler ve tasarım özellikleri ile malzeme taşıma sistemi tasarımında kullanılan modeller açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, araç rotalama problemi ele alınmıştır. Araç rotalama probleminin türleri olan klasik, zaman pencereli, envanter, stokastik ve dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri irdelenmiş, bu noktada literatür taraması yapılmıştır.

Altıncı bölümde, iç lojistik sistemi kapsamında setleme üzerinde durulmuştur. Setleme sisteminin avantajlarının neler olduğu açıklanmış ve alternatif sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca setlemeye ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

Yedinci bölümde iç lojistik sisteminde döngüsel sefer problemine ilişkin yapılan sınıflandırma ve her sınıflandırmaya ilişkin modellemeler sunulmuştur. Geliştirilen sezgisel ve alt sınır algoritmaları açıklanmış ve bütün modeller sayısal bir örnek üzerinde denenmiştir. Ayrıca setlemeye ilişkin geliştirilen karşılaştırma algoritması ve model anlatılmıştır.

Sekizinci bölümde, geliştirilen modellerin gerçek üretim ortamında uygulanmasına ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Uygulama yapılan yere ilişkin bilgiler, kullanılan modeller ve elde edilen çözümler sunulmuştur.

Son bölümde, tüm tez çalışması genel olarak değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve çıkarımlarda bulunulmuştur. Ayrıca gelecekte konu ile ilgili yapılabilecek çalışmaların neler olabileceği üzerinde durulmuştur.

THE DESIGN OF PLANT LOGISTICS IN LEAN MANUFACTURING ENVIRONMENT

SUMMARY

Plant logistics when compared to inbound and outbound logistics is a less studied subject open to improvement. Within thesis study, how a plant logistics structure should be in a lean manufacturing environment where there is smooth production is investigated. Especially, the milk-run trains, having an increasing rate of use in practical applications, travelling in a specified route and specified time periods is very important at this point.

When related literature is analyzed, there are few studies about milk-run trains in plant logistics. The original structure of the plant logistics differentiates the milk-run problem from the vehicle routing problems in classic inbound and outbound logistics.

It is aimed to construct such a plant logistics structure in a lean manufacturing environment that enables less work-in-process and handling costs, increasing value added time and having an easily manageable and standardized material handling system. With this aim, firstly the milk-run problem in plant is classified based on both the limited literature and especially the observations in production areas using lean production. With respect to each category, modelling is made. For a specific category, a heuristics and a lower bound algorithm are developed. Also, kitting system which is an important subject for feeding the assembly lines in lean production is analyzed and a model is developed enabling the integration with the milk-run structure.

For testing the validation of the developed models, an application is performed in a factory where there is lean production. Under some scenarios, solution alternatives are developed.

The contents of the sections in thesis study are as follows:

In the first section, the plant logistics concept is explained and the benefits of the improvement activities in plant logistics are indicated. Information is given about the main components of the thesis study and original parts differentiating the thesis from the other studies are explained.

In the second section, the relation between the lean production and lean logistics is analyzed. In this context, the wastes in lean production, the tools for eliminating the waste, the performance indicators in lean production and the place of milk-run material handling system in lean logistics are provided.

In the third section, the plant logistics system is categorized under warehouses, material handling systems, cell layout and flows. The related literature about these subjects are given.

In the fourth section, the objectives and principles of material handling systems in plant, the performance indicators used in material handling systems, the types of

material handling systems and supporting equipments, the criteria effective in the selection of material handling system, design properties and the models in material handling system design are provided.

In the fifth section, the vehicle routing problem is handled. The types of vehicle routing problems such as classic, with time windows, inventory, stochastic and pickup/delivery are analyzed and a literature review is included..

In the sixth part, within the context of plant logistics, information about kitting is included. The advantages of the kitting system are explained and compared to alternative systems. In addition to these, literature review is given.

In the seventh section, a classification of milk-run problem in plant logistics and modelling for each classification are presented. The developed heuristics and lower bound algorithm are explained and tested on a numerical example. Moreover, an algorithm for the comparison of kitting system and a model are provided.

In the eight section, information about the application of developed models in a real production environment is given. Information about the application area, models used and results are presented.

In the last section, a general overview about thesis study is given. The results have been evaluated and implications are made. Furthermore, relevant work to be pursued in the future is given.

1. GİRİŞ

Rekabet ortamının geçmiş yıllara göre daha da arttığı günümüzde, gerek üretim gerekse de hizmet sektörüne yönelik tüm israflardan arınmayı hedefleyen yalın üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özünde israflardan arınmayı amaçlayan bu yaklaşımda önemli israf kaynaklarından biri de malzeme taşımayla ilişkili israflardır. Bu kapsamda ön plana çıkan önemli konulardan biri yalın üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Bu durum, yalın lojistik olarak literatürde yerini almaya başlamıştır.

Lojistik kavramı, uluslararası lojistik yönetim konseyi tarafından “Müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürün, servis hizmeti ve bilgi akışının, başlangıç noktasından (kaynağından) tüketildiği son noktaya (nihai tüketiciye) kadar olan tedârik zinciri içindeki hareketinin etkili ve verimli bir şekilde planlanması, uygulanması, taşınması, depolanması ve kontrol altında tutulması hizmetidir” şeklinde tanımlanmaktadır (Url-1). Yalın lojistik kavramı da yalın üretimin lojistik boyutudur (Baudin, 2004) ve lojistik süreçlerinde meydana gelebilecek her türlü israftan sistemi arındırmayı amaçlamaktadır.

Lojistik temel olarak 3 kısımda incelenebilir. Tedârikçiden tesise kadar olan lojistik (İng: in-bound logistics), tesis içi lojistik (İng: in-plant logistics, dock to dock logistics) ve tesisten müşteriye olan lojistik (İng: Outbound logistics) (Baudin, 2004).

Lojistik kavramı genelde tedârikçiden tesise ve tesisten müşteriye olan lojistik şeklinde düşünülmektedir. Lojistiğin önemli bir boyutu da imalat lojistiği olarak da geçen iç lojistik yönüdür. Çalışma kapsamında ele alınacak olan lojistik boyutu tesis içi lojistikdir.

Tesis içi lojistiğin mevcut üretim sistemiyle bütünleştirilmesinin sağlanması, etkinlik ve verimliliğin yerine getirilmesi için kaçınılmazdır. Yalın üretim ortamına uygun olarak tasarlanmış, hücrelerden kurulu, düzgünleştirilmiş tekrarlı üretim yapılan bir ortamda 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 daha birçok soru bu kapsamda ele alınabilir. Bu ve benzeri sorulara verilecek doğru yanıtlar, bütünsel olarak iç lojistik tasarımının yerine getirilmesini sağlayacaktır.

İdeal bir iç lojistik sisteminin tasarlanmasıyla mâliyetlerde büyük düşmeler sağlanabilecektir. Tompkins ve diğ. (1999) üretim mâliyetlerinin %20-50'si arasının malzeme taşımayla ilişkili olduğunu belirtmektedir. Bu açıdan iyi bir malzeme taşıma sisteminin, mâliyetlerde %10 ile %30 arasında düşmeye neden olabileceği belirtilmektedir (Drira ve diğerleri, 2007).

Tesis içi lojistik kapsamında literatürde geçen ana konu başlıkları; depolama stratejilerinin belirlenmesi, depolama araçlarının seçimi, malzeme taşıma hareketlerinin yapılandırılması, malzeme taşıma araç türlerinin seçimi, hücresel yerleşim, hücre içi ve hücreler arası hareketlerin yapılandırılması gibi konulardır.

Tezde temel olarak odaklanılacak nokta, üretim içi lojistik sisteminin çekme esaslı taşıma sistemine göre tasarlanmasıdır. Depolara ilişkin depo tasarımı, depo içi toplama gibi konular değerlendirme dışı tutulmuştur.

Yapılan çalışmayla amaçlanan; süreç içi stok ve taşıma mâliyetlerini düşüren, katma değerli süreyi arttıran, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş, periyodik hareketler yapan taşıma araçlarından oluşan üretimle bütünleşmesi sağlanmış bir iç lojistik yapısı oluşturmaktır. Bu amaç kapsamında, iç lojistik tasarımı temel olarak iki kısma ayrılarak incelenmiştir.

Birinci kısımda yalın üretim ortamında belirli bir rotada periyodik hareket eden bir trenin çeşitli kısıtlar altında hangi rotalardan, hangi zaman aralıklarında taşınmaları yapması gerektiği üzerinde durulmuştur. Özellikle yalın üretimin uygulandığı fabrikalarda yapılan gözlemlere dayanarak problem sınıflara ayrılmıştır. Oluşturulan sınıflandırma; genel atama, tahsisli atama ve belirli zamanlı atama olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. İlk ana sınıf olan genel atama, kendi içerisinde iki farklı seviyede daha alt sınıflara ayrılmaktadır. İlk seviye alt sınıfta, araçlara tek rota veya çok rota atanma durumu ele alınmaktadır. İkinci seviye alt sınıfta ise araçların eşit veya farklı zaman periyotlu olma durumu bulunmaktadır. İkinci ana sınıf olan tahsisli atama durumu, araçların farklı zamanlı ve eşit zamanlı olmasına göre iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Üçüncü ana sınıf olan belirli zaman periyotlu atama ise tek rotalı ve çok rotalı olarak iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Sınıfların tamamına ilişkin

modelleme yapılmıştır. Bu sınıfların bazılarında kullanılan modellerin tasarlanmasında, literatürde varolan modellerden faydalanılmıştır. En iyi çözümün bulunmasının zor olduğu sınıflar belirlenerek özgün sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen sezgiselin karşılaştırılabilmesi için de alt sınır algoritması oluşturulmuştur. Düşünsel örnek tasarlanmış, bu örnek üzerinde hem karma tamsayılı model çalıştırılmış, hem de sezgisel uygulanarak karşılaştırmalarda bulunulmuştur.

İkinci kısımda ise ilk kısmın devamı şeklinde periyodik hareket eden trenin malzemeleri bıraktığı noktadan sonraki süreç ele alınmış ve özellikle montaj istasyonlarının beslenmesindeki alternatiflerden biri olan setleme sistemi üzerinde durulmuştur. Setleme sistemi diğer alternatif sistemlerle kıyaslanmış ve döngüsel sefer (İng: Milk-run) yaklaşımına uygun olarak setleme sistemine geçiş algoritması ve doğrusal bir model geliştirilmiştir. Kurgulanan sayısal örnek üzerinde setleme sistemine ilişkin önerilen doğrusal model uygulanmıştır.

Sayısal örnek üretim ortamındaki birçok olası durumu içermesi açısından önemlidir. Üretim ortamlarının özgün yapısına göre farklılıklar bulunmaktadır. Sayısal örnek farklı durumlar dâhil edilmeye çalışılmış ve modellemeler ona göre yapılmıştır. Ayrıca, geliştirilen modellerin geçerliliklerinin test edilmesi için yalın üretimin esas kılındığı bir tesiste uygulama yapılmış ve çeşitli senaryolar altında uygun çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Yapılan tez çalışmasının literatüre katkısı ve özgün noktaları aşağıdaki şekildedir:

- İç lojistik sisteminde döngüsel sefer problemine ilişkin bir sınıflandırma yapılması ve her alt sınıf için modellemelerin yapılması
- Belirli bir sınıf için sezgisel ve alt sınır algoritması geliştirilmesi
- Setleme sisteminin döngüsel sefer yapısına bütünleştirilmesinin sağlanması ve buna yönelik bir model sunulması

2. YALIN ÜRETİM VE YALIN LOJİSTİK

Üretim sistemleri, üretilen ürüne, pazarın talep miktarı ve çeşitliliğine göre çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bütün durumlar için en iyi olan bir üretim sistemi olmamakla birlikte değişen ve gelişen ortamlara uygun olarak israflardan arınmayı amaçlayan ve bu noktada iyileştirme araçları geliştiren yalın üretim mantığı veya diğer ifadesiyle tam zamanında üretim sistemi son yıllarda yaygın olarak hem üretim hem de hizmet sektöründe uygulanmaya çalışılmaktadır. Yalın üretim kavramı, Toyota tarafından geliştirilen üretim sistemi stratejisine dayanmaktadır.

Temel olarak üretim yönetim sistemleri Malzeme İhtiyaç Planlama (İng: Material Requirement Planning), Tam Zamanında Üretim Sistemi (İng: Just In Time Production Systems) ve Optimize Edilmiş Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology) şeklinde sınıflandırılabilir (Browne, 1996). Nahmias (1993)'ın da belirttiği gibi tam zamanında üretim sistemi, klasik üretim sistemlerine göre çok avantajları olan bir üretim yönetim sistemidir. Özellikle süreç içi stok miktarının düşürülmesi elde tutma mâliyetlerini düşürmekte, daha az envanter daha az paranın stoka bağlanmasını sağlamaktadır. Tam zamanında üretim, kalite problemlerinin daha çabuk açığa çıkmasını sağlamaktadır. Ürünler ihtiyaç duyuldukları zaman üretildikleri için büyük miktarlarda hasarlı ara stok durumu söz konusu olmamaktadır (Nahmias, 1993).

Tam zamanında üretim mükemmelliğe odaklanmıştır. Esası sürekli olarak mükemmelliği sağlamaktır. Bunu da sıfır hazırlık süreleri, sıfır hata, sıfır stok ve sıfır temin süresi şekline getirmeye çalışmaktadır (Lu, 1989).

Yalın üretim noktasında çok sayıda yayın olmakla birlikte Sobanski (2009)'un da belirttiği üzere bu noktadaki temel eserler sırasıyla Ohno (1986), Shingo (1989), Womack ve diğ. (1990) ve Womack & Jones (1996) şeklindedir. Bu eserlerde temel olarak ortaya konulan yalın kavramlar şu şekildedir:

- Standartlaştırılmış süreçler
- Çalışanlar

- Kalite güvence
- Görsel yönetim
- Çalışma yeri organizasyonu
- Parti büyüklüğü
- Malzeme akışı
- Sürekli gelişim

2.1 Yalın Üretimde İsraflar

Yalın üretimde esas alınan nokta, israfların ortadan kaldırılmasıdır. İsrâf, Toyota tarafından üretim için tam olarak gerekli olan minimum miktardaki donanım, malzeme, parça ve iş süresinin haricindeki her şey olarak ifade edilmiştir (Hay, 1998). İsrâf kaynakları Ohno (1988) tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

- Fazla üretimden kaynaklanan israflar
- Beklemeden kaynaklanan israflar
- Taşımalardan kaynaklanan israflar
- Envanter israfı
- Süreç israfı
- Hareket israfı
- Hatalı ürünlerden kaynaklanan israf

Ohno tarafından belirtilen yedi israf türüne, kullanılmayan insan akli ve yeteneğı de eklenerek israf sayısı sekize çıkartılmıştır (Liker, 2004).

2.2 Yalın Üretimde İsrafların Elimine Edilmesinde Kullanılan Araçlar

Yalın üretimde israfların yok edilmesinde kullanılan çok sayıda araç vardır. Firmalar yalın olabilmek için farklı uygulamalarda bulunmaktadır. Çizelge 2.1, endüstri ve yönetim literatüründe 1977-1999 arasında ele alınma derecelerine göre yalın uygulamaları göstermektedir (Bayou ve Korvin, 2008).

Çizelge 2.1 : Yalın uygulamalar ve endüstri ile yönetim literatüründe (1977-1999) kullanılma sıklıkları (Bayou ve Korvin, 2008).

Yalın uygulamalar	Ele alınma sıklığı		
	Çok	Orta	Az
TZÜ/sürekli akış üretimi	✓		
Çekme sistemi/kanban	✓		
Hızlı-değişim teknikleri	✓		
Parti büyüklüğünün düşürülmesi	✓		
Sürekli iyileştirme programları	✓		
Çapraz-fonksiyonel işgücü	✓		
Önleyici bakım	✓		
Toplam kalite yönetimi	✓		
Kendi kendini yöneten takımlar	✓		
Hücreli imalat		✓	
Odaklanmış üretim		✓	
Çevrim süresinin düşürülmesi		✓	
Süreç yeterlilik ölçümleri		✓	
Yeni süreç donanımları			✓
Güvenlik iyileştirme programları			✓
Darboğaz giderme (üretim düzgünleştirme)			✓
Kalite yönetim programları			✓
Yeniden yapılandırılmış üretim süreci			✓
Rekabetçi kıyaslama			✓
Bakım eniyilemesi			✓
Planlama ve çizelgeleme stratejileri			✓

Tam zamanında üretimin felsefesinin bir parçası olarak israfların elimine edilmesi için Hay (1998) de, üç basit ve eşit önemde bileşen bulunduğundan bahsetmiştir. Bu duruma ilişkin genel gösterim Şekil 2.1’deki gibidir.

İlk temel israf yok etme bileşeni, dengenin ve eşlemenin kurulması, üretim sürecindeki akışın sağlanmasıdır.

İkinci bileşen kaliteye karşı kurumun yaklaşımıdır. “İlk seferde doğru yap.”

Üçüncü bileşen ise çalışan katılımıdır. Bu, israfın yok edilmesi için ön şarttır. Organizasyonun her bireyi, atölyeden üst yönetime kadar israfın yok edilmesinde ve israfa neden olan üretim problemlerinin çözülmesinde görev almalıdır (Hay, 1988).



Şekil 2.1 : Tam zamanında üretim felsefesi yaklaşımı (Hay, 1988).

Chase (1998) de temel olarak belirtilen israf kaynaklarının ortadan kaldırılması için çeşitli araçlar bulunduğu bahsetmiş ve bunları aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

- Odaklanılmış fabrika ağı
- Grup teknolojisi
- Kaynakta kalite
- Tam zamanında üretim
- Düzenleştirilmiş yükleme
- Kanban üretim kontrol sistemi
- Enküçüklenmiş hazırlık süreleri (Chase, 1998)

Odaklanılmış fabrika ağında Japonlar büyük fabrikaların operasyonlarının ve bürokrasisinin çokluğundan ötürü yönetilmesinin zor olduğunu belirtmekte ve belirli bir amaca odaklanmış fabrikaların daha ekonomik olarak yönetileceğini düşünmektedirler. Bu yüzden dikey şekilde bütünleştirilmiş büyük üretim tesislerinin yerine küçük, özelleşmiş tesisler inşa etmektedirler.

Grup teknolojisi kapsamında parçaları üretecek makine aileleri oluşturulmakta ve gruplanmakta, bir bölümden diğerine işlerin transfer edilmesi elimine edilmektedir. Böylece gereken hareket sayısı, operasyonlar arası beklemler, stok düzeyleri ve gereken çalışan sayıları azalmaktadır. Çalışanların nitelikli olması da iş güvenliğini arttırmaktadır.

Kaynakta kalite, istenen işi ilk seferde doğru yapmak ve yanlış giden bir şeyler olduğunda süreci veya montaj hattını durdurmak anlamına gelmektedir. Burada işgörenler kendilerinin denetçileri olmakta ve kendi çıktılarının kalitesinden kişisel olarak sorumlu tutulmaktadırlar. Otomatikleştirilmiş denetim de kaynakta kalite kapsamındadır. Japonlar genelde daha hızlı, kolay ve tekrarlanabilir olmasından ötürü, otomasyonla ve robotlar tarafından yapılan kalite denetimlerini tercih etmektedirler.

Tam zamanında üretim, tekrarlı üretim sistemlerinde uygulanan “gerektiği zaman gerektiği kadar” üretimi esas alan, fazlalığa yer olmayan bir üretim sistemidir. Gereken minimum miktarın üstündeki her miktar israf olarak görülmektedir. Tam zamanında üretimde ideal olan, bir işgörenin işini bitirdikten sonra onu hemen diğer işgörene aktarmasıdır. Bu nedenle ideal olan parti miktarı birdir ve tedârikçiler stok miktarını düşük tutmak için gün içerisinde defalarca dağıtım yapmaktadırlar.

Düzenleştirilmiş yükleme, her gün küçük miktarlarda aynı ürün karışımlarının yapılarak sağlandığı, böylece üretim akışında çizelgelemedeki değişkenliklere göre oluşan dalgalanmaların azaltılabildiği bir sistemdir. Olabildiğince az ayarlamalar yapılarak çıktı miktarının sabitlendiği aylık üretim planlarının oluşturulduğu düzenleştirilmiş yüklemede talepteki değişikliklere cevap verebilmek için ürün karmaları vardır.

Kanban üretim kontrol sistemlerinde Japoncada bir işaret ya da yol gösterici kart anlamında olan kanbanlar kullanılmaktadır. Amaçlanan, tam zamanında akışların düzenlenmesi için bir sinyal sisteminin kullanılmasıdır. Kanban sistemlerinde parçaların üretilmesi için gerekli olan otorite, alt süreçlerden gelmektedir.

Hazırlık sürelerinin enküçüklenmesi, karışık modellerin aynı hat üzerinde küçük partiler halinde üretilmesinde öncelikli olarak yerine getirilmesi gereken konulardandır. Toyota 1970’lerde ABD ve Almanya’ya göre hazırlık sürelerinin kısalığı noktasında bayağı ileri durumdaydı. Toyota’da motor kapağı ve çamurluk

üreten kalıp operatörleri, 800 tonluk bir presi 10 dakika içerisinde değiştirebilirken bu durum ABD’de 6 saat, Almanya’da ise 4 saat şeklinde gerçekleşmekteydi. Fakat zaman ilerledikçe durumun önemine bağlı olarak diğer ülkelerde de hazırlık süreleri düşürülmüştür. John Deere 1985’te kalıp değiştirme süresini bir saatten bir dakikaya indirmiştir (Chase, 1998).

2.3 Yalın Üretimde Kullanılan Yalın Performans Göstergeleri ve İlkeler

Yalın üretimin esasını oluşturan temel ilkeler Liker (2004) tarafından 14 madde halinde aşağıdaki şekilde sunulmuştur:

İlke 1: Kısa dönemli hedefleri feda etme pahasına bile olsa yönetim kararlarını uzun dönemli bir felsefeye dayandırın.

İlke 2: Problemleri gün yüzüne çıkarmak için sürekli bir süreç akışı oluşturun.

İlke 3: Fazla üretimden kaçınmak için çekme sistemini kullanın.

İlke 4: İş yükünü düzgünleştirin.

İlke 5: Kaliteyi doğru olarak ilk etapta yakalamak ve problemleri çözmek için üretimi durdurma kültürü edinin.

İlke 6: Sürekli gelişim ve çalışan yetkilendirme için işleri ve süreçleri standardize edin.

İlke 7: Problemlerin gizlenmemesi için görsel kontrolü kullanın.

İlke 8: Çalışanlara ve sürece güvenilir ve test edilmiş bir teknolojiyle hizmet verin.

İlke 9: İşi anlayan, felsefesini yaşayan ve başkalarına anlatan liderler yetiştirin.

İlke 10: Şirketin felsefesini takip eden istisnai insanlar ve takımlar yetiştirin.

İlke 11: Tedârikçileri zorlayarak ve onların gelişmelerine yardımcı olarak tedârikçilere saygı gösterin.

İlke 12: Durumun iyi bir şekilde anlaşılması için bizzat gidin ve görün.

İlke 13: Kararları uzlaşma içinde, bütün seçenekleri değerlendirerek alın ve bir an önce uygulamaya koyun.

İlke 14: Yansıtma ve sürekli gelişme ile öğrenen bir organizasyon olun.

Yalın üretimde kullanılan temel performans göstergeleri, Jina ve diğerleri (1997) tarafından girdi, süreç içi ve çıktı malzemeleri için hızlı işlem süreleri, küçük parti üretim miktarları, kısa hazırlık ve değiştirme süreleri, yüksek işlem süresi, yüksek çizelge uyumu, düşük yeniden işleme ve düzeltme mâliyeti olarak gösterilmiştir.

Bu performans göstergelerinin kullanılarak yalınlığın ölçülmesi önemlidir. Bayou ve Korvin (2008) tarafından da belirtildiği üzere bu noktada yapılan çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Yazarlar, firmaların yalınlık seviyelerini ölçmeye yönelik bulanık mantık yöntemini de kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Bu modellerle birlikte karşılaştırmalı olarak firmaların yalınlık seviyeleri ölçülebilmektedir.

2.4 Yalın Lojistik ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi

Baudin (2004)'ün tanımladığı şekliyle lojistik, ürün yapmak ve hizmetleri gerçekleştirmenin yerine ürünleri ve hizmetleri dağıtmak için gerekli olan operasyonlardan oluşur. Yalın lojistik, yalın üretimin lojistik boyutudur. Temel olarak üretim lojistiğinin iki amacı vardır. Bunlar etkililik (İng: Effectiveness) ve etkinliktir (İng: Efficiency). Peter Drucker'a göre etkili olmak doğru işleri yapmak, etkin olmak ise israf etmeden yapmaktır. Etkililik “ne” ile ilişkili, etkinlik ise “nasıl” ile ilişkilidir. Etkililik daha önceliklidir. Etkinlikte ise doğru işlerin yapılıp yapılmadığına bakılmaz. Bu durum malzeme yönetiminde de çoğunlukla görülmektedir. Malzeme taşıyıcıların doğru eşyayı, doğru miktarda, doğru zamanda, doğru şekilde taşımalarından ziyade doluluk oranlarına odaklanılmıştır (Baudin, 2004). Bu noktada yalın lojistikte ilk etapta; doğru aracın, doğru ürünün, doğru miktarların ve doğru zaman periyotlarının seçilmesi iyi bir tasarım için gereklidir.

Yalın lojistiğin bir diğer ifadesiyle tam zamanında lojistiğin elemanları; Lai ve Cheng (2009) tarafından, insan kaynakları, lojistik ağları ve üretim, dağıtım, pazarlama ve finansal işlemler olarak belirtilmiştir.

Green ve diğerleri (2010), malzeme taşıma açısından yalın üretim literatüründe amaçların belirlenmesine yönelik belirli bir yöntemin olmadığından bahsetmektedirler. Fakat temel olarak malzeme taşıma sistemlerinin yalınlaştırılması için aşağıdaki adımları sunmaktadırlar:

- Her bir parça için plan oluşturmak
- Satın alınmış parça pazarını oluşturmak

- Dağıtım rotalarını oluşturmak
- Çekme sinyallerini oluşturmak
- Sürekli olarak sistemi geliştirmek

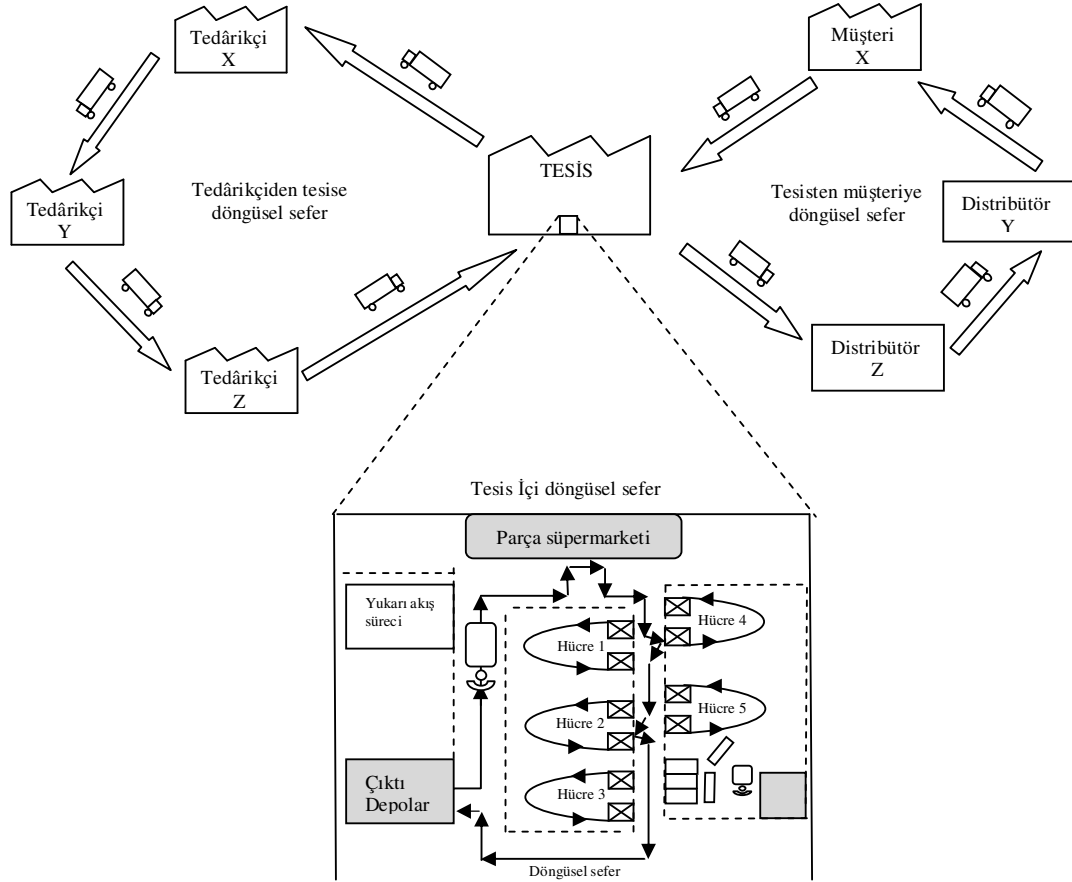
Lojistik içeriği bakımından geniş bir alandır. Şekil 2.2’de lojistiğin bütünü tedârikçiden tesise, tesis içi ve tesisten kullanıcıya olacak şekilde gösterilmiştir. Tez kapsamında değerlendirmeye alınan, fabrika içi lojistikdir. Tedârikçiden tesise ve tesisten müşteriye olan lojistik tez kapsamında değildir. Tesis içi lojistik kapsamına temel olarak, depo yönetimi ve üretim ortamındaki malzeme taşıma hareketlerinin yönetimi girmektedir.

Depo yönetiminde temel olarak depolama stratejisinin belirlenmesi, depolama araçlarının seçilmesi, daha özelden ise depo alanının büyüklüğü, depo görseelliğine ilişkin iyileştirmeler, bölme tahsis ve indeksleme, deponun ne kadar dolu olması gerektiği, depo envanterinin izlenmesi, otomatik depolama sistemlerinin kurulumu, raf uyumu, nesne numarası veya stok saklama birim numarası, depo envanterinin izlenmesi ile güvenlik ve giriş kontrolü gibi alt konular, depo yönetiminde etkinliğin ve verimliliğinin artırılmasında önem arz etmektedirler (Baudin, 2004).

Burada özellikle dikkat çeken ve öne çıkan konu ise süt dağıtımından da esinlenerek isimlendirilen döngüsel sefer sistemidir. Farklı tedârikçilerden ürün karmalarının ayrı ayrı olarak geniş zaman aralıklarında toplanmasındansa sık sık aynı araçla belirli bir rota dâhilinde periyodik olarak toplanmasına dayanmaktadır. Örnek olarak beş tedârikçinin her birine haftalık ayrı ayrı beş araç göndererek gerekli malzemelerin toplanması yerine, günlük olarak bir aracın beş tedârikçiye giderek gerekli malzemeleri toplaması, döngüsel sefer olayı kapsamına girmektedir (Url-2). Şekil 2.2’de döngüsel sefer sistemi, gerek dış gerekse de iç lojistikte gösterilmiştir. Tez kapsamında içsel döngüsel sefer sistemleri değerlendirmeye alınmaktadır.

Yalın üretim ortamına uygun olan taşıma sisteminin ne olması gerektiği konusunda temel alınabilecek en önemli nokta, israfların ne ölçüde azaltıldığı ve yönetilebilirliğin kolaylaştırılması açısından standart hale getirilebilme yeteneği gibi parametrelerdir. Chase ve diğerleri (1998), otomatik ya da manüel periyodik toplama ve dağıtımların, üretim sisteminin tam zamanında üretim modunda çalışmasına imkân tanıdığını belirtmektedir. Yine Baudin (2004), taşıma araçlarını tren gibi birbirine bağlamanın ve belirli bir rotadan arabanın hareket ettirilmesi gerektiğinden

bahsetmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında, yalın üretimin esas alındığı ve tam zamanında üretimin uygulandığı üretim ortamlarında yalın lojistiğin uygulanması için, periyodik hareketler eden bir trenin çeşitli parametreler açısından tasarlanması uygun olacaktır. Bu durum da daha önceden belirtildiği üzere içsel döngüsel sefer sistemiyle ilişkilidir.



Şekil 2.2 : Tedârikçiden tesise, tesisten müşteriye ve tesis içi döngüsel seferler (Baudin, 2004).

3. İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN ANA BİLEŞENLERİ VE LİTERATÜR TARAMASI

Yalın üretimin temelinde israflardan arınma vardır. İsraf türleri temel olarak fazla üretim, stok, bekleme, taşıma, gereksiz süreç, hareket ve kusurlu ürünlerden oluşmaktadır (Ohno, 1988). Yalın lojistik de yalın üretimin lojistik boyutudur. Buradaki amaç da sistemin lojistik boyutunun yalınlaştırılmasıdır. Tez çalışması kapsamında iç lojistik, diğer bir ifadeyle fabrika içi lojistik değerlendirmeye alınmıştır.

İç lojistik (İng: Intrafacility logistics) kavramı, depo veya fabrika gibi büyük tesisteki malzeme taşımayla ilişkilidir. Tesis yerleşim şekli, malzeme taşıma araçları, depodaki stok alanları, sipariş toplama stratejileri, malzeme taşıma araçlarının hareketine ilişkin operasyonel kurallar, iç lojistiği etkileyen etmenlerdir (Kasilingam, 1998).

Tez çalışması kapsamında da iç lojistik sisteminin temel bileşenleri olarak depolar, malzeme taşıma araçları ve hücreler arası akışlar belirlenmiş ve literatürde yer alan ilgili makaleler bütününe görülmesi açısından genel olarak bu bölümde değerlendirilmiştir. İlerleyen bölümlerde ise daha detaylı olarak fabrika içi malzeme taşıma sistemleri, araç rotalama problemleri ve setleme sistemleri üzerinde durulacaktır.

3.1 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Depolara İlişkin Çalışmalar

Temel olarak 3 tip depodan bahsedilebilir. Bunlar dağıtım depoları, üretim depoları ve kontrat depolarıdır (Berg ve Zijm, 1999). İç lojistikle ilgili olan depo türü üretim depolarıdır.

Temel olarak depolama faaliyetleri dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar kabul aşaması, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat aşamalarıdır (Gu ve diğerleri, 2007). Her bir faaliyetin tipik bir depoda işletim maliyeti farklıdır. Kabul aşaması maliyetlerin %15'ini, depolama aşaması maliyetlerin %20'sini, sipariş toplama

aşaması mâliyetlerin %50'sini ve sevkiyat da mâliyetlerin %15'ini içermektedir (Frazelle, 2002).

Çalışma kapsamında incelenen makaleler genel olarak bu dört aşamadan biri ya da birkaçı üzerinde odaklanmıştır. İncelenen makalelere ilişkin genel bilgiler aşağıdaki şekildedir:

Tang ve Chew (1997), temel olarak yığma ve depo tahsis stratejilerini ele almaktadırlar. Büyük miktarlardaki siparişlere ilişkin küçük parçaların manüel toplanması özel olarak değerlendirilmektedir. Siparişlerin gelişleri Poisson dağılımına uygun farz edilmekte ve siparişteki miktarların da negatif binom dağılıma uygun olarak geldiği varsayılmaktadır. Bir sipariş yığımına ilişkin sürenin ortalama ve varyansının sınırları ve yaklaşık değerleri çıkartılmıştır. Simülasyon yoluyla sonuçların kalitesi değerlendirilmiştir. Sayısal bir örnek üzerinde parametre değerleri belirlenerek çalışma yapılmıştır. Modelde beklenen gecikme sürelerinin tahmin edilmesinde yeterli doğruluk sağlanabildiği görülmüştür. Ayrıca model her zaman iyi sonuç veremeyebileceği için alt ve üst sınır değerlerinin, elde edilen sonucun değerlendirmesinde yardımcı olabileceği belirtilmiştir. Depo tahsisinin düzgün ve çarpık olma durumları da kıyaslanarak, yığmanın ve yığma boyutunun servis süresi üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Daniels ve diğerlerinin (1998) çalışması, klasik depolama sistemlerinde sipariş toplama listesine göre lokasyonların hangi sırada ziyaret edilmesi gerektiğini içerir. İki temel noktanın, sistemin performansını etkilediği belirtilmiştir. Bunlardan biri siparişlere stokların atanması diğeri ise seçilen lokasyonların hangi sırada ziyaret edileceğidir. Sistem gezgin satıcı problemi şeklinde modellenmiştir. Modelde sadece tur mâliyetleri değerlendirmeye alınmaktadır. Fakat stokların bozulması durumunda stok yaşının da önem kazanacağı belirtilmiş bunun da mâliyet matrisinin değiştirilmesiyle mümkün olacağı vurgulanmıştır. Eşzamanlı olarak atamalara karar veren ve kararların sıralamasını yapan bir model formüle edilmiş ve sipariş toplama açısından diğer modellerle kıyaslanmıştır. Sipariş toplama probleminin karmaşıklığı tartışılmıştır. Olurlu atamalar için bir üst sınır bulunmuştur. Gezgin satıcı sezgiseline ilişkin çeşitli açılımlar sunulmuş ve tabu araştırma algoritması sunulularak deneysel olarak test edilmiştir. Yapılan çalışmayla birlikte modern depolama operasyonlarında performansın artırılmasında malzeme toplama sürecine odaklanmanın öneminin açığa çıkarıldığı belirtilmiştir.

Rao ve Rao (1998), depoların ekonomik boyutlarının ne olması gerektiği üzerinde durmuşlardır. Geçmiş çalışmalarında yazarlar mevsimsel yüksek talepler olduğu zaman ekonomik boyutun ne olması gerektiğine ilişkin doğrusal programlama formülleri sunmuşlardır. Çalışmada statik problem için en iyi çözüm, modelin üç açılımıyla birlikte verilmiştir. Açılımlar zaman içerisinde değişen mâliyetler, sermaye harcamalarındaki ekonomik gösterge çizelgesi ve/veya işletme mâliyeti ve stokastik versiyondur. Yazarlar, dinamik depo büyüklüğü probleminin ağ akış problemi olarak görülebileceğinden ve ağ akış algoritmalarıyla çözülebileceğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca, en iyi çözümün yapısı da verilmiştir. Dinamik depolama probleminin içbükey mâliyet versiyonu dinamik programlama kullanılarak çözülmüştür.

Berg ve Zijm (1999) tarafından yapılan çalışmada, depolama sistemleri tartışılarak depo yönetim problemlerine ilişkin bir sınıflandırma sunulmuştur. İlk olarak depolama sistemlerinin türlerine ilişkin özet bir açıklama yapılmış ve tipoloji ortaya konulmuş, daha sonrasında ise depolama sistemlerinin kurulmasında karşılaşılan tasarım, planlama ve kontrol konularını içeren karar problemlerinin bir hiyerarşisi sunulmuştur. Ayrıca karar verme sürecini destekleyen dağıtım sistemi tasarımı, depo tasarımı, stok yönetiminin çeşitli kısıtlar altında model örnekleri sunulmuştur. Yapılan gözlemler sonucunda yazarlar, depolama ve stok yönetimi arasındaki karşılıklı fayda ilişkisine yönelik araştırma eksikliğini ortaya koymuşlardır. Bu noktada araştırma yapılmasını önermişlerdir.

Chew ve Tang (1999), doğru miktarda ürün depolayabilmek için bir depo tasarılmasının iyi bir yöneylem araştırması problemi olduğunu fakat halen mevcut zamanda kaba hesaplamalarla sorunun giderilmeye çalışıldığından bahsetmişlerdir. Yapılan kaba hesaplamaların da çoğunlukla mevcut ihtiyaçtan daha az ya da daha fazla alan ihtiyacı göstererek sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bu noktada yazarlar, dikdörtgen depolama sisteminde genel nesne yerleşim atamalı bir gezgin zaman modeli sunmuşlardır. Modelde, tura ilişkin ilk ve ikinci anlar çıkartılarak, sipariş toplayıcının hareketlerini karakterize eden tam olasılık fonksiyonu verilmiştir. Model bir sipariş toplama sisteminde, sipariş yığma ve depo atama stratejilerinin analizinde uygulanmaktadır. Sipariş toplama sistemi, bir müşteri yığınli kuyruk sistemi gibi modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar benzetim yoluyla kıyaslanmış ve geçerli

kılınmıştır. Yığmanın ve yığma boyutlarının gecikme süresi üzerindeki etkileri her sipariş yığını için toplama ve sınıflandırma süreleri düşünülerek ele alınmıştır.

Rouwenhorst ve diğerleri (2000), depo tasarımı ve kontrol problemlerine ilişkin referans bir çerçeve ve sınıflandırma sunmaktadırlar. Bu çerçeveye bağlı olarak, depolama sistemleri incelenmiş ve açıklıklar ortaya konulmuştur. Literatürde baskın olan özel alt problemlerin aksine, tasarım odaklı bir çalışma sunulmuştur. Çalışma kapsamında tesis içi depolama ele alınmıştır. Deponun ekonomik boyutu, deponun yerleşim yeri veya dışsal lojistik konuları ele alınmamıştır. Çalışmada depo üç bakış açısından ele alınmaktadır. Bunlar süreçler, kaynaklar ve organizasyondur. Süreçler ürünlerin depoya gelmeden geçirdiği aşamalar olarak adlandırılmıştır, kaynaklar bir depoyu işletmek için gerekli olan personel ve araçlar gibi bütün girdileri belirtir. Organizasyon da sistemi yürütmek için gerekli olan planlama ve kontrol prosedürlerini içermektedir.

Roodbergen ve Koster (2001), depolarda sipariş toplama süresinin enküçüklenmesi üzerinde çalışmışlardır. Depolarda ortalama dolaşım süresini etkileyen depo türü, depo boyutu, koridor sayısı, deponun konumu, sipariş toplama aracı, toplama listesi ve atama kuralları gibi birçok faktörün olduğundan bahsetmişlerdir. Çalışma kapsamında, depo yerleşiminin dolaşım süresi üzerindeki etkisini özel olarak incelemişlerdir. Bu kapsamda makalelerinde paralel koridorlu bir depoyu ele almışlardır. Burada malzeme toplayıcıların her bir koridorun sonunda koridorları değiştirebildiği, aynı zamanda koridorların ortasındayken çapraz olarak diğer koridora geçebildiği belirtilmiştir. Bu tip koridorlarda en kısa sipariş toplama turlarını bulabilen bir algoritma sunulmuştur. Algoritma üç koridora kadar değişebilen depolarda uygulanabilmektedir. Ortalama tur uzunlukları, ortada koridoru olan ve olmayan depolar için kıyaslanmıştır. Bu noktada benzetimler yapılmıştır ve elde edilen sonuca göre birçok durumda ortalama sipariş toplama süresinin, yerleşim planının ortasına bir koridor eklenerek azaltılabildiği belirtilmiştir.

Kalfakakou ve diğerleri (2003), sundukları modelle aynı anda farklı türdeki ürünlerin belirli kısıtlar altında depolanmasını mümkün kılmaktadırlar. Makalede n tane ürünün aynı anda depolanmasına imkân tanıyacak minimum sayıdaki depoya yönelik bir sezgisel geliştirilmiştir. Sezgisel, uyumluluk grafiğine ilişkin düğümleri kapasite kısıtını da değerlendirmeye alarak, olası en küçük renkli kümelere bölmektedir.

Geliştirilen sezgisel, dinamik depo problemlerinde de etkin bir şekilde uygulanabilmektedir. Problem grafik teorisiyle formüle edilmiş ve metodun prosedürü sayısal bir örnekle sunulmuştur. Modelin depolama ve lojistik alanında gerçek problemlerde de iyi sonuçlar vereceği belirtilmiştir.

Amato ve diğerleri (2005), çalışmalarında otomatik depolama sisteminin yönetilmesine ilişkin kontrol algoritmaları geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda gerçek zamanlı eniyilemeler gerçekleştiren ve bütünsel performansı arttıran bir model sunmuşlardır. Çalışmada bütünsel depo modelinin detaylı rolü tartışılmış ve sonucunda renkli zamanlı petri ağ yapısı (İng: Colored Timed Petri Nets) kullanılarak model inşa edilmiştir. Vinçlerin ve mekiksel hareketlerin yönetilmesi için iki kontrol algoritması önerilmiştir. Önerilen kontrol algoritmalarının performansını değerlendirmek için üç mâliyet indisi belirlenmiştir. Modeli geçerli kılmak ve model üzerinde önerilen kontrol algoritmalarının etkinliğini ispatlamak için kapsamlı benzetimler yapılmıştır. Algoritmaların daha ileri düzeyde geçerli kılınmaları için deneme testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçek depo ortamlarında yapılan uygulamalar hem teorik analizi geçerli kılmış, hem de önerilen algoritmaların etkinliğini göstermiştir.

Hwang ve Cho (2006), amacı depolarda sipariş toplamada kullanılan taşıyıcıların dolaşım mesafelerini enküçükleme olan bir performans değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Çalışma tesis yeri tasarımının detayları ile birlikte depo alanı büyüklüğü, raf boyutu, taşıyıcı sayısı ve sistem performansı gibi operasyonel parametreleri de içermektedir. Olasılıklı talep ve toplama frekansları gözönünde bulundurularak, hem matematiksel hem de benzetim modelleri geliştirilmektedir. Sonuçlar AutoMod simülatörü kullanılarak karşılaştırılmış ve geçerli kılınmıştır. Yazarlar, bu noktada yapılan çalışma sayısının üst düzeyde olduğunu fakat bu çalışmanın üç boyutlu bir animasyon simülatörüne temelde bağlı olduğunu ve simülasyondan elde edilen sonuçların matematiksel modelden elde edilenlerle kıyaslandığını ifâde etmektedirler. Örnek bir problem üzerinde model iki aşamalı olarak çalıştırılmıştır. Nihayetinde sistematik ve pratik bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Önerilen metot potansiyel olarak verimli ve depodan toplama problemlerinin performans analizinde faydalıdır.

Satoğlu ve diğerleri (2006), çalışmalarında, hücresele üretim sisteminde merkezi ve merkezi olmayan depolardan hangisinin daha iyi olduğunu belirlemeye yönelik bir

çalışma yapmışlardır. Merkezi depoların kullanılmasının hem hücrelerin bütünsel üretim sistemindeki bağımsızlığını bozacağını, hem de malzeme ve parça taşınmasındaki mâliyet azalmasını engelleyeceğini belirtmişlerdir. Hücrelerin yakınlarına konulan mini stok alanlarının merkezi depolamaya göre avantajları bulunduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte merkezi olmayan bir depolamanın ekonomik değerinin tahmin edilmesinin, katma değeri olmayan aktivitelerin ölçülmesinin zorluğundan dolayı kolay olmadığı vurgulanmıştır. Bu noktada yazarlar, merkezi olmayan depolara geçişte karar desteği sağlamak üzere yöntem olarak faaliyet tabanlı mâliyetlendirme sistemini kullanmışlardır. Metodoloji sayısal bir örnek üzerinde uygulanmış, elde edilen sonuçlardan merkezi olmayan depolamanın daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

Zhang ve Lai (2006), çok seviyeli depo yerleşim problemleri için genetik algoritma ve yeniden yol bağlamayı birleştirerek melez sezgiseller önermişlerdir. Kombinasyonlarla birlikte toplam sekiz algoritma geliştirilmiştir. Bu yöntem, çok seviyeli depo yerleşim problemine uygulanmıştır. Yeniden yol bağlama yöntemiyle genetik algoritmanın çapraz ve mutasyon operasyonlarını bütünleştiren paralel ve seri kombinasyonlar keşfedilmiştir. İki çözümü birleştirmek için pozisyon ve sıra tabanlı yeniden bağlama yöntemleri önerilmiştir. Bunlar ya elitler ya da rastsal olarak seçilenleridir. Yeni sezgiselin performansını değerlendirmek üzere hem küçük hem de büyük boyutlu test problemleri oluşturulmuştur. Geliştirilen sekiz algoritma içerisinde elit ve pozisyon tabanlı paralel kombinasyon metodu en iyi sonucu vermiştir.

Fa-Liang ve diğerleri (2007), otomatik depolama ortamında sipariş toplamanın optimize edildiği bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar, otomatik depolama sistemlerinde sipariş toplamanın optimize edilmesinin iş verimliliğini arttırdığını belirtmişlerdir. Bu noktada ilgili sistemlerde toplama yapmanın yapısına uygun olarak, kapasite sınırları ve çoklu amaca uygun olarak yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Olurlu olmayan derece ve çalışma sürelerine dayanan başlangıç popülasyonlu problemi çözmek için genetik algoritma sunmuşlardır. Deneysel benzetim ve pratik uygulamalar, geliştirilen matematiksel modelin faydalı olduğunu göstermektedir. Ayrıca matematiksel model için geliştirilen genetik algoritmanın da etkin ve güvenli olduğu ve NP-zor problemlerin çözümünde faydalı olacağı belirtilmiştir.

Gu ve diğerkleri (2007), akademik çalışma yapanlarla pratik uygulama yapanlar arasında bir köprü oluşturmak amacıyla çalışmalarında depo operasyon planlama problemlerine ilişkin geniş bir literatür taraması sunmuşlardır. Problemleri temel depolama fonksiyonları olan alım, depolama, sipâriş toplama ve sevkiyata göre sınıflandırmışlardır. Her bir sınıftaki literatür özetlerinde çeşitli karar destek modelleri ve çözüm algoritmalarının özelliklerine de vurgular yapılmıştır. Sınıflar altında yapılan çalışma sayılarına ilişkin rakamlar verilmiş ve geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların çoğunun, depolama ve sipâriş toplamayla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Varolan depo operasyonları için hangi planlama modelleri ve metotlarının olduğu ve gelecek araştırma konularının neler olduğu açıklanmaktadır. Ayrıca depoların tedârik zincirindeki öneminden dolayı araştırma sonuçlarının önemli bir ekonomik katkı sağlayabileceği belirtilmiştir.

Koster ve diğerkleri (2007), depodan sipâriş toplamanın tasarımına ve kontrolüne ilişkin literatür taraması yaparak çeşitli çıkarımlarda bulunmuşlardır. Siprişleri toplama (İng: Order Picking) her depoda en fazla işgücü gerektiren ve bütün depolama operasyonlarının mâliyetinin %55'ini oluşturan en mâliyetli aktivite olarak belirtilmiştir. Sipriş toplamada görülecek olan bir performans düşüklüğünün, memnun etmeyen bir hizmete ve yüksek operasyonel mâliyetlere neden olabileceği, bununla birlikte etkin bir şekilde hizmet verebilmek için sipâriş toplama sürecinin düzgün bir şekilde tasarlanması ve en iyi şekilde kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Makalede manüel sipâriş toplama süreçlerinin tasarımı ve kontrolü kapsamında en iyi tesis içi yerleşim tasarımı, depo atama metotları, rotalama metotları, sipâriş yığma ve bölgelendirme üzerinde odaklanılmaktadır. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre ilk olarak uygulamada daha fazla ağırlığı olmasına rağmen toplayıcıdan parçaya olan sistemler parçadan toplayıcıya olan sistemlere göre daha az araştırılmıştır. İkinci olarak yerleşim, yığma, bölgelendirme, depo stratejileri gibi alanlarda yayın az olmasına rağmen, son yıllarda artmaktadır. nc olarak toplayıcıdan parçaya olan sistemlerde rastsal atama durumu varıdır. Analitik modeller açısından eksiklikler bulunmaktadır. Dördüncü olarak problemlerde talep deterministik alınmaktadır. Fakat gerçek ortamda durum stokastiktir. Son olarak da araştırma konularının çok dar olduğu ve daha genel durumlar için tasarım prosedürlerinin geliştirilmesi gerekliliğinden bahsedilmiştir.

Le-Duc ve Koster'in (2007) makaleleri, sipariş yığıma probleminde bir toplama turunda ne miktarda siparişin toplanacağına ilişkindir. Yazarlar, sipariş toplamayı en önemli depo aktivitesi olarak tanımlamışlar, bu noktadaki verimsizliğin yetersiz hizmete ve yüksek operasyonel mâliyetlere neden olacağını belirtmişlerdir. Makalede sipariş yığıma problemi iki bloklu dikdörtgen depoda siparişlerin Poisson dağılım sürecine göre geldiği varsayılarak ve S şekilli sezgisel kullanılarak ele alınmıştır. İlk olarak malzeme toplayıcının birinci ve ikinci anları detaylı incelenmiştir. Daha sonra bu anlar rastsal bir siparişin ortalama tamamlanma süresinin bulunmasında kullanılmaktadır. Bu toplama yığın boyutunun tahmin edilmesini mümkün kılar. Simülasyon sonuçları, metodun yüksek doğruluk seviyesinde çalıştığını göstermektedir. Metodun en önemli özelliklerinden biri de basit ve gerçek hayatta kolay uygulanabilir olmasıdır. Yazarlar metoda, çoklu sipariş toplayıcılarının eklenmesi gibi çeşitli yönlerde de metodun genişletilebileceğini belirtmektedirler.

Önüt ve diğerleri (2008), çok seviyeli depo problemini ele almışlardır. Mevcutta varolan iki boyutlu depo tasarım problemi geliştirilerek çoklu hale getirilmiştir. Yazarlar, depolama stratejilerini dağıtım tipi, üretim tipi ve kontrat tipi olarak sınıflandırmışlardır. Çalışmada ele alınan dağıtım tipi depo, farklı müşterilere dağıtılmak üzere çeşitli tedârikçilerden belirli bir periyotta farklı türdeki ürünlerin toplanması ve depolanmasını içerir. Çalışmanın amacı, yıllık taşıma mâliyetlerini en küçükleyen, çok seviyeli depo raf yapılandırmasını tasarlamaktır. Ürünler için devir oranları sınıflandırılmıştır. Bunlar raflara yerleştirilirken ve raflardan alırken ele alınmıştır. Önerilen matematiksel model NP-zor olduğu için en iyi yerleşimin belirlenmesi için parçacık sürü eniyilemesi, yeni bir sezgisel olarak geliştirilmiştir. Parçacık sürü algoritması Visual Basic dilinde kodlanarak sayısal bir örnek üzerinde uygulanmıştır.

Baker ve Canessa (2009), makalelerinde birçok iş alanında depolamanın müşteri hizmet düzeyi ve mâliyetlere olan etkisinin önemli olmasına rağmen, hem literatüre hem de depo tasarım firmalarından gelen cevaplara dayanarak depoları tasarlamak için mevcutta halen kapsamlı sistematik bir yaklaşım bulunmadığını belirtmektedirler. Bu çalışmanın uygulamacılar için bir değer ifade etmesi ve depo tasarımında daha kapsamlı gelişmelere araştırmacıları sürüklemesi amaçlanmıştır. İlgili literatür incelenerek iki grupta sınıflandırılmıştır. Bunlardan birincisi depo tasarımında kullanılan adımları bütünsel olarak içeren grup, diğeri ise belirli araçları

ve teknikleri kullanan gruptur. Literatür çalışmalarından çıkarılan genel sonuçlar, depo tasarım şirketleri referans alınarak da geçerli kılınmıştır.

Nishi ve Konishi (2010), katlı depolama sistemleri için tamsayılı matematiksel bir model ile bu modelin çözülmesi için ışın demeti araştırma metoduna (İng: Beam Search Method) dayanan bir sezgisel geliştirmişlerdir. Amaçlanan, yeniden taşıma operasyonlarını enküçüklemektir. Bu da depolama alanlarının en iyi olarak konumlandırılması ve belirli bir kabul ve geri alma sırasına dayanan her bir müşteri için gerekli olan ürünlerin gruplandırılmasını içermektedir. Metot, 58 depolama alanı ve 3.000 geri alma operasyonunun olduğu çelik sektöründe faaliyet gösteren bir yerde uygulanmıştır. Önerilen çözüm metodunun, tamsayılı problemlerin çözülmesinde klasik dal sınır algoritmasından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Xiao ve Zheng (2010), ürün ağacı bilgisinin değerlendirmeye alındığı ilişkili depo yerleşim atama problemi (İng: Correlated Storage Location Assignment Problem) üzerinde durmuşlardır. Matematiksel bir model ile çok aşamalı bir sezgisel önermişlerdir. Geliştirilen sezgiselin etkinliğinin ölçülmesi açısından tek bloklu çok koridorlu bir depoda, rastsal olarak üretilen veri kümeleri üzerinde denemelerde bulunulmuştur.

3.2 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Malzeme Taşıma Araçlarına Yönelik Çalışmalar

İç lojistik sisteminin tasarlanmasında malzeme taşıma araçlarının seçilmesi de büyük önem arz etmektedir. Doğru aracı, doğru yerde, doğru zamanda, doğru şekilde ve doğru ürüne yönelik olarak kullanmak, sistemin doğru bir şekilde tasarlanması açısından önemlidir.

Temel olarak malzeme taşıma araçları; forkliftler, transpaletler, çek çek araçları, trenler, konveyör ağırları ve otomatik yönlendirmeli araçlardan oluşmaktadır. (Baudin, 2004). Literatürde iç lojistik tasarımı kapsamında malzeme taşıma araçlarına yönelik olarak yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Braglia ve diğerleri (2001), hücresel üretim ortamındaki hücreler için malzeme taşıma araçlarının seçilmesine yönelik bir metot geliştirmişlerdir. Metot, çok amaçlı karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (İng: Analytic Hierarchy

Process) ile tamsayılı doğrusal programlamadan oluşmaktadır. Metodun geçerliliğinin gösterilmesi için gerçek verilerden oluşan bir örnek kullanılmıştır.

Brauner ve Finke (2001), robotik hücrelerin bir döngülü varsayımına ilişkin en son durumu içeren üç yapılandırmasını analiz etmiştir. Robotik hücreler, makineler arasında otomatik taşımalar yapan merkezi bir robot sistemi olarak tanımlanmıştır. Ele alınan hücreler genel hücreler, düzenli hücreler (Eşit mesafeli hücreler) ve düzgün dengelenmiş hücrelerdir (Makinelerde aynı işlem süreleri olan). Amaç, verilen bir ürünün üretim hızını eniyileyen robot hareketlerini tanımlamaktır. Çalışmada düzgün dengelenmiş hücreler değerlendirilmeye alınmış ve dört makineli hücreler için yeni sonuçlar sağlanmıştır. Yazarlar tarafından geriye kalan esas problemin $m \leq 5$ olan hücreler için baskın olmayan en iyi k-döngüsünün bulunması olduğu belirtilmiştir.

Kim ve Kim (2002), ithalatıta konteynerlerin taşınmasında kullanılacak en uygun transfer vinci sayısı ile en uygun depolama alanı miktarının belirlenmesinde kullanılabilecek çeşitli mâliyet metotları önermektedirler. Karar verme için geliştirilen mâliyet modelinde alan mâliyeti, transfer vinçlerinin yatırım mâliyeti ve transfer vinçleri ile kamyonlarının işletim mâliyetleri bulunmaktadır. İki farklı durum ele alınmıştır. Birinde sadece terminal operatörünün mâliyeti enküçüklenmiş ve diğerinde ise hem terminal operatörünün mâliyeti hem de müşterinin mâliyeti enküçüklenmiştir. İlk durum için deterministik bir model geliştirilmiştir. Diğer durum için ise stokastik bir model geliştirilmiştir. Modeller için basit çözüm prosedürleri sağlanmıştır. Çözüm prosedürleri sayısal örnekler üzerinde uygulanmıştır. Parametrelerin karar değişkenleri üzerindeki etkileri ve toplam mâliyet incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, konuya ilişkin genel operasyonel kavramlarla tutarlıdır.

Fonseca ve diğerleri (2004), konveyör seçimi üzerinde çalışmışlardır. Konveyör seçiminin çoğu faktörünün sübjektif olduğunu ve analitik modellerin sadece ölçülebilir boyutu olan mâliyet ve donanım kullanım oranıyla sınırlandığını belirtmektedirler. Bu nedenden kendileri de daha fazla faktörü yapısal ve mantıksal şekilde içeren bilgi tabanlı yaklaşımı kullanmışlardır. Konveyör aracı seçiminin, çok fazla sayıda konveyör tipi ve üreticisi olduğu için karmaşık ve çoğu zaman da çok yorucu bir iş olduğu belirtilmiştir. Makalede konveyör seçiminde ilk örnek, bir uzman sistem gelişimi şeklinde ele alınmaktadır. Beşinci seviyede nesne ile

tasarlanmış olan sistem, kullanıcılara kendi taşıma ihtiyaçlarına göre uygun bir tedârikçi listesi sunmaktadır. Konveyör seçimi ihtiyaçların karşılanma oranına göre değer alan uygunluk değeri ile yapılmaktadır. Puanın hesaplanması, ağırlıklı değerlendirme metodu ve risk altında karar verme beklenen değeri ile gerçekleştirilmektedir. Prototip sistem, iki endüstriyel örnek olayla geçerli kılınmıştır. Program, konveyörleri uygunluk değerlerine göre sıralamıştır.

Lashkari ve diğerleri (2004), hücreli üretim yapan sistemlerde operasyon atama ve malzeme taşıma sistemleri seçimine ilişkin bütünsel bir yaklaşım sunmuşlardır. Sunulan yaklaşım, iteratif bir özellik taşımaktadır. Amaçlar, makine gruplarını seçmek, verilen parça türlerine ilişkin kümeleri üretmek için makineleri yüklemek ve makineler arasında veya içinde parçaları taşımak için uyumlu ve ekonomik malzeme taşıma araçlarını seçmektir. Operasyon atama modelinde parça türleri kümelerine ilişkin operasyonlar atanır ve bu bilgi, malzeme taşıma sistemi seçimi modeline bir girdi olarak sağlanır. Malzeme taşıma seçim sistemi, makineler arasında malzeme taşınması ve makinelere malzeme taşınması için gerekli araç atamasını yapar. Bu bilgi daha sonra geri besleme şeklinde operasyon atama modeline girdi olarak sağlanır. İteratif bir algoritma, iki modeli sıralı olarak çözmek için geliştirilmiştir. Modellerin uygulanabilirliğinin gösterilmesi için sayısal bir örnek uygulama yapılmıştır. Sayısal örnek, operasyon atama ve malzeme taşıma sistemi seçim problemlerinin çözülmesinde geliştirilen modellerin başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Kulak (2005), malzeme taşıma aracının seçilmesine imkân tanıyan bir uzman sistem geliştirmiştir. Malzeme taşıma aracının seçilmesinde işgücünün etkin kullanımını, sistem esnekliğinin sağlanmasını, verimliliğin artırılmasını, temin sürelerinin azaltılmasını ve mâliyeti önemli bazı faktörler olarak belirtmiştir. Bu kriterleri değerlendiren bir karar destek sistemi FUMAHES (İng: Fuzzy Multi-Attribute Material Handling Equipment Selection) geliştirilmiştir. FUMAHES bir veritabanı, kural tabanlı sistem ve çok amaçlı karar verme modülünü içermektedir. Veritabanı araç türleri ve özelliklerine ilişkin detaylı bilgileri içermektedir. Kural tabanlı modül çıkarım mekanizması tarafından en uygun malzeme taşıma aracının seçilmesine yönelik kuralları sağlar. Sonuç olarak, nihâi karar, aksiyomlarla tasarım kararları içerisinde bilgi aksiyomunun kullanılarak en uygun taşıma aracının seçilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Alternatiflerin değerlendirilmesi, hem tam hem de tam

olmayan bilgilerle gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen uzman sisteme ilişkin uygulama yapılmıştır.

Khayat ve diğerleri (2006), üretim çizelgelemeye malzeme taşıma çizelgelemesini de dâhil ederek bütünleştirilmiş bir çizelgeleme ortaya koymaktadırlar. Yazarlar, malzeme taşıma araçlarının önemli yatırımlar gerektiren çok önemli kaynaklar haline gelmesiyle, bunların da operasyonlarının eniyilenmesi, daha da ötesinde makine operasyonlarıyla senkronize edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu makalede ele alınan problemle atölye tipi bir kapsam ele alınmıştır. Makineleri ve taşıma araçlarını sınırlayıcı kaynaklar olarak beraber değerlendirmeye almışlardır. Bütünleştirilmiş çizelgeleme problemi, matematiksel programlama modeli olarak formüle edilmiştir ve kısıt programlama modeli olarak da bir dizi test problemiyle karşılaştırılmıştır. Ticari bir yazılım olan ILOG OPLStudio her iki modeli de test etmek ve modellemek için kullanılmıştır. Malzeme taşıma kaynak kısıtlarının bazı durumlar için çözüm süresini etkilediğini belirtmişlerdir. Taşıma aracı sayısı arttığı zaman, çözüm süresinin hızlı bir şekilde düştüğünü belirtmişlerdir.

Correa ve diğerleri (2007), esnek bir üretim sisteminde otomatik yönlendirmeli araçların çizelgelenmesi ve rotalanmasına yönelik melez bir metot önermişlerdir. Ele alınan problem zor bir kombinatoriyel eniyileme problemidir. Melez metot, problemi iki ilişkili alt probleme bölmektedir. Problem eşzamanlı olarak atama, çizelgeleme ve araçların çatışabilen rotalamasını içermektedir. Yaklaşım iki ayrı metottan oluşmaktadır. Bunlardan biri kısıt programlamayla modellenen ana problem (çizelgeleme), diğeri ise karma tamsayılı programlamayla modellenen alt problem (çatışan rotalar) oluşmaktadır. Parçalama metodunun seçilmesinin iki ana nedeni, rotalamadan önce atama değişkenlerinin örneklendirilmesi ihtiyacı ve problemin çizelgeleme kısmındaki doğrusal olmayan kısıtlardır. Mantıksal kesimler alt problemlerden üretilmekte ve ana problemde kullanılmaktadır. Geliştirilen melez model, altı adet AGV içeren problemleri çözebilmektedir. Aynı zamanda metot, AGV filolarının boyutunun belirlenmesinde de kullanılabilir.

Ioannou (2007), malzeme taşıma sisteminin tasarımıyla birlikte atölyedeki kaynak gruplarının yerleşimini ilgilendiren kararlarının alınmasını bütünleştiren tamsayılı programlama formülleri sunmaktadır. Önerilen model, kaynak gruplarının konumu, ağ yayları, her taşıyıcı tarafından gerçekleştirilen hareketlerin sırası gibi temel tasarım kararlarını içermektedir. Model malzeme akış ağının kapasitesi ile taşıma

araçlarına ilişkin kritik pratik kaygıları yansıtmakla birlikte sabit ve değişken mâliyetler arasındaki dengeyi de gözönünde bulundurmaktadır. Gerçekçi endüstriyel durumlar için problem boyutu, kapalı veya açık sayma metotları kullanarak çözümü engellemektedir. Bunun yerine global model, standart eniyileme problemlerine bölünmüştür. Geliştirilen metot, radar antenlerinin büyük bir üreticisi olan tesiste yeniden tasarım yapmak üzere kullanılmıştır. Sonuçlanan atölye yapılandırması, malzeme taşımaya ilişkin ciddi bir azalma sağlamış ve varolan tesise göre daha az yatırım gerektirecek hale gelmiştir.

Sujono ve Lashkari (2007), esnek üretim ortamında çoklu performans amaçlarıyla operasyon atama ve malzeme taşıma sistemi seçimini eşzamanlı olarak gerçekleştiren bir metot önermektedirler. Bu nokta da geliştirilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin amacı, parçaya ilişkin farklı operasyonları, operasyon mâliyeti, makine hazırlık mâliyeti ve taşıma mâliyetini içeren toplam mâliyeti enküçüklemek üzere makinelerle atamaktır. Bu amacın yanısıra malzeme taşıma aracıyla parça uyumluluğunu enbüyüklemek doğrultusunda malzeme taşıma araçlarını malzeme taşıma operasyonlarına/alt operasyonlarına, önceki operasyon atamalarına da uyacak şekilde atamaktır. Kısaca seçim, malzeme taşıma aracıyla parçalar arasındaki uyumluluğa dayandırılmıştır. Amaç; operasyon, malzeme taşıma, makine ayarlama mâliyetlerini enküçüklemek ve parça araç uyumluluğunu enbüyüklemektir. Modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi için sayısal bir örnek sunulmuştur. Örnek, Lingo 7 programında çözülmüştür. Elde edilen çözüm olurludur. Model çok amaçlı olduğu için elde edilen çözümün en iyi olduğunun garanti edilemediği belirtilmiştir.

Babiceanu ve Chen (2008), merkezi ve merkezi olmayan malzeme taşıma aracı çizelgelemesini değerlendirmeye almışlardır. Makale üretim planlama ve kontrole ilişkin merkezi olmayan teknikleri içeren büyük bir çalışmanın bir parçasıdır. Merkezi olan dağıtım karşı malzeme taşıma araçlarının mevcut sistem kaynaklarına atanmasını sağlayan bir yaklaşım öne sürer. Klasik çizelgeleme sistemlerine karşı merkezi olmayan sistemin kullanımına ait yaklaşımı geçerli kılmak için bir dizi değerlendirme testi ve benzetim çalışması yerine getirilmiştir. Önerilen holonik sistemin yeni işleri yerleştirebildiği ve gerçek zamanlı iyi çözümler verdiği görülmektedir. Simülasyon sonuçları, pilot çalışmaları geçerli kılmakta, aynı zamanda önerilen sistemin performansı için de güvenilir sonuçlar vermektedir.

Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlara göre merkezi olmayan yaklaşımdan daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

Raman ve diğerleri (2008), iki adımlı analitik bir yaklaşımla birimler arasında etkin bir taşıma için malzeme taşıma aracının miktarının belirlenmesini tartışmaktadırlar. Malzeme taşıma aracının sayısının etkin bir malzeme akışının gerçekleştirilmesi için önemli olduğundan bahsedilmiştir. Performans tabanlı yaklaşımların önerildiğinden, fakat onların yaklaşık metotlar kullanan basit çözümler verdiklerinden bahsedilmiştir. Malzeme taşıma araçlarının miktarının belirlenmesine yönelik literatürde dört grubun sınıflandırıldığından bahsedilmektedir. Bunlar mâliyet enküçükleme modelleri, tek ölçütlü modeller, çok ölçütlü modeller ve benzetim modelleridir. Önerilen modelin İlk adımında ürünlerin yüklenmesi ve boşaltılması, dolu dolaşım, boş dolaşım ve aracın bozulması gibi durumlar ele alınarak hazırlık çözümü elde edilmiştir. Hem operasyonel hem de malzeme taşıma aracının kullanılma durumu, malzeme taşıma aracındaki süreç içi stok miktarı ve ürün ömrü mâliyeti gibi mâliyet performans faktörlerine ilişkin detaylı model ise ilk hazırlık sürecinde elde edilen alternatiflerin sıralanmasında kullanılmaktadır. Örnek bir problem üzerinde geliştirilen model uygulanmıştır. Görülmektedir ki geliştirilen metot, varolan diğer metotlardan daha iyidir. İşlem gören birimler, yerleşim tasarımı, bakım fonksiyonu, taşıma aracı hızı ve yığın miktarı gibi diğer çeşitli faktörlerin etkisi de gösterilmiştir. Böylece önerilen yaklaşımın önemi ve bütünleştirilmiş karar destek sürecini destekleme kapasitesi gösterilmektedir. Çalışmanın ileriki aşamalarında genetik algoritma gibi bir metot kullanarak karar tablosu oluşturulmasının otomatikleştirilmesi gösterilmektedir. Ayrıca talepteki dalgalanmaların ve rototalamadaki esnekliklerin de dâhil edilebileceği belirtilmektedir. Süreçteki gecikmelerin ekonomik sonuçlarına ilişkin ölçütlerin de dâhil edilmesine ihtiyaç duyulacağı vurgulanmaktadır.

Im ve diğerleri (2009), 300 mm'lik yarı iletken üretiminin yapıldığı bir ortamda malzeme taşıma araçlarının engellenmesine ve dağıtım sürelerinin enküçüklenmesine yönelik bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada Macar yöntemi (İng: Hungarian Method) modifiye edilmiş ve yeni bir metot içerisinde kullanılmıştır. Literatürde varolan yöntemlerle benzetim çalışması üzerinden kıyaslamalarda bulunulmuş ve önerilen yöntemin saatlik taşıma miktarı ve dağıtım süreleri gibi performans göstergeleri açısından diğer yöntemlerden iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Mirhosseyni ve Webb (2009), malzeme taşıma araçlarının seçilmesinde kullanılabilecek melez bir yöntem sunmaktadırlar. Yöntem iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda en uygun malzeme taşıma aracı türü bulanık uzman sistem yardımıyla seçilmektedir. İkinci adımda ise genetik algoritma olurlu çözüm kümesi içerisinde önceki adımda bulunan verilere dayanarak en iyi çözümü aramaktadır.

Sayarshad (2010), bir üretim ortamında gerekli olan malzeme taşıma aracı sayısının belirlenmesi için arı algoritmasına (İng: Bees algorithm) dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Metot, temel olarak çok periyotlu bir ortamı ve karşılanmayan taleplerin periyot sonunda sıfır olduğu kabulünü içermektedir. Ayrıca en iyi taşıma büyüklükleri ve onların üretim istasyonlarına nasıl atandıkları da değerlendirme kapsamındadır. Geliştirilen yöntem çeşitli büyüklükteki sayısal örnekler üzerinde denenmiş ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Tuzkaya ve diğerleri (2010), malzeme taşıma araçlarının seçilmesine ilişkin iki adımdan oluşan bir bulanık karar verme modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde birinci adımda değerlendirme ölçütleri Bulanık Analitik Ağ Prosesi (İng: Fuzzy Analytic Network Process, F-ANP) ile elde edilmekte, daha sonra alternatif malzeme taşıma araçları Bulanık Öncelik Sıralama Metodu (İng: Fuzzy Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations, F-PROMETHEE) ile değerlendirilmektedir. Önerilen yöntem bir traktör fabrikasında uygulanmış ve değerlendirme ölçütlerinin ağırlıklarının değişimine göre duyarlılık analizleri yapılmıştır.

3.3 İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Hücresel Yerleşim Düzeni ve “Depo-Hücre”, “Hücre-Hücre” ve “Hücre-Depo” Arası Akışlara Yönelik Çalışmalar

Çalışma kapsamında ele alınan bir diğer alt konu da hücresel yerleşim ile depodan hücreye, hücreden hücreye ve hücreden depoya olan akışları içeren literatürün incelenmesidir. Bu kapsamda incelenen makaleler aşağıda verilmiştir.

Makris ve Giakoumakis (2003), makalelerinde kombinatoriyel eniyilemede kullanılan k-değişim sezgiselinin bir modifikasyonunu, tur yapım sezgiseli veya eşit uzunluklu paralel koridorlu veya dikdörtgen raflı depo çevrelerinde sipariş toplama prosedürü için geometrik yapılandırmalardan ve operasyon türünden bağımsız olarak bir gelişim olarak uygulanabileceğini belirtmektedirler. Önerilen sezgisel iki depo

türü için uygulanmış ve tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır. Önerilen sezgiselin avantajları; deponun yapılandırılması, geometrik şekli ve fonksiyonundan bağımsız olması, prosedürün basitliği ve varsayımlardan bağımsız olmasıdır.

Chiang ve Lee (2004), üretim hücresi oluşturulmasını ve onun yerleşim planı üzerindeki konumunun belirlenmesini birleşik olarak ele almışlardır. İki-yönlü doğrusal yerleşim düzeninde yerleştirilmiş makine hücrelerini esas alan modelde amaç, genel olarak yapılan hücreler arasındaki hareket sayısını azaltmak değil, bunun yerine hücre boyutu kısıtı altında hücreler arası akış mâliyetini enküçüklemektir. Tavlama benzetimi yaklaşımına dinamik programlama algoritması da eklenerek bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model PASCAL programlama dilinde kodlanarak, etkinliğini test etmek amacıyla 24 test problemini kapsayan deneyler yapılmış ve farklı hücresel oluşumların performansını karşılaştırmak için toplam hücreler arası akış mâliyeti, hücreler arası akış sayısı ve grup teknolojisi üç ölçüt olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, algoritmanın hesaplama olarak etkin ve kaliteli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Geliştirilen yaklaşımın tekli döngüsel ağ akış yerleşimlerine veya diğer doğrusal yerleşim türlerine uygulanabilecek şekilde geliştirilebileceği belirtilmiştir.

El-Baz (2004), tesis yerleşim problemlerinin çözülmesinde genetik algoritmayı kullanarak bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada amaçlanan, malzeme taşıma mâliyetlerinin enküçüklenmesidir. Sunulan genetik algoritma yaklaşımının etkinliği iki kıyaslama problemi ile ölçülmüştür. Ayrıca başka bir çalışmadan elde edilen sonuçla da kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin tesis yerleşim problemleri için en iyi çözümün bulunmasında daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca çok ürünli akış tipi üretime ilişkin yerleşim problemlerinde de model iyi çözümler vermektedir. Sonuçlar, genetik algoritmayı kullanarak geliştirilen çözüm yönteminin, tesis yerleşimi problemlerinin çözümündeki etkinliğini göstermektedir.

Vaziri ve Laporte (2005), döngü tabanlı malzeme taşıma sistemlerinin sanayide sıklıkla kullanıldığını ve hem mâliyet hem de operasyonel yönden çok etkin olduklarının kanıtlandığını belirterek, konunun önemini vurgulamayı amaçlamaktadırlar. Bu noktada yapılan yayınlar; istasyonların sıralanması, hücrelerin yerleştirilmesi, tandem (Ard arda sıralanan) yapılandırmalar, tek döngülü tasarım, boş araçların bulunmaları gereken yer, bloklama ve karşılaşma ve tek döngüde

AGV'lerin çoklu yüklenmesi gibi başlıklar altında irdelenmiş, konuyla ilgili yeni çalışmalar yapılmasının gerekliliği belirtilmiştir.

Yang ve diğerleri (2005), esnek üretim sistemleri için tesis yerleşimi ve malzeme akış yolu tasarımının bütünleşmesini ele almaktadırlar. Makalelerinde anlatılan yerleşim tasarım problemi; sabit şekilli bölümler, alma ve bırakma noktalarını içermektedir. Bu noktada basit döngüsel malzeme akış yolları kullanılarak tesis yerleşimi ve malzeme akış yolu yapılandırması için prosedür geliştirilmiştir. Bu prosedür, iki adımlı sezgisel problemi çözmek için önerilmiştir. İlk adımda tavlama benzetimi algoritması ve boşluk dolduran eğriyi içeren kombine bir metotla malzeme taşıma mâliyetlerini enküçükleyen geleneksel blok yerleşimi kullanılmıştır. Önerilen yöntemin ikinci adımı ise sonuçlanan sıralamayı ve ilk adımdan elde edilen görelî pozisyon bilgisini kullanır. Detaylı esnek üretim sistemi yerleşim problemi formüle edilmiştir ve karma tamsayılı programlama olarak çözülmüştür. Önerilen yöntemin etkinliğinin ve verimliliğinin gösterilmesi için üç test problemi kullanılmıştır. Deneysel gösterimlerin, önerilen yöntemin gerçek hayat problemlerinde de iyi sonuçlar üreteceği noktasında ümit verici olduğu belirtilmiştir.

Chan ve diğerleri (2006), makine parça gruplama problemi ile hücre yerleşim problemini, her parçanın işlenme sırasını da dikkate alarak açıklamak üzere iki matematiksel model önermişlerdir. Makine parça gruplama probleminde amaçlanan, hem hücre içi hem de hücreler arası parça hareketlerinin enküçüklenmesi iken, hücre yerleşim probleminde ise amaç, hücreler arasında parça dolaşım mesafesinin makro açıdan enküçüklenmesidir. Her iki problem de çalışma kapsamında önerilen genetik algoritma yöntemiyle çözülmüştür. Bu düşünceyle bu çalışmanın ana amacı, hücre oluşturma aşaması ile hücreler arası bir yerleşim gibi iki aşamalı bir yaklaşım sunmaktır. Çalışmanın ilk ve esas adımı olarak makine hücreleri ve parça ailelerinin belirlenmesi gösterilmiş, bunu takip eden ikinci aşamadaki yaklaşımda ise daha makro bir yaklaşımla hücre oluşturma probleminin makine sırası düşünülerek ele alınması durumu sunulmuştur. Hücreler arasındaki mesafeyi kısaltmak için makine hücrelerine ilişkin atanmanın sıralama etkisi bu aşamada incelenmiştir. İki matematiksel model makine-parça gruplama problemi ve hücre yerleşim problemi için formüle edilmiştir. Hücre yerleşim problemi için ilk varsayım, doğrusal bir yerleşimde olduğudur. Hücre yerleşim problemi, kuadratik atama problemi olarak değerlendirilmiştir. Makine-parça grup atama problemi ve kuadratik atama problemi

NP-zor oldukları için genetik algoritma çözüm algoritması olarak kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma, literatürde varolan 16 makine-43 parçadan oluşan problem kümesi için çözülmüş, öncekilere nazaran iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca endüstriyel bir uygulama olarak da çelik üreten bir firmada uygulamalar yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

Filho ve Tiberti (2006), çalışmalarında hücre oluşturulması için yeni bir genetik algoritma sunmaktadır. Geliştirdikleri yeni genetik algoritmaya “grup genetik algoritması” adını vermişlerdir. Çünkü genel olarak literatürde kullanılan makine kodlaması yerine grup kodlaması kullanılmaktadır. Bununla birlikte yeni çaprazlama ve mutasyon operatörleri de önerilmektedir. Geliştirilen algoritma C++ dilinde kodlanmış ve ikisi literatürden olmak üzere üç veri kümesi için çalıştırılmıştır. Test sonuçları göstermektedir ki algoritma, veri kümelerindeki grup yapısını açığa çıkarabilmektedir.

Caricato ve diğerleri (2007), tek döngülü malzeme akış sistem tasarımını ele almışlardır. Uygun eşitsizliklere ilişkin birçok sınıf geliştirmişlerdir ve duruma özgü tabu arama sezgiseli oluşturmuşlardır. Amaç hücreler arasında malzeme akışını en kısa sürede yerine getirmektir. Geliştirilen uygun eşitsizlikler dal ve kesme çerçevesine dâhil edilerek büyük örnekli problemlere literatürde belirtilenlerden daha iyi çözümler bulunmuştur. Dal ve sınır algoritması ile dal ve kesme algoritması arasında karşılaştırma yapılmıştır. Özel tabu arama sezgiseli de gösterilmiş ve hesaplamalı olarak değerlendirilmiştir. Gelecekteki çalışmaların, eldeki bulguların geliştirilerek tandem (Ard arda sıralanan) yapılandırmaları gibi konuları içermesi önerilmiştir.

Drira ve diğerleri (2007), yerleşim yeri problemleri üzerinde literatür taraması yapmışlar ve çeşitli çıkarımlarda bulunmuşlardır. NP-zor türü problem olan yerleşim yeri problemleri hakkında az düzeyde literatür taraması bulunduğunu bildirmişler bunlarında belirli alanlara sınırlı ve güncel olmayan çalışmalar olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada tesis yeri yerleşim problemlerinin analizinin nasıl yapılacağı, hangi sınıflardan oluşacağı açıklanmış, bu noktada bir çerçeve önerilmiştir. Önerilen çerçevede problemlerin analizinde kullanılabilecek sınıflar; üretim sistemleri, tesis şekilleri, yerleşim yapılandırmaları, malzeme taşıma sistemleri, yerleşim formülleri, amaçlar, kısıtlar ve çözüm yaklaşımları şeklinde

belirlenmiştir. Birçok araştırma konusu işaret edilmiş özellikle tesis tasarımına ilişkin ticari yazılımların azlığı vurgulanmıştır.

Vaziri ve diğerlerinin (2007) makalelerinde, birim yük otomatik malzeme taşıma ve döngüsel akış yol tasarım problemi değerlendirmeye alınmıştır. Bu noktada toplama ve dağıtım istasyonlarında tek yönlü döngüsel bir akışa yönelik eniyileme, ayrıştırma ve sezgisel prosedürleri geliştirilmiştir. Tesisin tasarımı sabittir. Geliştirilen modelin en önemli özelliği, toplama ve dağıtım noktalarının sabit bir nokta yerine hücre kenarı boyunca herhangi bir yere konulabiliyor olmasıdır. Makalede amaçlanan, yüklü ve boş olan araçların dolaşım sürelerinin enküçüklenmesidir. Model, küçük problemler için en iyiye veren doğrusal tamsayı programlamayla formüle edilmiştir. Büyük problemler için de olurlu döngülerin sayılmasına dayanan ayrıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca ayrıştırma yöntemi ile rekabet edecek düzeyde etkili komşu arama yöntemi de geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgiseller büyük problemler için iyi sonuçlar vermektedir.

Ahi ve diğerleri (2008) tarafından yazılan makale, grup teknolojisi kavramı üzerine kurulmuş hücresel üretim sistemi ile ilişkilidir. Yazarlar NP-zor olarak tanımladıkları hücresel üretim sistemlerinin tasarlanmasının; hücre oluşumu, hücre içi makine yerleşimi ve hücre yerleşimi olarak üç adımdan meydana geldiğini belirtmektedirler. Ayrıca hücresel sistemlerle ilgili yayınların genelde hücre oluşumu ve hücre içi makine yerleşimi ile ilgili olduğunu, hücre yerleşimi noktasında az yayın olduğunu da vurgulamaktadırlar. Bu doğrultuda makalede çok amaçlı karar verme tekniklerinden biri olan TOPSIS (İng: Technic for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) uygulanmıştır. Başlangıçta önerilen TOPSIS metodu daha sonra geliştirilerek, SAW (İng: Simple Additive Weighting) metodu eklenmiştir. Metot altı örnek üzerinde uygulanmıştır. Önerilen metottan elde edilen sonuçlar literatürde karşılaşılan popüler yaklaşımların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalar, önerilen metodun hücresel üretim sistemleri problemleri için iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Makalenin genişletilmesinin diğer çok amaçlı karar verme tekniklerinin eklenmesiyle mümkün olabileceği belirtilmiştir.

Hao ve Shen (2008), çekme esasına dayanan kanbanların kullanıldığı malzeme taşıma sistemine ilişkin bir benzetim çalışmasında bulunmuşlardır. Makalede montaj hattında karmaşık malzeme taşıma süreçlerini modelleyebilmek için hem ayrık olay hem de ajan tabanlı teknolojiler beraber kullanılarak, melez benzetim yaklaşımı

sunulmaktadır. Sistem performansı değerlendirilmiş ve sistem eniyileme yönlendirmeleri önerilmiştir. Önerilen melez model yaklaşımı “ne-eğer” (İng: What-If) senaryolarının benzetiminin yapılabilirdiği farklı benzetim yapılandırmaları ve gerçek zamanlı olaylar altında cevap verici ve adapte olabilen uygulamaları kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Ana amaçlar; esnek bir çekme üretim hattının benzetimini yapabilmek için örnek bir yazılım sistemi geliştirmek, dinamik bir malzeme taşıma çevresini göstermek, malzeme taşıma akışını optimize etmek ve doğru istatistiksel çıkarımlarda ve tahminlerde bulunmak şeklindedir. Nihai olarak sistem bütünleşmesi açısından ileri çalışmaların malzeme taşıma benzetimi çevresinin ajan platformuyla yapılması ve malzeme taşıma benzetiminin üretim ortamındaki gerçek zamanlı araçlarla bütünleşmesi şeklinde belirtilmiştir.

Safaei ve diğerleri (2008), dinamik bir çevre içinde hücresele üretim sistemlerinin tasarımına yönelik karma tamsayı programlama modeli ve ortalama alan tavlama ile tavlama benzetimine dayanan melez bir çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yazarlar, hücresele üretim ortamına ilişkin genel bir varsayım olan ürün karışımının ve talebin değişmeme durumuna karşıt olarak dinamik çevre içinde ürün karışımı ve parçaya ilişkin talebin değişeceğini belirtmektedirler. Statik bir periyot için hazırlanan hücrelerin diğer periyotlar için etkin olmayabileceğini ve yeniden tasarlanması gerekebileceğini belirtmektedirler. Yeni durumun makineleri ekleme, çıkarma veya yeniden tasarlama şeklinde olabileceği gibi aynı zamanda bir periyottan diğerine parça rotalarının değişmesini de içerebileceğini belirtmektedirler. Önerilen metodun avantajları şunlardır: Operasyon sıralarını düşünerek hücre içi ve hücreler arasında yığın taşımalarının değerlendirilmesi, parça türleri için alternatif süreç planlarının değerlendirilmesi, makine tekrarının değerlendirilmesi. Modeldeki ana kısıtlar, maksimum hücre boyutu ve makine süresi kapasitesidir. Amaç; makinenin sabit ve değişken mâliyetlerinin (hücre içi ve hücreler arası taşıma ve yeniden tasarlanma mâliyetleri) enküçüklenmesidir. İlk etapta doğrusal olmayan model daha sonra doğrusallaştırma işlemleriyle doğrusal hale getirilmiştir. Önerilen modeli çözmek için etkin bir melez meta-sezgisel ve tavlama benzetimi metodu kullanılmaktadır. Ortalama alan tavlama tekniği, tavlama benzetimine göre iyi bir başlangıç çözümü üretmek için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, önerilen metotla elde edilen çözümler, klasik tavlama benzetiminden, özellikle de büyük çaplı

problemler için daha iyidir. Formüle edilen matematiksel modelin periyotlar arasında stok taşınması vb. konuların tekrar değerlendirilmesine açık olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2008), varolan bir yerleşim planına bir birimin dâhil edilmesini ve bununla ilişkili bir veya iki bağlayıcı alt-koridorun yapılandırmasını ele almışlardır. Çalışma başka bir çalışmadan esinlenerek oluşturulmuştur. Çalışmada varolan tesise, sınırlı boyutlu bir birimin en iyi bir şekilde yerleştirilmesine ilişkin durum ele alınmıştır. Malzeme taşınmanın mevcut koridor yapısıyla sınırlandırılarak çalışmanın esinlenilen çalışmadan farklılaştırıldığı belirtilmiştir. Dikdörtgen şekilde tanımlanmış birimlerde birimin diğer birimlerle veya koridor yapısıyla kesişmesine imkân verilmemiştir. Dolaşım, yeni veya varolan koridorlarla sınırlandırılmıştır. Yeni tesis için sınırlı sayıda aday yerleşim yerinin olduğu görülmektedir. Algoritmalar, en iyi yerleşimin ve alt koridorlara karşılık gelen yapılandırmaların belirlenmesi için geliştirilmiştir. Çözüm metodunun karmaşıklığı analiz edilmiş, sayısal bir örnekte uygulama yapılmıştır. Sonuçlara göre hiç bir koridorun olmaması veya bir koridorun olması durumu, bir ağdaki p-median probleminin çözülmesinde kullanılan araçlarla çözülebilmektedir. Fakat iki koridorun eklenmesi durumu dolaşım mesafelerini etkilediği için farklıdır ve analizi daha zordur. Fakat iki koridorun eklenmesinin daha ciddi faydalar sağladığı belirtilmektedir.

Ariafar ve İsmail (2009), hücreli üretim ortamında tesis yerleşim planına ilişkin matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Amaçlanan, gerek hücre içi gerekse de hücre dışı malzeme taşıma hareketlerinin enküçüklenmesidir. Tavlama benzetiminin değişik bir versiyonu, modelin çözülmesi için geliştirilmiştir. Gerek elde edilen çözüm kalitesi, gerekse de bilgisayardaki işlem süresi açısından geliştirilen algoritma, kıyaslamalarda iyi sonuçlar vermiştir.

Shirazi ve diğerleri (2010), esnek hücreli imalat sistemlerinde otomatik malzeme taşıma araçlarının tasarımına ilişkin altı sigma stratejisine dayanan doğrusal olmayan bir model geliştirmişlerdir. Temel olarak çalışmanın üç amacı bulunmaktadır. Bunlar, gerek döngü içi gerekse de döngüler arası malzeme akışının enküçüklenmesi ve hücreler arası taşınan maksimum miktarın enküçüklenmesi şeklindedir. Ele alınan problemin NP-zor olmasından dolayı modifiye edilmiş karınca kolonisi metodu geliştirilmiştir. Farklı test problemlerinde klasik metotlar ile geliştirilen karınca kolonisi yöntemi, bilgisayardaki işlem süresi ve amaç fonksiyonu değeri açısından kıyaslanmıştır. Önerilen metodun iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Boysen ve Bock (2011), merkezi bir depo ile karma modellenli bir montaj hattı arasında tam zamanında parça tedârikinin çizelgelenmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Merkezi bir depodan montaj hattındaki istasyonlara parçalar, kutular halinde forkliftler tarafından taşınmaktadır. Amaçlanan, istasyonlardaki parça miktarını enküçükleyecek kutu sırasının belirlenerek forklifte yüklenmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca montaj hattındaki ürün karmasının model sırasına göre, ihtiyaç duyulan parçalarının karşılanması da gerekmektedir. Modellenen duruma ilişkin çözüm önerileri geliştirilmiştir. Küçük boyuttaki problemler için en iyi sonucu veren dinamik programlama, büyük çaptaki problemler için ise tavlama benzetimi kullanmışlardır. Örnek problem seti oluşturarak geliştirdikleri çözüm yöntemlerini test etmişler ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

3.4. İç Lojistik Sisteminin Temel Bileşenlerine Yönelik Yapılan Literatür Araştırması Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı kapsamında incelenen yayınlar; depolara ilişkin çalışmalar, malzeme taşıma araçlarına yönelik çalışmalar ve hücre yerleşimi ile hücreler arası akışlar olmak üzere üç kısma ayrılarak incelenmiştir. İncelenen bu alt bölümlere ilişkin özet çizelge **EK A**'da sunulmuştur. Değerlendirmeye alınan 53 makalenin 24'ü depolamayı, 19'u malzeme taşıma araçlarını ve 15'i de hücre yerleşimi ve hücreler arası akışı içermektedir (Bazı makaleler birden fazla konuyla ilişkilidir). Genel değerlendirmeler ise şu şekildedir:

Depolara yönelik olarak incelenen kaynaklar, depo fonksiyonları olan kabul, depolama, sipâriş toplama ve sevkiyat fonksiyonlarını içeren özel çalışmalardır. Özellikle de sipâriş toplama ve depolamaya ilişkin analitik ve sezgisel modeller geliştirilmiştir. Farklı depo stratejilerinin iç lojistik sistemine olası etkilerini analiz eden çalışmalar da son derece kısıtlıdır. Ayrıca yalın üretim sistemlerinde depoların nasıl olması gerektiğine ilişkin çalışmalar da çok az sayıdadır.

Malzeme taşıma araçlarına yönelik olan çalışma sayısı da sınırlı düzeydedir. Malzeme taşıma araçlarına ilişkin yayınlarda temel olarak iki konu göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi, diğeri ise taşıma işlerinin en uygun şekilde taşıma araçlarına atanmasıdır. Malzeme taşıma araçlarının seçimine yönelik olarak uzman sistemler geliştirilmiştir. Geliştirilen uzman sistemlerde taşıma araçlarına yönelik bilgi havuzu oluşturulmuş ve kullanıcı

isteklerine göre uygun taşıma aracı bu havuzdan çıkarım mekanizmasıyla seçilmiştir. Geliştirilen uzman sistemler nitelik olarak birbirlerine benzemekte fakat içerdikleri araç sayısı ve araç özellikleri sayısı gibi nicel değerler bakımından farklılık göstermektedir. Taşıma işlerinin taşıma araçlarına atanması işi ise özellikle karma tamsayılı programlama ile modellenmekte, fakat genelde bu tip problemlerin hacminin büyümesi ile NP-zor hale gelmelerinden ötürü sezgiseller geliştirilmektedir. Yalın üretim ortamında malzeme taşıma araçlarının nasıl olması gerektiğine ilişkin yayın sayısı çok kısıtlıdır.

Hücreyel yerleşim ve hücreler arası akışlara ilişkin çalışmalarda ise genelde hücre içi taşımalar (İng: Intracellular Movements) ön plandadır. Hücreler arası taşımalara (İng: Intercellular Movements) ilişkin çalışmalar nispeten az sayıdadır. Bazı çalışmalarda her iki durum da bulunmaktadır. Bu noktada taşıma sayısını azaltıcı modeller geliştirilmiştir. Sezgisel modeller ağırlıklı olarak kullanılmakta, bununla birlikte melez modellere de sıkça rastlanılmaktadır. Literatürde pek rastlanılmayan nokta ise depo-hücre ve hücre-depo arası akışlardır. Yalın üretim ortamına ilişkin malzeme taşıma sistemlerinin modellenmesine yönelik benzetim çalışmaları yok denecek kadar azdır. Olanlar da kısıtlı tasarımlar yapmaktadırlar. Tez çalışması kapsamında bu noktadaki eksiklikler giderilmeye çalışılarak özellikle depo-hücre, hücre-hücre ve hücre-depo arası akışlar gözönünde bulundurulacaktır.

4. FABRİKA İÇİ MALZEME TAŞIMA SİSTEMLERİ

Tez kapsamında odaklanılan döngüsel seferler yapan kısa tren, iç lojistik sisteminin özünü oluşturan malzeme taşıma sistemlerinin bir parçasıdır. Bu bağlamda, bütünün görülmesi açısından fabrika içi malzeme taşıma sistemleri ayrı bir konu olarak değerlendirmeye alınmış ve incelenmiştir.

İç lojistik sistemi tasarımının en önemli noktalarından biri de malzeme taşıma sistemleridir. Bir üretim sisteminde farklı türde ve özellikte taşıma sistemleri kullanılabilir. Malzeme taşıma işlemi, özünde katma değeri olmayan israf türlerinden biridir. Burada uygun bir malzeme taşıma sisteminin seçilmesi, katma değerli olmayan bu sürecin en az kayıpla gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Tipik bir endüstriyel işletmede malzeme taşıma faaliyeti; işgören sayısı açısından tüm personelin %25'ini, kullanılan alan açısından tüm fabrika alanının %55'ini ve işlem süresi açısından da toplam üretim süresinin %87'sini içermektedir (Hiregoudar ve Reddy, 2007). İlgili yüzdelerden de anlaşılabileceği üzere iyileştirme yapılabilecek, israflardan arındırılabilir geniş bir alan bulunmaktadır.

Malzeme taşıma işlemleri ve bunlar için kullanılan ekipmanlar, tesis yerleşiminde dikkate alınması gereken tamamlayıcı unsurlardır. Ayrılmaları sözkonusu değildir. Malzeme taşıma sistemindeki bir değişiklik tesis yerleşimini, aynı şekilde tesis yerleşimindeki bir değişiklik de malzeme taşıma sistemini değiştirecektir (Stephens ve Meyers, 2010).

Malzeme taşımaya ilişkin çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. Malzeme taşıma Tompkins (2003) tarafından şu şekilde özetlenmiştir: “Doğru yerde, doğru zamanda, doğru sırada, doğru pozisyonda ve doğru mâliyetle doğru miktarda malzemeyi sağlamak için doğru metodu kullanan bir aktivitedir.” Bu tanım malzeme taşıma fonksiyonuna basit bir malzeme taşıma aktivitesi yerine, daha geniş bir sistem perspektifinden bakılması gerektiğini anlatmaktadır (Heragu, 2008).

Malzeme taşımaya ilişkin bir diğer tanımlama ise Malzeme Taşıma Enstitüsü tarafından yapılandır. “Malzeme taşıma, işe ilişkin bir yerin sınırları içerisinde katı

veya yarı katı hâldeki yığın, paketli veya tekil ürünlerin makine vasıtasıyla olan hareketine ilişkin temel operasyonları içerir” (Sule, 1994).

Amerika Makine Mühendisleri Birliği (İng: The American Society of Mechanical Engineers) tarafından da malzeme taşıma, herhangi bir formda malzemenin hareket ettirilmesi, paketlenmesi ve depolanmasının sanatı ve bilimi şeklinde belirtilmiştir (Stephens ve Meyers, 2010). Diğer tanımlamalarda geçen doğru miktar, doğru malzeme, doğru durum, doğru zaman, doğru mâliyet ve doğru metoda ilişkin Hiregoudar ve Reddy (2007) tarafından aşağıdaki açıklamalarda bulunulmuştur:

Doğru miktar: “Doğru miktar” ne kadar stok tutulması gerektiği problemine ilişkindir. Tam zamanında üretim felsefesi gereği sıfır stok tutulması gerekmekte olup, doğru miktar da beklenen değil ihtiyaç duyulan miktardır. Bunun için de çekme sisteminin esas alındığı küçük parti miktarlarının işlem gördüğü bir sistem uygun olacaktır.

Doğru malzeme: Manüel sipariş toplama sistemlerinde yapılan iki yaygın hata, yanlış miktarın ve yanlış malzemenin toplanmasıdır. Bu durum da barkod sistemleri gibi otomatik tanımlama ihtiyacını doğurmaktadır. Bazı temel yapılabilecek işler, parça numaralandırma sistemlerinin basitleştirilmesi ve veritabanı sisteminin bütünlüğü ve doğruluğunun sağlanması şeklinde olabilir.

Doğru durum: “Doğru durum”, müşterinin malzemeyi almak istediği durumdur. Müşteri malzemenin zarar görmemiş bir şekilde paketlenmiş, paketlenmemiş, set haline getirilmiş, boyanmış ya da boyanmamış halde olmasını isteyebilir.

Doğru zaman: “Doğru zaman”, ne erken ne de geç olan, tam zamanında yapılan dağıtım demektir. Dağıtım süresindeki varyansın düşürülmesi bu noktada önemlidir. Buradaki amaç, düşük çevrim sürelerinde ve malzeme dağıtım süresinin azaltılmadığı bir sistem işletmektir.

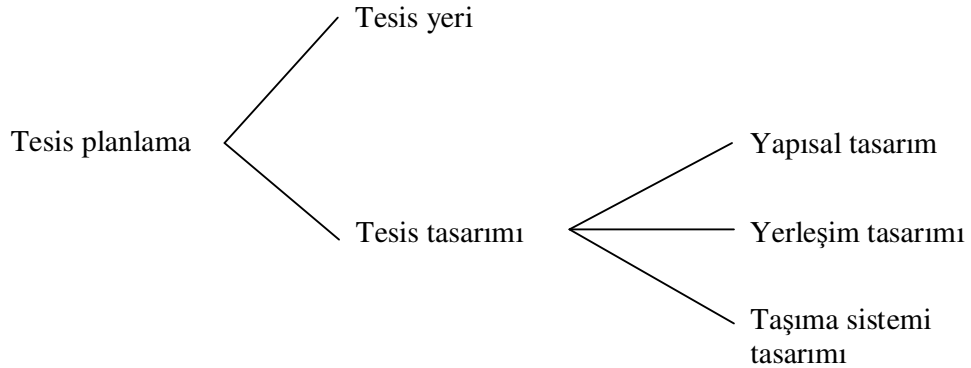
Doğru mâliyet: “Doğru mâliyet”, en düşük mâliyet demek değildir. Buradaki amaç, en etkin malzeme taşıma sisteminin, en uygun mâliyetle yerine getirilmesidir.

Doğru metot: “Doğru metoda” ilişkin çeşitli bakış açıları bulunmaktadır. Metotları nelerin yanlış ve doğru yaptığının anlaşılması gerekmektedir. Bir yerine birden fazla metot kullanılması genelde daha doğru olabilmektedir.

Malzeme taşıma sadece malzemenin hareketini içermez, bununla birlikte çeşitli fonksiyonlar da bu durumda yer almaktadır. Bunlardan bazıları, Sule (1994) tarafından şu şekilde belirtilmiştir:

- Malzeme taşıma, malzemenin yatay veya dikey yönde hareketiyle birlikte yükleme ve boşaltmaları da içermektedir.
- Malzeme taşıma hareketinin “belirli bir iş alanında sınırlandırılmış” olması, hammaddelerin iş istasyonlarına hareketini, yarı ürünlerin iş istasyonları arasında hareketini ve bitmiş ürünlerin de depolarına gönderilmelerini içerir.
- Malzeme taşıma aracının seçimi, malzeme taşıma sistemlerinde önemli aktivitelerinden biri olarak görülmektedir.

Tompkins ve White (1984), malzeme taşıma sistemlerinin tasarımını Şekil 4.1’de gösterilen tesis planlama hiyerarşisinin bir alt dalı olarak görmüştür. Özellikle yerleşim tasarımı aşamasıyla iç içe bir yapı olduğu ve ayrı olarak ele alınamayacağını belirtmişlerdir.



Şekil 4.1 : Tesis planlama hiyerarşisi (Tompkins ve White, 1984).

4.1 Malzeme Taşımanın Amaçları

Malzeme taşıma mâliyeti, taşınan malzemeye de bağlı olarak ürün mâliyetinin %20’si ile %70’i arasında bir oranı içermektedir. Malzeme taşıma sistemlerinin tasarlanmasında amaç, sadece tasarım ve operasyonel mâliyetleri enküçükleme değil, aynı zamanda üretim sahasındaki diğer aktiviteleri de destekleyen bir sistemi oluşturmak olmalıdır (Heragu, 2008).

Sule (1994), malzeme taşıma sistemlerine olan ihtiyaç ve dikkatli planlamanın iki duruma bağlanabileceğini belirtmiştir. Birincisi malzeme taşıma mâliyetleri, üretim

mâliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İkincisi ise malzeme taşıma, operasyonları ve tesisin tasarımını etkilemektedir. Bu durumda malzeme taşıma sistemi tasarımının ana amacı, verimli bir taşımayla üretim mâliyetinin düşürülmesi olarak gösterilebilir. Daha özel olarak ise amaçlar Sule (1994) tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

- Ne zaman ve nerede ihtiyaç duyulursa, malzemelerin mevcudiyetini sağlayarak malzeme akış verimliliğini arttırmak
- Malzeme taşıma mâliyetlerini azaltmak
- Araçlardan faydalanmayı arttırmak
- Güvenlik ve çalışma koşullarını iyileştirmek
- Üretim sürecini rahatlatmak
- Etkinliği arttırmak

Stephens ve Meyers (2010) de Sule (1994)'e benzer şekilde malzeme taşımanın ana amacının, üretimin birim mâliyetinin düşürülmesi olduğunu ve bu noktadaki diğer amaçların alt amaç olarak değerlendirilebileceğini belirterek aşağıdaki amaçları sıralamışlardır:

- Ürün kalitesini arttırmak ve devamlılığını sağlamak, hasarları azaltmak ve malzemeleri korumak
- Güvenliği arttırmak ve çalışma koşullarını iyileştirmek
- Aşağıdakileri sağlayarak etkinliği arttırmak:
 - Malzemenin doğru bir hat üzerinde ilerlemesi
 - Malzemenin olabildiğince az bir mesafe katetmesi
 - Yerçekiminin olabildiğince kullanılması
 - Aynı anda birçok malzemenin taşınması
 - Malzeme taşımanın mekanize edilmesi
 - Malzeme taşımanın otomatikleştirilmesi
 - Malzeme taşıma/üretim oranlarının geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması
 - Otomatik malzeme taşıma araçları kullanarak çıktının artırılması
- Tesisin kullanım düzeyini arttırmak için aşağıdakileri yapmak
 - “Küp” depo kullanımının artırılması (Deponun üç boyutunun birden düşünülmesi ve bütün hacimden faydalanılması)
 - Çok amaçlı donanımlar alınması

- Malzeme taşıma araçlarını standardize edilmesi
- Üretim donanımı kullanımının malzeme taşıma besleyicileri ile arttırılması
- Önleyici bakım programı uygulayarak, gerektiğinde donanımların değiştirilmesi ve bakımının yapılması
- Bütün malzeme taşıma donanımlarının bir sistemde bütünleştirilmesi
- Ölü ağırlık oranını düşürmek
- Stoğu kontrol etmek

Apple (1977) da malzeme taşıma çözümünde “malzeme taşıma eşitliği” kullanımını önermiştir. Altı ana soruya çözüm aranmaktadır. Neden (Malzeme taşıma aracının seçilmesi), ne (malzeme hareket ettirilecek mi), nerede ve ne zaman (hareket yapılmalı mı), nasıl (hareket nasıl yapılacak) ve kim (hareketi kim yapacak). Burada altı soru da çok önemlidir ve tatmin edici şekilde cevaplanması gerekmektedir. Aksi takdirde malzeme taşımaya ilişkin alt çözümlerle karşılaşılabilir. Gerçekte analistler “ne” sorusundan “nasıl” sorusuna atladıkları için zayıf çözümlerle karşı karşıya kalmaktadırlar.

Malzeme taşıma eşitliği “malzeme + hareket = metot” şeklinde belirtilmektedir. Genelde malzeme ve hareketler analiz edildikleri zaman otomatik olarak uygun malzeme taşıma metodu açığa çıkmaktadır (Heragu, 2008).

Arora ve Shinde (2007) de iyi bir malzeme taşıma sisteminin bazı önemli avantajlarının aşağıdaki şekilde olabileceğini belirtmişlerdir:

- Malzeme taşıma ve dolaylı işçilik mâliyetlerinde azalma
- Verimlilikte artma
- Alan ve tesisin daha iyi kullanılması
- Azaltılmış taşıma mâliyeti
- Çalışanlarda daha az yorgunluk

4.2 Malzeme Taşıma İlkeleri

Malzeme taşımanın nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine ilişkin kesin belirli kurallar yoktur. Fakat bazı temel ilkeler bulunmaktadır. Bu ilkeler, farklı kaynaklara göre çeşitli sayılarda bulunmaktadır. Amerikan Malzeme Taşıma Endüstrisi’ne (İng:

Material Handling Industry of America) göre malzeme taşımaya ilişkin aşağıda gösterildiği şekliyle 10 ilke bulunmaktadır (Url-3):

- Planlama
- Standardizasyon
- İş
- Ergonomi
- Birim yük
- Alan kullanımı
- Sistem
- Otomasyon
- Çevre
- Ürün döngüsü mâliyeti

Malzeme taşıma ilkeleri benzer olmakla birlikte farklı kaynaklarda farklı sayılarda geçebilmektedir. Aşağıda Sule (1994) tarafından belirtilen taşıma ilkeleri ve tanımlamaları bulunmaktadır.

Malzeme Taşıma İlkeleri:

- 1. Planlama:** Maksimum operasyon verimliliğini elde etmek için bütün malzeme taşıma ve depolama aktivitelerinin planlanması
- 2. Sistem akışı:** Olabildiğince elleçleme aktivitesinin uygulanabilir koordineli bir sistem içinde satış, kabul, ön depolama, üretim muayenesi, paketleme, son depolama, sevkiyat, ulaştırma ve müşteriler gibi durumlarla bütünleştirilmesi
- 3. Malzeme akışı:** Malzeme akışını optimize eden operasyon sırası ve araç yerleşim planının sağlanması
- 4. Basitleştirme:** Taşımanın, gereksiz hareketlerin veya araçların azaltılarak, elimine edilerek veya birleştirilerek basitleştirilmesi
- 5. Yerçekimi:** Elverişli olduğu durumlarda malzemeleri hareket ettirmek için yerçekiminin kullanılması
- 6. Alan kullanımı:** Binadan en iyi şekilde faydalanılması

7. **Birim boyutu:** Birim yüklerin miktar, boyut veya ağırlığının veya akış hızının arttırılması
8. **Mekanizasyon:** Taşıma operasyonlarının mekanize edilmesi
9. **Otomasyon:** Üretim, taşıma ve depolama fonksiyonlarını dâhil etmek için otomasyonun sağlanması
10. **Araç seçimi:** Araç seçiminde, taşınan malzemenin, hareketin ve kullanılan metodun tüm yönleriyle değerlendirilmesi
11. **Standartlaştırma:** Taşıma metodlarının, taşıma aracının türüne ve boyutlarına göre standartlaştırılması
12. **Adaptasyon:** Özel amaçlı araç gerekmediği durumlarda, çeşitli işleri ve uygulamaları yapabilecek metotlar ve araçlar kullanılması
13. **Ölü ağırlık: (İng: Dead weight):** Mobil taşıma araçlarında ölü ağırlığın oranının azaltılması
14. **Faydalanma:** Malzeme taşıma aracı ve işgücü için en iyi faydalanma planlarının oluşturulması
15. **Bakım:** Bütün malzeme taşıma araçları için önleyici bakım ve çizelgelenmiş tamirat planlarının oluşturulması
16. **Kullanılmaz hale gelme:** Eski metotların ve araçların, operasyonları daha etkin kılacak taşıma metotlarıyla değiştirilmesi
17. **Kontrol:** Malzeme taşıma aktivitelerinin üretim kontrolü, stok ve sipariş işleme için kullanılması
18. **Kapasite:** Taşıma araçlarının istenen üretim kapasitesine ulaşmak için kullanılması
19. **Performans:** Taşınan bir birimin mâliyeti bazında, taşıma performansının etkinliğinin belirlenmesi
20. **Güvenlik:** Güvenli taşıma için uygun metotlar ve araçlar sağlanması (Sule, 1994).

4.3 Malzeme Taşıma Sisteminde Performans Göstergeleri

Bir sistemin sağlıklı işleyip işlememesinde ve performansının değerlendirilmesinde en önemli noktalardan biri de performans göstergeleridir. Malzeme taşıma sistemleri için geçerli olan performans göstergeleri Kulwiec (1985) tarafından aşağıdaki şekilde

belirtilmiştir. Sule (1994) de ilgili performans göstergeleri için çeşitli açıklamalarda bulunmuştur.

Üretim Döngü Verimliliği (ÜDV):

$$\text{ÜDV} = \frac{\text{Gerçek üretim operasyonlarındaki süre (makine süresi)}}{\text{Üretim departmanındaki süre}} \quad (4.1)$$

Üretimde harcanmayan süre, malzeme taşıma hareketindeki gecikmelerden kaynaklanabilir. Makine kullanım oranını arttırmak için gecikmeler elimine edilmelidir veya en azından enküçüklenmelidir. Tutarlılık için performans göstergesi belirli bir zaman periyodunda ölçülmelidir (Sule, 1994).

Malzeme Taşıma İşçilik Oranı (MTİO):

Eğer bir çalışan tüm zamanında malzeme taşıma işiyle uğraşmıyorsa, kişinin malzeme taşımaya ilişkin çalıştığı sürenin belirli bir yüzdesi tahmin edilmeli ve hesaplamalarda kullanılmalıdır. Oranın 0,30'dan küçük olması tercih edilmektedir. Bir depo alanında ise bu değerin daha yüksek olması beklenir (Sule, 1994).

$$\text{MTİO} = \frac{\text{Malzeme taşıma işine atanan personel}}{\text{Toplam çalışan personel}} \quad (4.2)$$

Depolama Alanı Kullanım Oranı (DAKO) :

$$\text{DAKO} = \frac{\text{Kullanılan depolama alanı}}{\text{Toplam hazır depolama alanı}} \quad (4.3)$$

Eğer kutular, raflar gibi depolama alanları kısmi olarak dolu ise kullanım oranı yüzdesi tahmin edilmelidir ve hesaplamalara dâhil edilmelidir. 1'e yakın bir değer depolama alanları için uygun boşlukların atanmasını ifade eder (Sule, 1994).

Malzeme Taşıma Aracı Kullanım Oranı (MTAKO):

$$\text{MTAKO} = \frac{\text{Bir saatte taşınan parçalar (yük ağırlığı)}}{\text{Teorik kapasite}} \quad (4.4)$$

İdeal olarak oran 1'e yakın olmalıdır. Bununla birlikte araç bozulmaları, zayıf çizelgeleme, zayıf elde tutma ve yapı coğrafyası yük hareketini azaltabilir (Sule, 1994).

Koridor Alanı Kullanım Oranı (KAKO):

$$KAKO = \frac{\text{Koridorlar tarafından kullanılan alan}}{\text{Toplam alan}} \quad (4.5)$$

Koridor kullanım oranı 0,10 ile 0,15 arasında yer almalıdır (Sule, 1994).

Hareket/Operasyon Oranı (HO):

$$HO = \frac{\text{Hareket sayısı}}{\text{Üretken operasyon sayısı}} \quad (4.6)$$

Oran, gerçekleştirilen malzeme taşıma miktarını gösterir. Dâhil edilen hareketler kabulden, depolamadan operasyona ve tekrar depolamaya gibi çeşitli hareketleri içerir. Yüksek bir değer, gelişim için boşluk olduğunu gösterir (Sule, 1994).

Hasarlı Yük Oranı (HYO):

$$HYO = \frac{\text{Hasarlı yük sayısı}}{\text{Toplam yük sayısı}} \quad (4.7)$$

Buradaki oran malzeme taşıma personelinin performans kalitesini ölçer. Kabulde, süreç içinde ve sevkiyatta yükte meydana gelen hasarlar enküçüklenmelidir (Sule, 1994).

Enerji Oranı (EO):

$$EO = \frac{\text{Depodaki toplam enerji tüketimi}}{\text{Depolama alanı}} \quad (4.8)$$

Enerji oranı, ısıtma ve soğutma operasyonlarının verimliliğini ölçer. Bu oranın geliştirilmesinde işgörenlerin olmadığı bir yerde deponun belirli bir bölümünün ısıtılması veya soğutulması, gerekmediği zaman ışıkların söndürülmesi, kalıcı ışıklar yerine taşıt ışıklarından faydalanılması gibi uygulamalar yapılabilir (Sule, 1994).

4.4 Malzeme Taşıma Araçlarının Türleri

Üretim ortamlarına, üretim şekillerine ve üretilecek ürüne bağlı olarak çok çeşitli sayıda malzeme taşıma aracı bulunmaktadır. Heragu (2008), belirli bir malzeme taşıma aracının seçilmesinin; mâliyete, şekle, ağırlığa, boyuta, yüklerin hacmine, alan durumuna ve istasyonların türlerine göre değişiklik gösterdiğini belirtmektedir.

Ayrıca malzeme taşıma aracına ilişkin aşağıdaki soruların da bu noktada önem kazandığı belirtilmektedir:

- Esnekliğe izin veriyor mu?
- Ucuz ve bakımı kolay mı?
- Mevcut sistemlerle bütünleştirilebilir mi?
- Üretim verimliliğini önemli derecede artırıyor mu?

Yedi temel malzeme taşıma aracı aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Konveyörler
- Palet taşıyıcıları
- Yük vagonları
- Vinç kolları, vinçler ve yük asansörleri
- Robotlar
- AGV'ler
- Depo malzeme taşıma araçları (Heragu, 2008).

Malzeme taşıma araçları farklı kaynaklarda çoğunlukla benzer olmak üzere farklı şekillerde de sınıflandırılabilmektedir. Hiregoudar ve Reddy (2007), malzeme taşıma araçlarını ana başlık olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

- Konveyörler
- Vinçler
- Endüstriyel kamyonlar
- Konumlandırma donanımları
- Birim yük oluşturma donanımları
- Tanımlama ve haberleşme donanımları

Stephens ve Meyers (2010), malzeme taşıma araçlarının 500'den fazla farklı çeşidinin olduğunu, fakat geleneksel olarak malzeme taşıma araçlarının dört sınıf altında toplanabileceğini belirtmiştir. Bu sınıflar şu şekildedir:

Sabit yol veya noktadan noktaya: Önceden belirlenmiş sabit bir yolda malzeme taşıma araçları hareket eder. En klasik örneği trenler ve konveyörlerdir. Ayrıca bu sınıf *sürekli akış sistemleri* olarak da tanımlanabilir.

Sabit alan: Malzeme taşıma araçlarının sınırlı bir alanda üç boyutlu olarak herhangi bir noktaya erişiminin mümkün olduğu sistemlerdir. Vinçler ve otomatik depolama ve geri getirme sistemleri örnek olarak verilebilir.

Değişken yol-değişken alan: Bu gruptaki donanımlar için yol ve alan sınırlaması yoktur. Manüel veya otomatik taşıma araçları, forkliftler örnek olarak verilebilir.

Yardımcı aletler ve donanım: Paletler, konteynerler, otomatik veri depolama sistemleri gibi diğer sınıflardaki malzeme taşıma araçlarının işleyişinde kullanılırlar.

Benzer şekilde Sule (1994) tarafından da malzeme taşıma araçlarının hizmet edebilecekleri yere göre de karakterize edilebileceği belirtilmiştir. Buna ilişkin sınıflandırma da aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

1. Sabit noktalar arasında ve sabit bir yolda;

Bantlı konveyör, rulolu konveyör, oluklu konveyör, çatalı konveyör, vidalı konveyör, zincirli konveyör, baş üstü tek raylı konveyör, yük arabalı konveyör, tekerlikli konveyör, çekicili konveyör, kovalı konveyör, el araba yönergeli konveyör, pnömatik tüplü konveyör.

2. Sınırlı alanlarda;

Yük asansörleri, baş üstü vinçler, hidrolik makaslı kaldıraçlar.

3. Geniş alanlarda;

El arabaları/yük arabaları, sıralı platformda yük arabaları, manüel kaldırma araçları/palet kaldıraçları, güç destekli el arabaları, güç destekli platform araçları, forkliftler (çakalar), dar koridorlu yük arabaları, çekici römorklu trenler, malzeme kaldıraçları, davullu (İng: Drum) yük arabası, davul kaldırıcı, iki tekerlekli çekici, otomatik yönlendirmeli araç sistemi.

Farklı kaynaklardan da görüldüğü üzere malzeme taşıma sistemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu durumda Stephens ve Meyers (2010)'un belirttiği geleneksel sınıflandırmaya da uygun olarak konveyörler, vinçler ve endüstriyel yük araçları ana başlıkları altında malzeme taşıma araçlarına ilişkin detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir. Esasında malzeme taşıma aracı türü olmayan palet, konteyner gibi yardımcı elemanlar da bir sınıf gibi düşünülerek bazı bilgiler verilmiştir.

Konveyörler

Konveyörler, belirli noktalar arasında sıklıkla malzeme taşınması gerektiği durumlarda, malzemeleri sabit bir yolda hareket ettirmek durumunda ve sabit konveyör yatırımını karşılayacak yeterli akış hacmi olan durumlarda kullanılmaktadır. Konveyörler taşınan malzemenin türüne göre birim yük veya yığın şeklinde olabilirler, konveyörün konumu baş üstü, zemin üzeri veya zemin altı şeklinde olabilir (Hiregoudar ve Reddy, 2007). Konveyörlerin çok sayıda çeşidi

bulunmaktadır. Sektörlere göre de çeşitlilik göstermektedirler. Otomotivde, metal sanayisinde, gıda sanayisinde, hava alanlarında vb. çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Konveyörler daha önceki kısımda da belirtildiği üzere bantlı, rulolu, oluklu, çatalı, vidalı, zincirli, baş üstü tek raylı, yük arabalı, tekerlekli, çekicili, kovalı, el araba yönergeli ve pnömatik tüplü ve spiral şekilde olabilir. Bazı konveyör türlerine ilişkin resimler Şekil 4.2’de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.2 : Bazı konveyör türleri: (a) bantlı konveyör, (b) rulolu konveyör, (c) zincirli konveyör ve (d) spiral konveyör (Url-4).

Konveyörlerin faydaları

- Yüksek kapasiteleri çok sayıda ürün taşımalarına imkân verir.
- Hızları ayarlanabilir.
- Taşıma işlemi, işleme ve kontrol gibi diğer aktivitelerle beraber yürütülebilir.
- Çok yönlüdürler zemin üzerinde veya yüksekte olabilirler.
- İstasyonlar arasında geçici depolamalar mümkündür (Özellikle yüksek konveyörlerde).

- Yük transferi otomatiktir ve çok sayıda operatörün yardımını gerektirmemektedir.
- Düz hat yolları veya koridorlar gerektirmemektedir.
- Yüksek (baş üstü) konveyörlerde iş alanının bütün hacminden faydalanılması olurludur (Sule, 1994).

Konveyörlerin sakıncalı yönleri

- Sınırlı bir alana hizmet vererek sabit bir yol izlerler.
- Sistemde darboğazlar gelişebilir.
- Konveyörün herhangi bir parçasındaki bozulma bütün hattı durdurur.
- Konveyörler pozisyon olarak sabit olduklarından mobil araçların zemin üzerinde hareketini engellerler (Sule, 1994).

Vinçler

Vinçler sınırlı bir alanda malzemeleri yatay veya dikey olarak taşımada, konveyörün kullanılmasını karşılayacak kadar akış hacminin olmadığı durumlarda kullanılmaktadır (Hiregoudar ve Reddy, 2007). Vinçlerin çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları monoray köprü vinçler, monoray tavan vinçler, pergel vinçler, portal vinçler ve çift giriş vinçlerdir (Url-5). Şekil 4.3'te bazı vinç türlerine ilişkin çeşitli resimler bulunmaktadır.

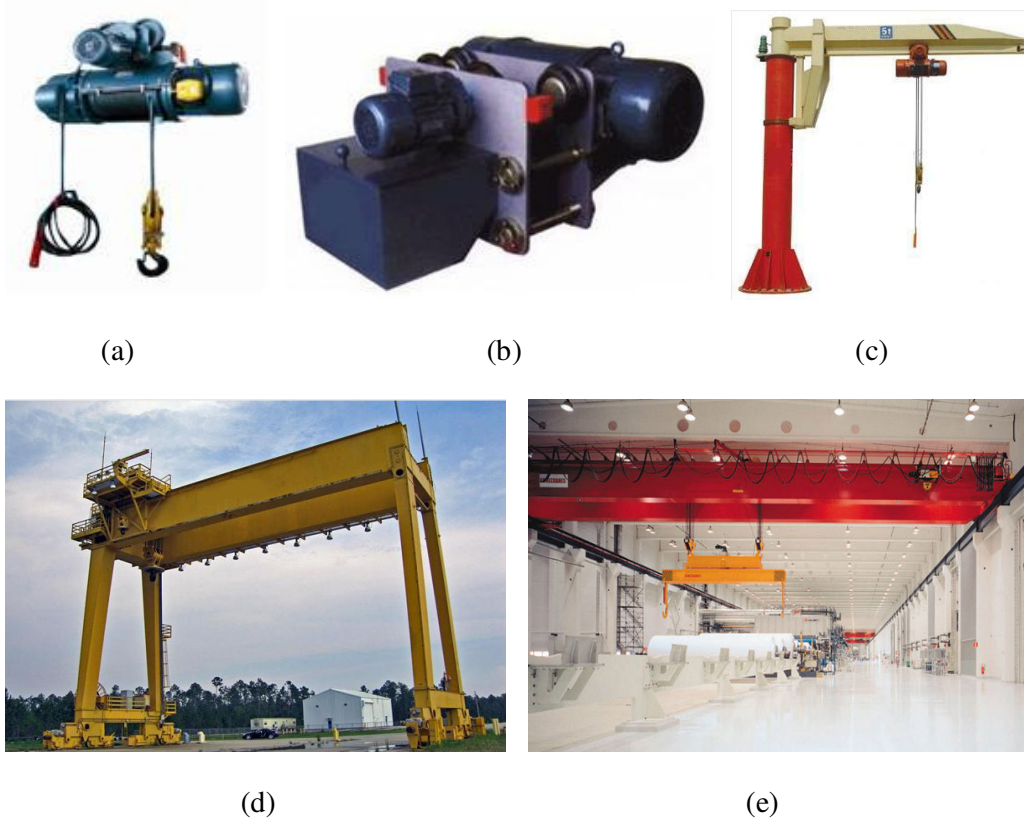
Vinçlerin faydaları

- Malzemelerin kaldırılması aynı zamanda da transferi mümkündür.
- Zemin üzerinde işle ilgili olan durum enküçüklenmektedir.
- Malzeme taşıma aracının kurulumunda kullanılması yerine iş için değerli alan boşluğu korunmaktadır.
- Ağır yüklerin taşınmasında kullanılabilir.
- Malzemelerin yüklenmesinde ve boşaltılmasında kullanılabilir (Sule, 1994).

Vinçlerin sakıncalı yönleri

- Büyük yatırımlar gerektirmektedirler (Özellikle köprülü vinçler).
- Sınırlı bir alana hizmet etmektedirler.
- Bazı vinçler düz bir hatta ilerleyebilirler ve böylece dönüşler yapamazlar.
- Yüksek kullanım oranı istenildiği kadar olmayabilir. Çünkü vinçler günlük işler içerisinde kısa bir zaman aralığında kullanılmaktadır.

- Köprülü kavşak gibi bazı türlerin kullanılabilmesi için bir operatör bulunmalıdır (Sule, 1994).



Şekil 4.3 : Bazı vinç türleri: (a) monoray köprü vinç, (b) monoray tavan vinç, (c) pergel vinç, (d) portal vinç ve (e) çift kirişli vinçlerdir (Url-5).

Endüstriyel yük araçları

Endüstriyel yük araçları, değişken yollar üzerinde sınırlandırma olmaksızın malzemeleri hareket ettirmek için kullanılırlar. Konveyörlere ve vinçlere göre çok daha esnek hareket alanları vardır (Hiregoudar ve Reddy, 2007). En temel yük araçları forkliftler, transpaletler, el arabaları, istif araçları, kısa tren vb. araçlardır. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te bazı endüstriyel yük araçlarına ilişkin resimler gösterilmektedir.

Yük araçlarının faydaları

- Sabit bir yolda hareket etmek durumunda değildirler. Alanın müsait olduğu her yerde kullanılabilirler.
- Malzemeleri transfer etmenin yanısıra yükleme, boşaltma ve kaldırmaya da uygundur (Sule, 1994).

Yük araçlarının sakıncalı yönleri

- Ağır yükleri taşıyamazlar.
- Bir turda sınırlı sayıda kapasiteleri vardır.
- Koridorlara ihtiyaç vardır. Aksi takdirde yük araçları zemin üzerindeki işle karışıklık gösterebilirler.
- Birçok yük aracı bir operatör tarafından kullanılmak zorundadır.
- Yük araçları diğer araçlardaki gibi taşıma esnasında işleme ve muayeneye imkân vermemektedir (Sule, 1994).



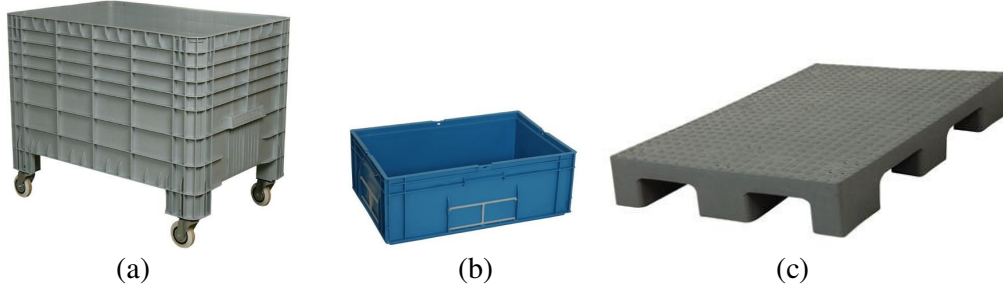
Şekil 4.4 : Transpalet ve istif araçları: (a) transpalet, (b) akülü transpalet, (c) akülü transpalet-platformlu, (d) manüel istif aracı, (e) yarı manüel istif aracı, (f) akülü istif aracı (Url-6).



Şekil 4.5 : (a) Forklift (Url-7), (b) otomatik yönlendirmeli araç (Url-8), (c) kısa tren (Url-9).

4.5 Malzeme Taşımada Kullanılan Yardımcı Donanımlar

Konveyörlerde, vinçlerde ve endüstriyel yük araçlarında malzeme taşıma esnasında kullanılan yardımcı donanımlardır. Şekil 4.6’da bunlardan bazıları olan konteyner, kasa ve paletle ilişkin fotoğraflar gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : (a) konteyner, (b) kasa ve (c) palet (Url-10).

4.6 Malzeme Taşıma Sistemleri Seçiminde Etkin Olan Kriterler ve Tasarım Özellikleri

Farklı üretim ortamları, farklı taşıma araçlarının seçimini olurlu kılmaktadır. Her bir taşıma aracının kullanılmasının uygun olduğu durumlar bulunmaktadır. Örneğin konveyörler temel olarak malzeme akışının sürekli veya sürekliye çok yakın olduğu durumlarda kullanılır. Vinçler ana olarak çok ağır parçaları taşımak için kullanılır. Vinçlerin hareketliliği oldukça sınırlıdır ve çok pahalıdır. Yük araçları ise daha

esnek olarak üretim sahasında kullanılabilmektedir. Temel olarak malzeme taşıma aracı seçimi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

Taşımacak malzeme: Taşımacak hammaddenin veya montaj ürününün tipi, ağırlığı, hacmi, şekli ve boyutu

Hareket: Sıklık, yol, koridor boşluğu ve yükleme/boşaltma mekanizması

Depolama: Depolama yerinin alanı, hacmi, şekli ve boyutları, sütunlar ve diğer engeller. Rafların genişlikleri ve depolamaya ilişkin şirket politikaları

Mâliyetler: Aracın yatırım ve işletme mâliyetleri, faiz oranları, yıpranma payı ve aracın ekonomik ömrü

Diğer faktörler: Çeşitli işleri yapabilmek ve farklı ürünler üzerinde çalışabilmek için esneklik ve aracın eskimesi (Sule, 1994).

Malzeme taşıma araçlarının seçilmesindeki faktörler, Kasilingam (1998) tarafından da şu şekilde belirtilmiştir:

- **Mâliyet yapısı:** Satınalma mâliyeti, işleme mâliyeti, bakım mâliyeti
- **Kapasite:** Ağırlık, hacim, taşımacak malzemenin türü
- **Akış yolu:** Dolaşım yönü, sürekli veya kesikli malzeme akışı
- **Çalışma koşulları:** Nem, sıcaklık, tıkanıklık

İyi bir tasarımda etkin olan özellikler

Malzeme taşıma sisteminin tasarlanmasında olabildiğince amaç ve ilkelerin yerine getirilmesi, daha memnun edici ve etkin tasarımların yapılmasını sağlayacaktır. Tasarımın kalitesini ölçmek için bir değerlendirme sistemi olmasa da iyi bir malzeme taşıma sistemi tasarımı, aşağıdaki özellikleri taşımalıdır (Sule, 1994):

- İyi planlanmış
- Mümkün olduğunca süreçle birleştirilmiş taşıma
- Mümkün olduğunca mekanik
- Minimum manüel taşıma
- Üretim personeli tarafından minimum taşıma
- Güvenli
- Sağlanan malzemenin korunması

- Araç türleri arasında minimum değişim
- Maksimum araç kullanım oranı
- Minimum düzeyde geri izleme, taşıma ve transfer
- Minimum tıkanıklık veya gecikme
- Ekonomik

4.7 Malzeme Taşıma Sistemi Tasarımında Kullanılan Modeller

Malzeme taşıma sistemlerinin seçilmesinde çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bunlar temel olarak üç grupta incelenecektir:

- Deterministik yaklaşım
- Olasılıklı yaklaşım
- Bilgi tabanlı yaklaşım

4.7.1 Deterministik Yaklaşım

Deterministik yaklaşım olarak malzeme taşıma aracı seçimi probleminde karma tamsayılı programlama kullanılmaktadır. Belirli kısıtlar altında en uygun malzeme taşıma aracı seçilmektedir.

Malzeme Taşıma Aracı Seçimi ve Atama Modeli

Malzeme taşıma aracı seçimi probleminde karma tamsayılı programlamayla malzeme taşıma hareketleri, türü ve sayısı belirlenen malzeme taşıma araçlarına atanmaktadır. Burada amaçlanan, malzeme taşıma araçlarının işleme ve yıllık yatırım mâliyetlerinin enküçüklenmesidir. Model kapsamında hareketleri yerine getirebilecek bütün olası malzeme taşıma araç türleri değerlendirilerek en iyi seçim gerçekleştirilir. Modele ilişkin parametreler ve değişkenler aşağıdaki şekildedir.

i: Parça türü indeksi, ($i = 1, 2, \dots, p$)

j: Makine türü indeksi, ($j = 1, 2, \dots, m$)

l: Malzeme taşıma aracı türü indeksi, ($l = 1, 2, \dots, n$)

L_i : Parça “i”yi taşımada kullanılabilecek malzeme taşıma araçları kümesi

H: Planlama periyodunun uzunluğu

D_i : Taşınması gereken parça “i”ye ilişkin yığın sayısı

K_{ij} : Gelecek süreç için parça türü “i” nin makine “j”den gönderilebileceği makine kümesi

M_{ij} : Gelecek süreç için parça türü “i”nin makine “j”ye gönderilebileceği makine kümesi

A_i : Parça türü “i” deki ilk operasyon için gerekli makine türleri kümesi

B_i : Parça türü “i” deki son operasyon için gerekli makine türleri kümesi

V_l : Malzeme taşıma aracı H_l ’nin satınalma mâliyeti

T_{ijkl} : Malzeme taşıma aracı “l” nin kullanılarak, parça türü “i” ye ilişkin bir yığının makine türü “j” den makine türü “k”ya taşınması için gereken süre.

C_{ijkl} : Malzeme taşıma aracı “l”nin kullanılarak, parça türü “i”ye ilişkin bir yığının makine türü “j”den makine türü “k”ya taşınması için gereken birim taşıma mâliyeti.

X_{ijkl} : Malzeme taşıma aracı “l”nin kullanılarak, makine türü “j”den makine türü “k”ya taşınan parça türü “i”ye ilişkin yığın miktarı

Y_l : Seçilen “l” malzeme taşıma araç türü sayısı

Enküçükle

$$\sum_{l=1}^n V_l Y_l + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} C_{ijkl} X_{ijkl} \quad (4.9)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in A_i} \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4.10)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} - \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, p \quad j: j \notin A_i \cup B_i \quad (4.11)$$

$$\sum_{j \in B_i} \sum_{k \in M_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_{ij}} T_{ijkl} X_{ijkl} \leq H Y_l \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (4.13)$$

$$X_{ijkl} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,m; l=1,2,\dots,n \quad (4.14)$$

$$Y_l \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad l=1,2,\dots,n \quad (4.15)$$

Modele ilişkin amaç fonksiyonu (4.9) sadece operasyon mâliyetlerini düşürmez, aynı zamanda malzeme taşıma aracı satınalma mâliyetlerini de düşürür. Ağ akış kapsamında kısıt (4.10) sayesinde ilk düğümde (kaynakta) oluşturulan “akış”, işlenecek parça sayısına eşitlenir. Diğer bir ifadeyle, ilk operasyondan sonra sırasıyla makinelerden ayrılan her bir parçaya ilişkin yığın sayısı, o parçaya ilişkin transfer edilecek yığın sayısına eşittir. Bu yığınlar kısıt (4.12) sayesinde en son talep düğümü tarafından dengelenmektedir. Kısıt (4.11), malzeme dengeleme ifadesidir. İhtiyaç duyulan makinelere karşılık gelen ara taşımaları (ilk ve son hariç) ifade eder. Alınan her türlü yığın, gelecek aşamada kendi düğümüne geçiş yapar. Böylece her ara kademedeki makinelere gelen parçalar, diğer işleme süreci için uygun makinelere gönderilirler. Kısıt (4.13) ise malzeme taşıma aracının kapasitesinin aşılmaması gerektiğidir. Değişkenlere ilişkin kısıtlar ise tamsayılı kısıtlar olduğundan, makineler arasında malzeme taşıyacak malzeme taşıma araçlarının gereken sayısı belirlenecektir. Malzeme taşıma araçları üzerinde eğer yük sınırları varsa bu, uygun oklarla kapasiteler tanıtılarak yerine getirilebilir. Bu, X_{ijkl} değişkenlerinin aynı zamanda bir üst sınırının olacağı anlamına da gelir. Model dal sınır algoritması kullanılarak çözülebilir (Heragu, 2008).

4.7.2 Olasılıklı Yaklaşım

Bir önceki yaklaşımda, bütün gereken bilgilerin kesinlik içinde bilindiği varsayılmıştır. Gerçekte, her zaman bu lükse sahip değiliz. Örneğin, tam olarak hangi parça türünden ne kadar üretileceğini bilemeyiz. Böylece, malzeme taşıma gereksiniminin neler olduğu da tam olarak bilinemez. Benzer şekilde, malzeme taşıma araçlarına ilişkin hizmet oranı deterministiktir. Fakat gerçekte, süreç değişkenliğinden, araç hataları, bakım, operatör yokluğu gibi nedenlerden ötürü hizmet oranı olasılıklı olabilir. Örnek olarak, geçmiş hizmet sürelerine ilişkin inceleme servis süresinin ortalaması 5 dakika olan üstel dağılıma uygun olduğunu belirtebilir. Bu tür koşullar altında kuyruk tabanlı ve benzetim modelleri sistem performansının tahmin edilmesinde oldukça faydalı araçlardır. Kuyruk tabanlı modeller daha kolay modellenebilir ve çözülebilir. Gereken ana veri parçaların varış oranları ve malzeme taşıma araçlarının hizmet oranlarıdır (Heragu, 2008).

Deterministik yaklaşımda bütün gereken bilgiler kesin olarak bilinirken gerçek hayatta bütün bilgiler kesin değildir. Örnek olarak hangi parça türünden ne kadar

üretileceği, malzeme taşıma araçlarına ilişkin hizmet oranı kesin olarak bilinmemektedir. Bu tür koşullar altında sistemin performansının tahmin edilmesinde iki tür model kullanılmaktadır:

- Kuyruk tabanlı model
- Simülasyon tabanlı model

Her iki yaklaşımın da birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Simülasyon modelleri örnek olarak çok zaman alıcıdır. Fakat çok karmaşık senaryoların modellenmesinde kullanılabilir. Kuyruk tabanlı modeller ise kural koyuculuktan öte tanımlayıcıdır. Sistemin nasıl tasarlanacağı noktasında kural koymazlar. Belirli bir sistem tasarımı için sistemin nasıl davranacağını açıklarlar. Kuyruk tabanlı modeller daha kolay modellenabilir ve çözülebilir. Gereken ana veri, parçaların varış oranları ve malzeme taşıma araçlarının hizmet oranlarıdır. Eğer olurlu çözüm kümesi var ise kuyruk tabanlı modeller belirli ölçütlere göre hangi sistemin daha iyi sonuçlar vereceği noktasında kullanılabilirler (Heragu, 2008).

4.7.3 Bilgi Tabanlı Yaklaşım

Bilgi tabanlı yaklaşım kapsamında uzman sistemler kullanılmaktadır. Uzman sistemler, karar verme sürecinde insan uzmanı taklit eden bilgisayar programlarıdır. Malzeme taşıma aracı seçimi problemi, bilgi yoğun ve çok çeşitli birbirine baskın gelemeyen çözümlerin olduğu, birbiriyle çelişen amaçların olduğu bir problem türü olduğu için uzman sistemlerin kullanılması önerilmiştir (Heragu, 2008).

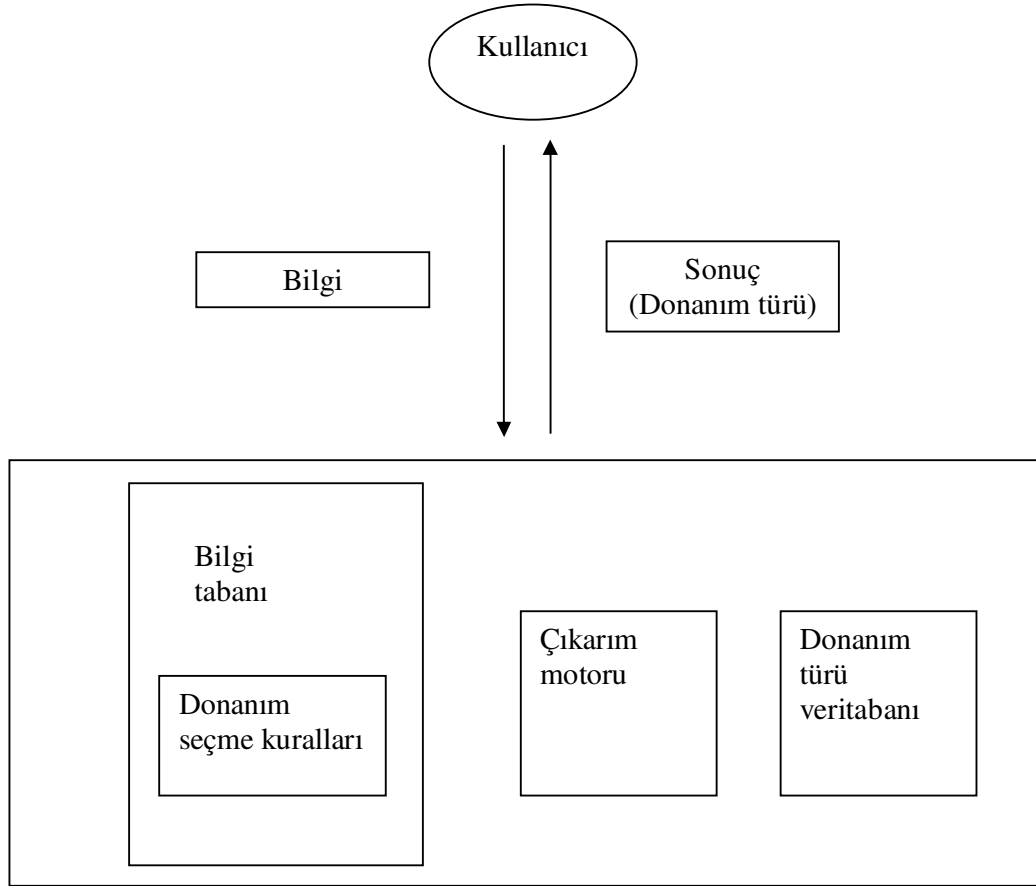
Genel olarak uzman sistemler bir kullanıcı arayüzü, açıklama kısmı, çıkarım mekanizması ve bilgi tabanından oluşmaktadır. Bilgiler semantik ağlar, üretim kuralları ve çerçeveler kullanılarak depolanır. Semantik ağlar, nesneler arasındaki ilişkileri açıklar, üretim kuralları (veya eğer-sonra) bu kuralların nasıl uygulanacağını belirler ve çerçeveler ise nesnelere ilişkin özellik bilgilerini içerir. Aşağıdaki gibi bir üretim kuralı kullanılarak çıkarım motoru uygun kararlar verebilir.

EĞER (malzeme birim yük türünde) VE

(yükleme/boşaltma seviyesi 30 ile 45 metre arasında) VE (yük 2500lb'den az ise)

SONRA (yan yüklemeye yapan araca ihtiyaç duyulur).

Çıkarım mekanizmasında bilgi tabanı ve kullanıcı cevaplarından elde edilen bilgiler kullanılarak endüstriyel araçların türleri belirlenir (Heragu, 2008). Garcia-Diaz ve Smith (2008) tarafından bir karar destek sisteminin yapısı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

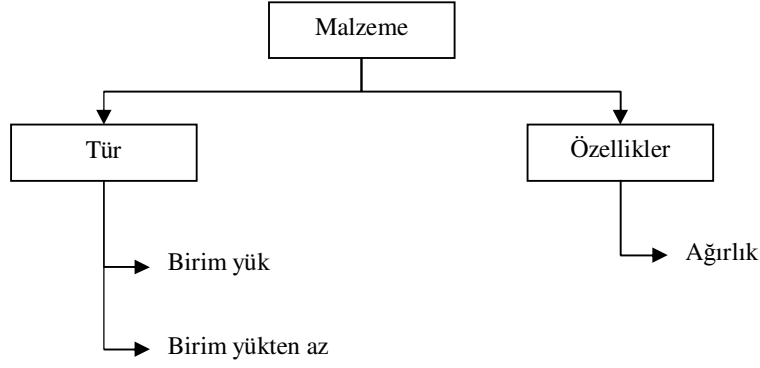


Şekil 4.7 : Karar destek sisteminin yapısı (Garcia-Diaz ve Smith, 2008).

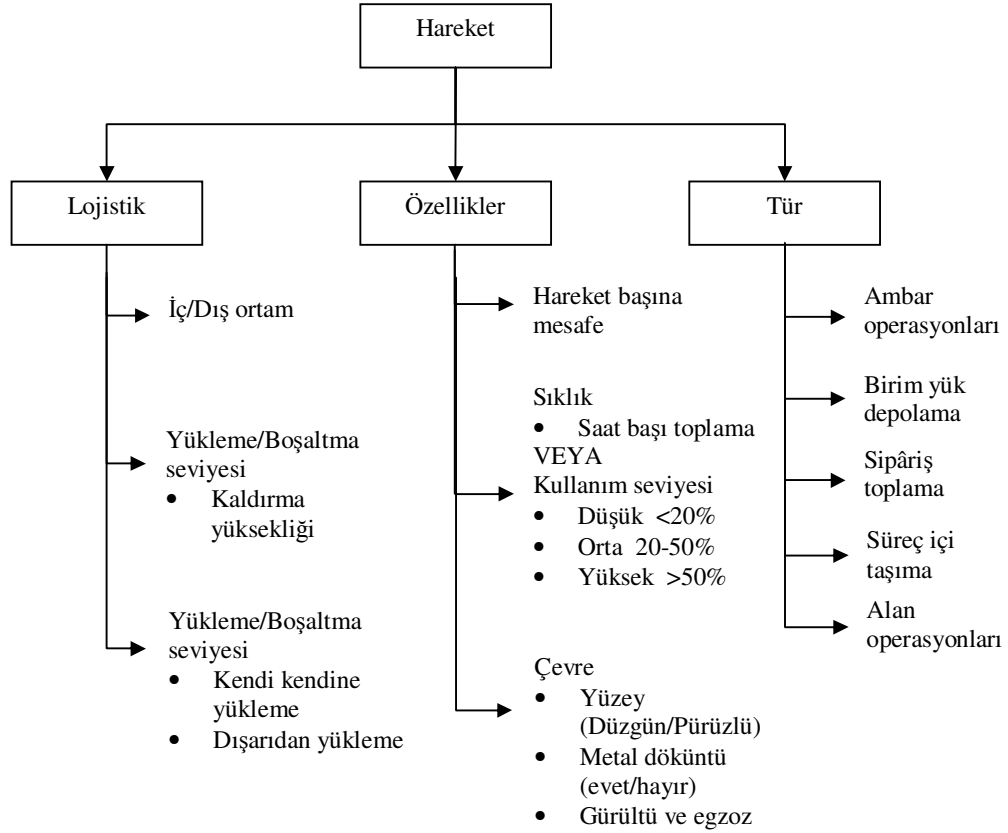
Uzman sistemlerde bilgi gösterimi “malzeme taşıma eşitliğine” dayanmaktadır. Bu eşitliğe ilişkin bileşenler Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Malzeme taşıma eşitliği aşağıdaki şekildedir (Heragu, 2008):

$$\text{“Malzeme + Hareket = Metot”}$$

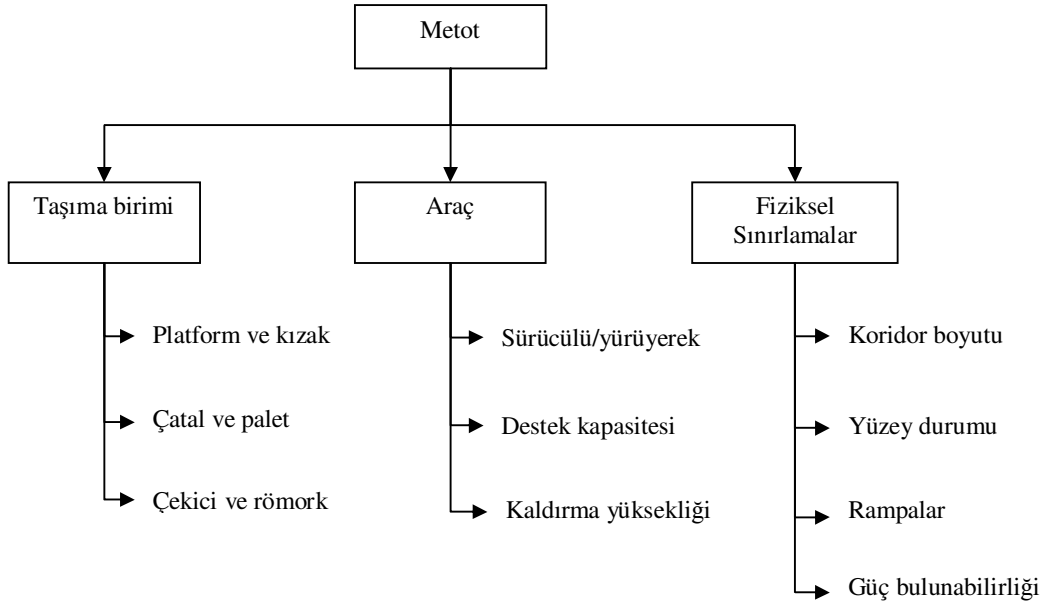
Bu eşitlikte, malzemeyi ilgilendiren sorular malzemelerin türlerini, boyutlarını, şekillerini, miktarlarını ve ağırlıklarını içerir. Hareketleri ilgilendiren konular; kaynakları, gidecekleri yeri, uzunluğu, hareketin frekansını ve hareketin süresini içerir. Metot da bu elde edilen bilgilere göre belirlenir (Sule, 1994).



Şekil 4.8 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde malzeme boyutu içeriği (Heragu, 2008).



Şekil 4.9 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde hareket boyutu içeriği (Heragu, 2008).



Şekil 4.10 : “Malzeme + Hareket = Metot” eşitliğinde metot boyutu içeriği (Heragu, 2008).

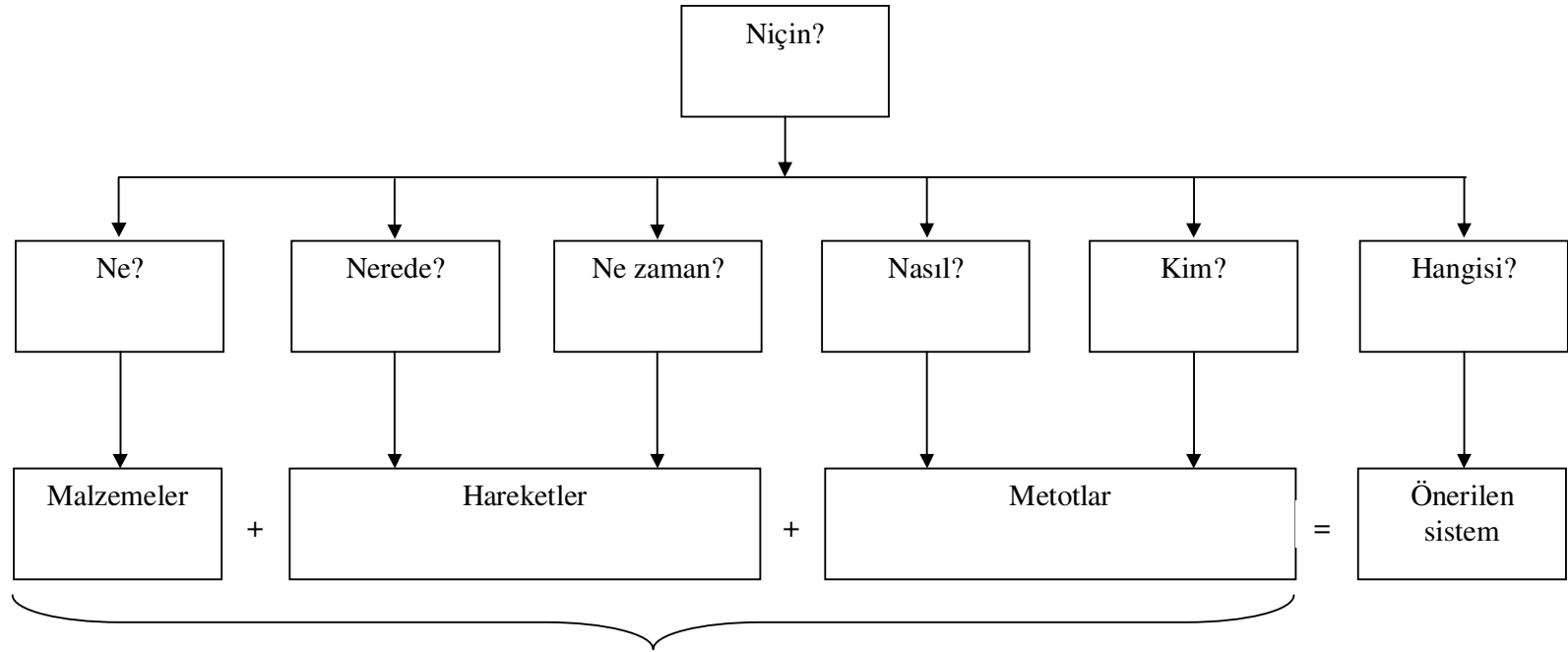
Malzeme taşıma eşitliği, Tompkins ve diğerleri (2010) tarafından da Şekil 4.11’ deki gibi gösterilmiştir. İlgili şekildeki soru başlıklarının detayları aşağıdaki şekildedir:

“**Ne**” sorusu:

- Hareket ettirilecek malzeme türleri nelerdir?
- Malzemelerin özellikleri nelerdir?
- Taşınacak ve depolanacak miktarlar nelerdir?

“**Nerede**” sorusu

- Malzeme nereden geliyor? Nereden gelmeli?
- Malzeme nereye dağıtılıyor? Nereye dağıtılmalı?
- Malzeme nerede depolanıyor? Nerede depolanmalı?
- Malzeme taşıma işleri nerede elimine edilebilir, birleştirilebilir veya basitleştirilebilir?
- Mekanizasyon veya otomasyonu nereye uygulayabilirsiniz?



Şekil 4.11 : Malzeme taşıma sistemi eşitliği (Tompkins ve diğerleri, 2010).

“Ne zaman” sorusu

- Malzemeye ne zaman ihtiyaç duyulur? Ne zaman taşınmalıdır?
- Mekanikleştirme ve otomatikleştirme ne zaman yapılmalıdır?
- Malzeme taşıma performans denetimi ne zaman yapılmalıdır?

“Nasıl” sorusu

- Malzeme nasıl taşınır veya depolanır? Malzeme nasıl taşınmalıdır veya depolanmalıdır? Malzemeyi taşımaya ve depolamaya ilişkin alternatifler nelerdir?
- Malzeme nasıl izlenir? Malzeme nasıl izlenmelidir?
- Problem nasıl analiz edilmelidir?

“Kim” sorusu

- Malzemeyi taşıyan kim olmalı? Malzeme taşıma işini yapan için gerekli yetenekler neler olmalıdır?
- Malzeme taşıma sistemlerinin hizmet ve bakımı için kimler eğitilmeli?
- Sistemin tasarlanması işine kimler dâhil olmalı?

“Hangisi” sorusu

- Hangi malzeme taşıma operasyonları gereklidir?
- Hangi tür malzeme taşıma donanımları değerlendirmeye alınmalıdır?
- Hangi malzeme taşıma sistemi mâliyet açısından etkindir?
- Hangi alternatif tercih edilir?

Geliştirilen uzman sistemler, Fonseca ve diğerlerinin (2004) konveyör seçimi üzerine geliştirdikleri uzman sistem gibi dar bir alana ilişkin olabileceği gibi, Kulak (2005)’in geliştirdiği bütün malzeme taşıma araç türleri arasından seçim yapabilecek kapsamda da olabilir.

Malzeme taşıma sistemlerine ilişkin incelemeler sonucu ve daha önce yalın üretim ve yalın lojistiğe ilişkin bölümde de belirtildiği üzere, yalın üretim ortamlarında uygun olan taşıma sistemi, geniş alanlarda esnek hareket edebilen döngüsel seferler yapan kısa trendir.

Yalın üretim ortamında döngüsel seferler yapan kısa trenin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

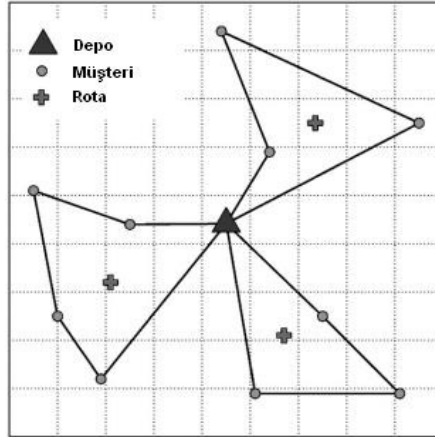
- Sabit bir alana bağlı olmadığı için, üretim yapısındaki değişikliklere uyum sağlama esnekliğine sahiptir.
- Birçok stok talep noktasını periyodik olarak besleyebilecek fiziksel kapasiteye sahiptir.
- Takılabilir vagonlarıyla esnek bir kapasitesi bulunmaktadır.
- Yatırım mâliyeti çok yüksek değildir.
- Kullanılması kolay bir malzeme taşıma aracıdır.

5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

İç lojistik sistemi tasarımıda önemli noktalardan biri de araç rotalama problemidir. Uygun taşıma araçlarının seçilmesinden sonra rotalamanın da doğru yapılması önemlidir. Farklı koşullara göre farklı araç rotalama problemleri uygun olabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında değerlendirmeye alınan döngüsel seferler yapan kısa trenin, hangi rotalarla, hangi zaman periyotlarında ilgili stok talep ve arz noktalarını dolaşacağını belirlenmesi araç rotalama probleminin konusu olduğu için, bu bölümde detaylı bir şekilde araç rotalama problemi ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Araç rotalama problemi, belirli bir araç filosu tarafından verilen bir müşteri kümesine hizmet vermek üzere en iyi rota kümesinin belirlenmesine dayanmaktadır. Genel olarak bir araç rotalama problemindeki bileşenler Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Araç rotalama probleminde depo, müşteri ve rotalar (Ai, 2009).

Araç rotalama problemlerinde temel olarak ele alınan amaçlar aşağıdaki şekildedir:

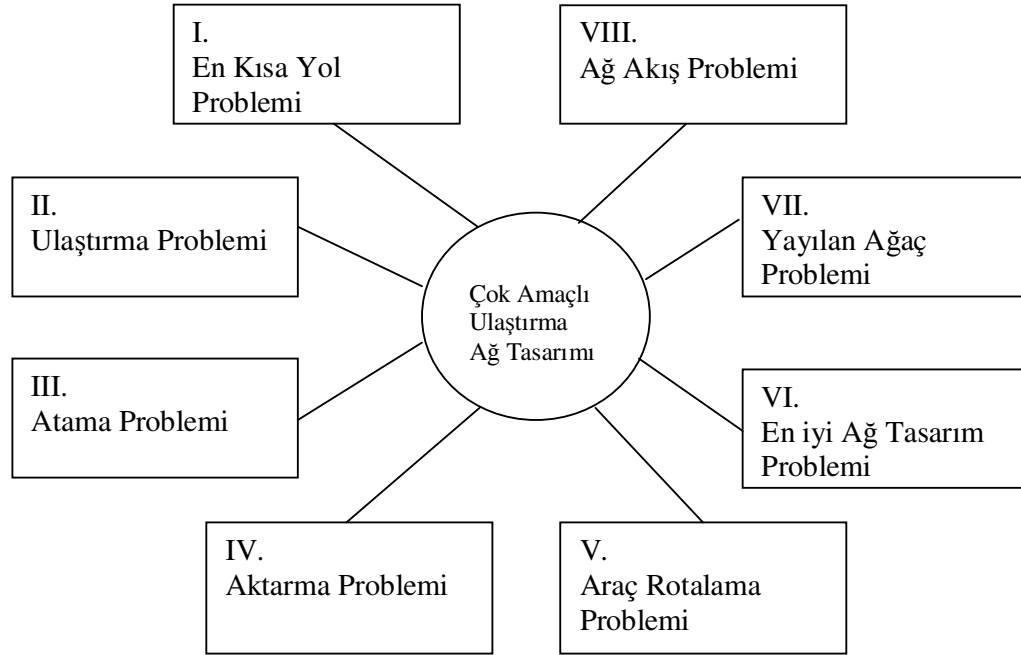
- Taşınan mesafeye ve kullanılan araçların sabit mâlîyetlerine bağlı olarak global taşıma mâlîyetinin enküçüklenmesi
- Bütün müşterilere hizmet vermek için gerekli olan araç sayısının enküçüklenmesi

- Seyahat süresi ve araç yükü açısından rotaların dengelenmesi
- Müşterilere sunulan kısmi hizmetle ilişkili olarak oluşan ceza mâliyetlerinin enküçüklenmesi (Toth ve Vigo, 2002).

Araç rotalama problemlerinde en sık kullanılan operasyonel kısıtlar ise Ghiani ve diğerleri (2004) tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

- Araç sayısı m sabit olabileceği gibi, üst sınırı olan bir karar değişkeni şeklinde de olabilir.
- Araç tarafından taşınan toplam miktar, herhangi bir anda aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Herhangi bir rotanın süresi, bir vardiyalık çalışma süresini aşmamalıdır.
- Müşterilerin önceden belirlenmiş zaman aralıklarında ziyaret edilmesi gerekmektedir.
- Bazı müşterilere özel araçlarla hizmet verilmelidir.
- Bir müşteriye yapılan hizmet sadece bir araçla gerçekleştirilmelidir ya da farklı araçlar arasında paylaştırılarak yapılabilir.
- Müşterilere öncelik ilişkilerine göre hizmet verilmelidir.

Araç rotalama probleminin sınıflandırılmasına yönelik en güncel ve kapsamlı çalışma, Ekşioğlu ve diğerleri (2009) tarafından yapılmıştır. Toplamda 1.494 yayın taranmış ve çeşitli ölçütlere göre tasniflenmiştir. Değerlendirmede kullanılan ana ölçütler; çalışmanın türü, senaryo özellikleri, problemin fiziksel özellikleri, bilgi özellikleri ve veri karakteristikleridir. Makalelerde dikkat çeken nokta, iç lojistikle alakalı yayın sayısının azlığıdır. Makalede araç rotalama problemi, çok amaçlı ulaştırma ağ tasarımı problemlerinin bir dalı olarak sunulmuştur. Çok amaçlı ulaştırma ağ tasarımı ve alt dalları Şekil 5.2’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : Çok amaçlı ulaştırma ağ tasarımı probleminin alt dalları (Ekşioğlu ve diğerleri, 2009).

İlk olarak Dantzig ve Ramser (1959) tarafından sunulan “Araç Dağıtım” problemine ilişkin ilk makaleden sonra çok gelişmeler olmuştur. Ana probleme ilişkin birçok değişik varyasyonlar sunulmuştur. Araç rotalama problemi, klasik araç rotalama problemi (Tek bir deposu olan, kapasite ve rota uzunluğu kısıtları olan), zaman pencereli araç rotalama problemi, envanter rotalama problemi, stokastik araç rotalama problemi ve dağıtım toplamalı araç rotalama problemi olarak sınıflandırılabilir (Barnhart ve Laporte, 2007).

Araç rotalama problemi, zor kombinatoriyel eniyileme problem türüne girmektedir. Tam sonuç veren algoritmalar ancak çok küçük problemlerin çözülmesinde kullanılabilir. Gerçek uygulamaların çözülmesinde sezgiseller etkin olarak kullanılmaktadır. Makro düzeyde, araç rotalama problemine ilişkin sezgiseller aşağıdaki dört bileşenin kombinasyonundan oluşmaktadır:

- Başlangıç çözümün oluşturulması
- Geliştirme prosedürleri
- Popülasyon mekanizmaları
- Öğrenen mekanizmalar (Cordeau, 2005).

Araç rotalama problemi, aşağıdaki ana başlıklar altında incelenecektir. Bu ana başlıklar tam olarak birbirinden bağımsız durumları içermemekte, birden fazla başlıkla ilgili problem türleri de bulunabilmektedir:

1. Klasik araç rotalama problemi
2. Zaman pencereli araç rotalama problemi
3. Envanter rotalama problemi
4. Stokastik araç rotalama problemi
5. Dağıtım toplamalı araç rotalama problemi

Araç rotalama problemlerinin yukarıdaki temel sınıflandırmasına ek olarak aşağıda belirtilen şekillerde de daha özel bazı problemler literatürde görülmektedir:

Açık araç rotalama problemi: Dağıtım yapan araçların depoya geri dönme zorunluluğunun olmadığı rotalama problemleridir (Erbao ve Mingyong, 2010).

Periyodik araç rotalama problemi: Her bir müşterinin belirli bir sayıda bir ziyarete gereksinim duyduğu, tekrarlı bir dağıtım veya toplamının sözkonusu olduğu araç rotalama problemidir (Hemmelmayr ve diğerleri, 2009).

Ayrık toplamalı/dağıtımlı araç rotalama problemi: Herhangi bir tedârikçinin birden fazla araç tarafından ziyaret edilebildiği araç rotalama problem türüdür (Lee ve diğerleri, 2006).

Yüklemeyle bütünleşmiş araç rotalama problemi: Araçların etkin bir şekilde yüklenmesi ve rotalamanın birlikte ele alındığı problemidir (Fuellerer ve diğerleri, 2010).

Heterojen araç yapılı rotalama problemi: Dağıtım veya toplama yapan araçların heterojen yapıda olduğu problem türüdür (Brandao, 2011).

5.1 Klasik Araç Rotalama Problemi

Klasik araç rotalama problemi, gezgin satıcı problemini genelleyen, bundan dolayı NP-zor türü problem olan kombinatoriyel eniyilemede en popüler konulardan biridir.

Araç rotalama problemi genelde kapasite ve rota uzunluğu sınırları altında tanımlanmaktadır. Sadece kapasite sınırları varsa, bu durumda problem *Kapasite Sınırlı Araç Rotalama Problemi* olarak geçer. Hem tam sonuç veren, hem de sezgisel olan birçok çözüm yöntemi bulunmaktadır. Tam sonuç veren algoritmaların birçoğu da kapasite sınırları düşünülerek geliştirilmektedir. Fakat bunlardan çoğu, üzerinde gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra uzaklık kısıtlı problemlere dönüşmektedir.

Buna zıt olarak da birçok sezgiselde açık bir şekilde her iki kısıt da uygulanmaktadır (Barnhart ve Laporte, 2007).

Formüller

Simetrik araç rotalama problemi, yönü olmayan tam bir grafik üzerinde tanımlanmıştır. $G=(V,E)$, $V=\{0,\dots,n\}$ kümesi köşe kümedir. Her köşe $i \in V \setminus \{0\}$ negatif olmayan talebi q_i olan bir müşteriyi temsil etmektedir. Köşe 0 ise depoya karşılık gelmektedir. Her kenar $e \in E = \{(i,j): i,j \in V, i < j\}$ ise bir dolaşım mâliyeti c_e veya c_{ij} ile ilişkilidir. Her birinin kapasitesi Q olan m benzer araca ilişkin bir filo depoda hazır bulunmaktadır. Simetrik araç rotalama problemi, toplam dolaşım süresinin enküçüklendiği m rotanın belirlenmesine ilişkindir. Öyle ki:

- Her bir müşteri, bir rota tarafından tam olarak bir kere ziyaret edilir.
- Her rota, depoda başlar ve depoda biter.
- Bir rotanın hizmet verdiği müşterilerin toplam talebi, araç kapasitesi Q 'yu geçemez.
- Her rotanın uzunluğu önceden belirlenmiş olan L limitini geçemez.

Araç rotalama problemlerinde sabit bir hız varsayımında bulunmak yaygındır. Dolayısıyla mesafeler, dolaşım süreleri ve dolaşım mâliyetleri benzer olarak değerlendirilmektedir.

Laporte (1985) tarafından önerilen kapasiteli araç rotalama probleminin gösterimi aşağıdaki gibidir.

(KARP) enküçükle

$$\sum_{e \in E} c_e x_e \quad (5.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{e \in \delta(i)} x_e = 2, \quad i \in V \setminus \{0\}, \quad (5.2)$$

$$\sum_{e \in \delta(0)} x_e = 2m, \quad (5.3)$$

$$\sum_{e \in \delta(S)} x_e \geq 2r(S), \quad S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset, \quad (5.4)$$

$$x_e \in \{0,1\}, \quad e \notin \delta(0), \quad (5.5)$$

$$x_e \in \{0,1,2\}, \quad e \in \delta(0). \quad (5.6)$$

Amacın (5.1) dolaşım mâliyetini enküçüklemek olduğu bu formülde, ikinci kısıt (5.2) her müşterinin bir defa ziyaret edildiği, depo kısıtı (5.3) ise m rotanın oluşturulduğu anlamına gelmektedir. Kapasite kısıtları (5.4), köşeleri içeren her bir alt kümeye yeterli sayıda kenarları zorlayarak, hem çözüm bağıını hem de araç kapasite gereksinimlerini zorunlu kılar. (5.5) ve (5.6) kısıtlarında ise iki müşteri arasındaki her kenar üzerinden en fazla bir kere geçilir ve depoya komşu olan her kenar üzerinden ise en fazla iki kere geçilmektedir. İkinci durumda araç bir müşteriyi ziyaret edecek şekilde bir rota çizmektedir.

Kapasite kısıtlı rotalama problemine ilişkin ikinci formül ise, küme parçalama (İng: Set Partitioning) ve küme kaplama (İng: Set Covering) modelleri üzerine kurulmuştur.

Kapasiteli araç rotalama problemleri için tam sonuç veren algoritmalar ve sezgiseller bulunmaktadır.

Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri (KARP) İçin Tam Algoritmalar

KARP'nin çözümü için son 20 yılda sunulan ana yaklaşımlar şu şekildedir:

- Dal sınır ve küme parçalama tabanlı algoritmalar
- Dal Kesme Algoritmaları

Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri (KARP) İçin Sezgiseller

KARP için geliştirilen sezgiseller ise klasik sezgiseller ve meta-sezgiseller olarak ayrılabilir.

Klasik sezgiseller temel olarak aşağıdaki gibi üç sınıfa ayrılabilir:

- Rota oluşturma sezgiselleri
- İki aşamalı sezgiseller
- Rota geliştirme sezgiselleri

Araç rotalama problemine birçok meta-sezgisel de uygulanmıştır. Klasik sezgisellere bağlı olarak çözüm uzayında daha geniş bir arama yaparlar ve yerel bir en iyi sonuçla bitmeleri daha az muhtemeldir. Ana olarak üç sınıfa ayrılırlar:

- (1) Yerel arama: Tavlama benzetimi, deterministik tavlama ve tabu araştırmasını içerir.
- (2) Popülasyon araştırma: Genetik arama ve intibak edici hafıza prosedürlerini içerir.

- (3) Öğrenme mekanizması: Yerel sinir ağlarını ve karınca kolonisi eniyilemesini içermektedir (Barnhart ve Laporte, 2007).

5.2 Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

Zaman pencere araç rotalama problemi (ZPARP) kapasite kısıtlarının uygulamada olduğu ve her bir müşterinin zaman penceresi olarak adlandırılan $[e_i, l_i]$ gibi bir zaman aralığıyla ilişkili olduğu kapasiteli araç rotalama probleminin genelleştirilmiş halidir (Toth ve Vigo, 2007).

Müşterilerin belirlenen zaman aralıklarında hizmet görmesi gerekmektedir. Bu duruma örnek olarak perakende satış mağazaları verilebilir. Mağazanın yoğun olduğu aralıkta mal kabulü yapılmamaktadır. Ancak belirli zaman aralıklarında yapılmaktadır. Müşterinin hizmet alabileceği zaman aralıklarından e_i ($i \in U$) en erken zamanı, l_i ($i \in U$) en geç zamanı gösterebilir. Benzer şekilde e_0 ve l_0 'da sırasıyla depodan en erken ayrılış ve depoya en geç geliş zamanını gösterebilir. Bu durumda müşterilere hizmetin başlama zamanını gösteren ve karar değişkeni olan b_j ($j \in U$) eşitlik (5.7)'deki gibi ifade edilir.

$$b_j = \max \{e_j, b_i + s_i + t_{ij}\}, \quad j \in U \quad (5.7)$$

Burada i, j 'den önce ziyaret edilen müşteriyi göstermekte, t_{ij} , müşteri i ve j arasındaki en kısa dolaşım süresini ifade etmekte ve s_i de müşteri i 'ye ilişkin hizmet süresini belirtmektedir (Ghiani ve diğerleri, 2004).

ZPARP, NP-zor türü bir problemdir. Çünkü kapasiteli araç rotalama problemini her müşteri için $e_i = 0$ ve $l_i = \infty$ olduğu zaman genelleştirir. Sabit filo büyüklüğü olduğu durumlarda olurlu çözüm bulmak bile kendi başına bir NP-tam problemidir. Sonuç olarak, ZPARP üzerindeki araştırmalar sezgiseller üzerinde yoğunlaşmıştır. Buna rağmen, problem yeterince kısıtlandığı zaman, (zaman aralıkları yeterince dar) matematiksel programlama teknikleriyle gerçek boyutlu durumlar en iyi olarak çözülebilir. Tam sonuç veren metotlar genellikle mesafeyi kısaltırken, birçok sezgisel öncelikle araç sayısını, daha sonra da mesafeyi kısaltan hiyerarşik bir yapıya sahiptir (Barnhart ve Laporte, 2007).

Tam sonuç veren algoritmalar olarak temelde Lagrange gevşetme tabanlı algoritmalar, sütun üretme algoritmaları ve dal kesme algoritmalarıdır.

Zaman pencereli araç rotalama problemleri için kullanılan sezgiseller ise ana olarak üç sınıfa ayrılabilir. Bunlar; yapı sezgiselleri, geliştirme sezgiselleri ve meta-sezgisellerdir (Barnhart ve Laporte, 2007).

5.3 Envanter Rotalama Problemi

Envanter rotalama problemi, belirli bir planlama ufkunda tek bir ürünün tek bir tesisten n adet müşteri kümesine tekrarlı dağıtımı ile ilişkilidir. Müşteriler ürünü belirli bir hızda tüketmektedirler ve ellerinde bulundurabilecekleri maksimum bir stok miktarı bulunmaktadır. Belirli kapasitedeki m araç dağıtım yapmak üzere hareket eder. Amaçlanan, planlama ufkunda müşterilerin stoksuz kalmadan, en düşük dağıtım mâliyetiyle hizmet görmelerinin sağlanmasıdır. Belirlenmesi gereken üç karar; müşteriye ne zaman hizmet götürüleceği, müşteriye ne kadar hizmet götürüleceği ve hangi dağıtım rotalarının kullanılması gerektiğidir. Envanter rotalama problemini diğer rotalama problemlerinden ayıran, müşterilerin siparişlerinden ötürü müşterilerin kullanım oranlarına bağlı olmasıdır.

Envanter rotalama problemi, formüle edilmesi zor, çözülmesi neredeyse imkânsız olan uzun dönemli bir problemdir. Bu nedenle yapılan çalışmaların çoğu kısa dönemli planlamayı ele almaktadır. Diğer bir nokta da, elde tutma mâliyetlerinin problem tanımında yer almamış olmasıdır (Campbell ve diğerleri, 1998).

Envanter rotalama problemi deterministik ve stokastik olarak iki türe ayrılabilir. Envanter rotalama problemlerinin çözülmesi için yaklaşım seçilebilir. Bunlar zaman ve frekans yaklaşımıdır. Zaman yaklaşımı, tek bir gün gibi sınırlı bir planlama ufkunun olduğu durumlarda iyi bir şekilde uygulanabilmektedir. Frekans yaklaşımı ise periyodik ve uzun dönemli operasyonların olduğu durumlarda uygundur (Zhao, 2008).

5.4 Stokastik Araç Rotalama Problemi

Stokastik araç rotalama problemleri deterministik araç rotalama problemlerinin bazı bileşenlerin rastsal olduğu genişletilmiş halidir. Sıklıkla karşılaşılan üç türü aşağıdaki şekildedir (Barnhart ve Laporte, 2007):

- (1) Stokastik müşteriler: Müşteri i p_i olasılıkla mevcuttur ve $(1-p_i)$ olasılıkla mevcut değildir.

(2) Stokastik talepler (Toplanacak olanlar): Müşteri i 'nin talebi rastsal değişkendir.

(3) Stokastik süreler: Müşteri i 'ye ilişkin hizmet süresi s_i ve köşeler (i,j) 'ye ait dolaşım süresi t_{ij} olmak üzere rastsal değişkenlerdir.

Stokastik araç rotalama problemi, deterministik araç rotalama problemine göre daha zordur. Bunun nedeni sadece çözüm yaklaşımının farklı olmasından değil aynı zamanda deterministik durumda geçerli olan bazı olayların, stokastik durumda geçerli olmamasıdır. Bazı verilerin rastsal olmalarından dolayı yeni olurluluk ve en iyiyi veren kavramlar gerekmektedir.

Stokastik araç rotalamaya ilişkin birçok alanda uygulamalar görülmektedir. Yemek dağıtılması, depolarda forklift rotalama, banka şubeleri arasında para toplama ve genel toplama ve dağıtım operasyonları, bu noktada örnek olarak gösterilebilir.

Stokastik araç rotalama problemleri, stokastik programlama kapsamında formüle edilebilmekte ve çözülebilmektedir. İlk etapta öncül bir çözüm hesaplanır. Rastsal değişkenlerin gerçekleşmesi daha sonra açığa çıkar ve sonrasında ikinci aşamada yeniden dönme ve düzeltme hareketi, ilk aşamadaki çözüme uygulanır (Barnhart ve Laporte, 2007).

5.5 Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi

Dağıtım toplamalı araç rotalama probleminin en temel türünde her bir “ i ” müşterisi, dağıtılacak miktarı ifade eden “ d_i ” ve toplanacak miktarı ifade eden “ p_i ” ifadeleriyle ilişkilidir. Her bir müşteri noktasında dağıtım toplamadan önce yapılmaktadır (Toth ve Vigo, 2007).

Dağıtım toplamalı araç rotalama probleminin üç türü bulunmaktadır (Nagy ve Salhi, 2005):

- *İlk olarak dağıtım, sonra toplama:* Araçlar ürünleri dağıttıktan sonra toplamaya başlarlar.
- *Karışık toplama dağıtım:* Dağıtım ve toplamamanın herhangi bir sıraya bağlı olmadığı problem türüdür.
- *Eşzamanlı toplama ve dağıtım:* Araçların eşzamanlı olarak toplamayı ve dağıtımını yaptığı problem türüdür.

Dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri için tek araçlı ve çok araçlı olmak üzere iki tür sınıflandırma yapıldığında, tek araçlı problemlerde tam sonuç veren algoritmalar; dal-sınır algoritması, dinamik programlama ve dal kesme algoritması uygulamalarda kullanılmıştır. Sezgisellerden ise kapasitesiz ve zaman penceresiz durum için basit yapı sezgiselinin olasılıksal analizi, klasik gezgin satıcı problemlerine ilişkin sezgisellerin adaptasyonu ve değişken derinliğine dayanan iki aşamalı yerel arama metodu kullanılmıştır. Çok araçlı durumlarda da tamsayılı algoritmalar; küme parçalama formülü ve tam sütun genişletme algoritması, dal sınır algoritması ve dinamik programlama kullanılmıştır. Sezgisel olarak ise tabu arama sezgiseli ve uyum sağlayıcı büyük komşuluk arama sezgiseli örnek olarak gösterilebilir (Barnhart ve Laporte, 2007).

5.6 Rotalamaya İlişkin Makaleler

Araç rotalamaya ilişkin literatürde çok sayıda makale bulunmaktadır. Bu noktada son yıllarda çıkan araç rotalamaya ilişkin makaleler incelenmiştir. İncelenen makaleler içinde tesis içi rotalamaya ilişkin makalelerin azlığı dikkat çekmektedir. Makaleler daha sonra özet halinde tablo şeklinde çeşitli sınıflandırmalara tabi tutularak çizelge B.1’de gösterilmiştir. İlgili makale özetleri aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

Rajagopalan ve Heragu (1997), makalelerinde tesis yerleşimi ve ayrık malzeme taşıma tasarımı bir bütün olarak düşünülerek ele alınmaktadır. Makalenin amacı, üretim sistemi tasarımı alanındaki literatür eğilimini gözlemlemek ve bu alandaki gelecek araştırmaları tahmin etmektir. Gözlemlenen eğilim, üretim sistemi tasarım probleminin farklı noktalarının bütünleşmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca, problemlerle daha pratik yollarla ilgilenmek ve pratik çözüm yolları bulmak noktasında da bir eğilim gözlemlenmektedir. Makale, tesis yerleşim tasarımı ile malzeme akış ağı tasarımına ilişkin alanları birleştirmeye kalkışmaktadır. Bütünleştirilmiş tasarım problemlerini çözmek için bir yöntem sunulmuştur. Ayrıca, toplama ve dağıtım noktaları konumları ve malzeme taşıma ağ akış problemlerine ilişkin verimli ve hızlı çözüm üreten bir algoritma da sunulmuştur.

Barbarosoğlu ve Özgür (1999), Türkiye’de çok tanınan bir elektronik ev eşyası üreticisinin farklı fabrikalarından distribütörlerine yapılan dağıtıma ilişkin yeni bir tabu araştırma algoritması kullanarak bir sezgisel geliştirmişlerdir. Dağıtım şirketi ile bütün fabrikaların sahibi olan ana şirket arasında iki adımlı bir yapı bulunmaktadır.

Bu yapıda, üretilen ürünler ilk olarak fabrikanın yakınında bulunan ana depoya fabrika yönetimi tarafından taşınmakta, daha sonra ise depolardan bayilere de dağıtım şirketi tarafından taşımalar yapılmaktadır. Bu açıdan dağıtım şirketi tarafından depolardan bayilere yapılan dağıtımın çizelgelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, geliştirilen algoritmanın uygulamada sıklıkla kullanılacağı için pratik ve güvenilir olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan tabu araştırma sezgiseli temel olarak klasik tabu araştırması adımlarını kullanırken iki orijinal katkı da bulunmaktadır. Bunlar, yoğunlaştırma adımı ve komşuluk oluşturma yöntemidir. Geliştirilen algoritma daha sonra literatürde varolan diğer kıyaslama problemleriyle karşılaştırılmıştır ve rekabet edici sonuçlar alınmıştır.

Sinriech ve Samakh (1999), segmentlere ayrılmış malzeme taşıma sistemlerinde toplama ve dağıtım istasyonları için genetik algoritmaya dayanan sezgisel geliştirmişlerdir. Önerilen sezgisel, önceden segmentlere ayrılmış akış topolojisine ait 0-1 tamsayılı ve dal-sınır algoritmasından oluşan sezgiselin yerine genetik algoritmayı kullanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, bölüm içi akışların ihmal edilmesi varsayımının her zaman uygun olmadığını, bazı durumlarda dikkate alınmasının faydalı olacağını göstermektedir. İlk olarak, çözümlerin tamsayılı karakterlerle kodlanması yapılmıştır. Sonra, algoritma tarafından kullanılan genetik operatörler sunulmuştur. Problemin etkinliği ve düzgünlüğü birçok örnekte gösterilmiştir. Nihai olarak problemin formülü, akış tasarımıyla birlikte içsel bölüm akışlarını da içerecek şekilde genişletilmiştir.

Vaidyanathan ve diğerleri (1999), tam zamanında üretim sistemlerinde araç rotalama problemine ilişkin doğrusal olmayan bir model sunmuşlardır. Amaçladıkları toplam dolaşım süresinin enküçüklenmesidir. Oluşturdukları modelin doğrusal olmamasından ötürü, bir sezgisel ve alt sınır algoritması da önermişlerdir. Sezgiselden elde edilen sonuçlar alt sınır algoritmasıyla karşılaştırılarak iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Chan ve diğerleri (2001), çok depolu, çok araçlı, stokastik olarak işlenen talepler ile konum rotalama problemini formüle etmektedirler. Stokastik taleplerin beklenen değerleri her bir hizmet bölgesindeki bir kuyruk ağıyla üretilmektedir. Dağıtım araçları, olası talepleri düğümlerde işlenmek üzere uygun düğümlere bırakılır. Başlangıçta bütün model deterministik olarak formüle edilir. Deterministik modelden elde edilen çözüm, alt sınır değeridir. Daha sonra ise model stokastik olarak formüle

edilmektedir. Olasılıksal talepler, araç konum rotalama kararlarından önce talep noktalarında stokastik süreçler tarafından tahmin edilmiştir. Bütünsel 90 günlük duruma ilişkin sonraki çözümler, önceki stokastik duruma ilişkin performansın araştırılmasına yardımcı olmaktadır. 90 günlük durumlar araştırmacılara gelecek deneyler için bir kıyaslama veri kümesi sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Burada gösterilmiştir ki öncelikli bir eniyileme çözümü, gerçek zamanlı karar verme durumları için düzgün bir rotalama stratejisi sağlamaktadır. Aynı yöntemin stok miktarının tam olarak elimine edildiği tam zamanlı üretim tekniklerinde de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tan ve diğerleri (2001), çalışmaları kapsamında ZPARP'ne (Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi) ilişkin en iyiye yakın sonuçlar veren çeşitli sezgisel metotlar ortaya koymuşlardır. Ele aldıkları sezgiseller üçüncü kuşak yapay zekâ algoritmalarıdır. Bunlar, tavlama benzetimi, tabu araştırma ve genetik algoritmadır. Tavlama benzetimi noktasında soğutma şekli güncellenmiş ve hızlı etkin bir tavlama benzetimi metodu geliştirilmiştir. Tabu araştırmasında sıkı tabu kullanılmış ve yakınlık-sıklık ölçümlerinin yardımıyla ZPARP için kullanılmıştır. Son olarak da genetik algoritma, tamsayı karakter gösterimini kullanmış ve birçok yeni çaprazlama operasyonlarını dâhil etmiştir. Geliştirilen her bir sezgisel Solomon'un 56 adet ZPARP 100-müşterili durumuna uygulanmıştır. Bu problemler için elde edilen 18 çözümde varolan en iyi çözümle aynı ya da daha iyi değerler elde edilmiştir.

Wu ve diğerleri (2002), çok depolu yerleşim rotalama problemine ilişkin bir metot sunmaktadırlar. Homojen filo türleri ve sınırlı olmayan hazır araçlar gibi birçok gerçek dışı varsayımların gevşetildiği bir matematiksel formül verilmiştir. Konum rotalama problemlerinin doğası gereği, kalıcı karmaşıklığından ötürü, büyük çaplı problemlerde çözümünün imkânsız olmasından ötürü, orijinal problem konum atama problemi ve genel araç rotalama problemi olarak iki alt probleme ayrılmıştır. Her bir alt problem, tavlama benzetimi yöntemiyle sırasıyla ve iteratif bir şekilde çözülmüştür. Literatürdeki test problemleri ve yeni geliştirilen problemler üzerinde önerilen yöntem denenmiştir. Yöntemden, çözüm kalitesi ve harcanan süre bakımından iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ghiani ve diğerleri (2003), gerçek zamanlı araç yönetim problemini ele almışlardır. Gerçek zamanlı filo yönetiminde, araç rotalarının araç konumları, dolaşım süreleri ve

müşteri talepleri açığa çıktıkça yeniden yapılandırıldığından bahsetmişlerdir. Bu tip problemlerle ilgilenmek için belirsizliği sistem içine dâhil edebilen, hızlı ve doğrudan bağlantılı algoritmalara gereksinim duyulduğunu vurgulamışlardır. Bu noktadaki literatürün dağınık olduğunu belirterek literatür taramasında bulunmuşlar ve bazı konulara açıklık getirmişlerdir. Özellikle dikkat çekilmeye çalışılan nokta ise paralel hesaplama stratejileridir.

Lau ve diğerleri (2003), sınırlı sayıda aracın verildiği zaman pencereli araç rotalama problemine ilişkin yeni bir türü tanıtmaktadırlar. Yeni tanıtılan bu türe ilişkin tabu araştırma yaklaşımı kullanılarak çözümler bulunmuş ve bu çözümlerin yine geliştirilen analitik üst sınırdan elde edilen değerlere yakın oldukları gözlemlenmiştir. Önerilen yaklaşımın standart zaman pencereli araç rotalama problemlerinde de iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Gayialis ve Tatsiopoulos (2004), tedârik zinciri yönetimi uygulamasını coğrafi bilgi yönetim sistemi ile birleştirerek bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır. İlgili karar destek sistemi, bir yağ dağıtım firmasının rotalama ve çizelgelenmesi için kullanılmaktadır. Çalışılan problem petrol ürünlerinin belirli dağıtım merkezlerinden bütün müşterilere olan karmaşık dağıtım sürecine ilişkindir. Geliştirilen yeni karar destek aracının amaçları dağıtım ağ kaynaklarının en iyi şekilde kullanılması, taşıma mâliyet indirimi ve müşteri hizmet gelişimi şeklindedir.

Hwang (2004), önceden belirlenmiş sabit bir yerleşim planı olan ve malzeme akış yollarının da önceden belirlenmiş olduğu bir üretim ortamında araç rotalama problemini analiz ederek üretim tesisi tasarımında kullanmak üzere adapte etmiştir. Amaçlanan, minimum sayıdaki taşıma aracı sayısının bulunmasıdır. Bu amaçla problem tamsayılı programlama şeklinde formüle edilmiş ve iki çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bunlardan biri sezgisel diğeri de ARP metodudur. Her bir metot 100 farklı örnekten oluşan 6 veri kümesiyle denenmiş ve etkin sonuçlar alınmıştır.

Ruiz ve diğerleri (2004), geliştirdikleri iki aşamalı bir yaklaşımı bir karar verme yazılımıyla gerçek hayat problemlerinin çözülmesinde kullanmışlardır. İlk aşamada bütün olurlu rotalar kapalı sayma algoritması tarafından üretilmiştir. İkinci adımda ise tamsayılı programlama modeli geliştirilerek olurlu rotalar kümesinden en iyi rotaların seçilmesi sağlanmaktadır. Tamsayılı model, sayıları 2.000’den 15.000’e kadar uzanan 0-1 değişkenlerini kullanmaktadır. Bununla birlikte, ortalama olarak

60 saniye içerisinde en iyi sonuçları vermektedir (60 müşteriye kadar olan durumlar için). Ayrıca, interaktif bir karar destek sistemi de geliştirilmiştir. Sistem gerçek durumlar için test edilerek en kötü durum senaryosunda (60 müşteriye kadar) rotalarda mesafe bakımından %7 ile %12 arasında bir azalma, operasyonel mâliyetlerde ise %9 ile %11 arasında bir azalma meydana gelmiştir.

Tarantilis ve diğerleri (2005), gerçek durumlarda problem boyutunun büyümesinden ötürü NP-zor hale gelen kapasiteli araç rotalama problemlerine ilişkin standart ve en yaygın meta-sezgisel yöntemleri araştırmışlar ve bu yöntemleri çözüm kalitesi açısından hesaplama performansına göre incelemişlerdir. Her meta-sezgiselin hesaplamalı performansı Christofides'in 14 kıyaslama durumu için sunulmuştur.

Akıllıoğlu ve diğerleri (2006), çekme sisteminin esas kılındığı bir üretim ortamında bir trenin modellenmesine ilişkin bir karma tamsayılı doğrusal model geliştirmişlerdir. Aynı zamanda modelin benzetimini yapmışlardır. Gerçek bir üretim ortamında uygulanan model yalın performans göstergeleri olan süreç içi stok miktarı ve taşıma mâliyetleri açısından %66 düzeyinde iyileştirme sağlamıştır.

Lee ve diğerleri (2006), çok araçlı rotalama problemini ayırık toplamalarla değerlendirmeye almış ve deterministik dinamik programlamaya dayanan klasik dinamik programlamadan farklı olarak en kısa yol araştırmasını esas alan bir model geliştirmişlerdir. İlgili problem türü çok tedârikçi, tek depo, tedârikçilerden depoya taşıma yapan benzer kapasiteli araç filosu durumlarını içermektedir. Herhangi bir tedârikçinin birden fazla araç tarafından ziyaret edilebileceği ayırık toplamalara izin verilmektedir. Amaçlanan, her bir araç için hangi tedârikçilerin ziyaret edileceğinin ve toplanacak yükün boyutunun belirlenerek toplam taşıma mâliyetinin enküçüklenmesidir.

Bilici ve diğerleri (2007), dizel sistemine ilişkin bir fabrikada amacı toplam dolaşım süresini enküçüklemek olan hammadde ve yarı mamul taşınmasını planlayan sık ve çekme esaslı taşımaya dayalı bir sistem tasarlamışlardır. Olası rotalar içerisinde belirledikleri rotalara, geliştirdikleri matematiksel model yardımıyla taşımaları atamışlardır. Farklı araç sayısı seçeneklerine göre iyileştirme tahminleri yapmışlar ve önerdikleri çözümün mevcut sistemde sadece organizasyonel değişikliklerle toplam mâliyetten %51'e kadar azaltma sağlayacağını öngörmüşlerdir.

Claassen ve Hendriks (2007), süt toplama problemine ilişkin özel sıralı kümeler dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Metodolojiye olan ihtiyaç, süt endüstrisinin özel bir dalında yıllık büyümeye bağlı olarak sürekli üretim ile dağıtım durumu arasındaki dengesizliği mevcut durumdaki rota çizelgelemelerinin karşılayamamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu noktada geliştirilen karar destek sistemi, kısa ve orta vadedeki süt toplama planlarının oluşturulması açısından etkilidir.

Domingo (2007), gerçek üretim ortamında iç lojistik sistemini analiz etmişlerdir. Değer akışı haritalandırmadan da faydalanarak yalın göstergeler üzerinde döngüsel sefer taşıma sisteminin iyileştirmeler sağlayacağını belirtmişlerdir. Özellikle, önerilen sistemin uygulanması durumunda süreç içi stok miktarı ve temin sürelerindeki azalmalarla yalınlığın artacağını belirtmişlerdir.

Du ve diğerleri (2007), döngüsel sefer servis durumu için gerçek zamanlı araç dağıtım sistemini araştırmaktadır. Sistem yapısı sunularak yedi modül gerçek zamanlı sistemin kurulması için kullanılmıştır ve parametreler açıklayıcı bir deneysel tasarımla belirlenmiştir. Deneylerin sonuçları sistemin bir başlangıç araç dağıtım modülü ve rotalar arası gelişim modülü olması gerektiğini önermektedir. Her iki durumda da sistem iyi bir şekilde çalışabilmektedir. Ayrıca gerçek sistem için en uygun durumun, başlangıç araç dağıtımı için en iyi uyma algoritması ve rotalar arası gelişim için ise 2-değişimli algoritma olduğu belirtilmiştir.

Costa ve diğerleri (2008), bir elektronik şirketine malzeme dağıtım sisteminin planlanmasında kullanılan prosedürleri tanımlamaktadır. Bu amaçla üretim hatlarına malzeme dağıtımını yapan bir lojistik treni ele alınmıştır. Malzeme dağıtım sisteminin benzetimi yapılarak gerçek ortam yansıtılmaya çalışılmıştır. Çalışmadaki ana amaç, benzetim deneyleri yaparak farklı miktardaki donanım ve lojistik treni programlama metodlarını değerlendirmektir. Geliştirilen modellerde Arena benzetim programı kullanılarak malzeme taşımanın yapılması için gerekli olan kaynak sayıları belirlenmiştir.

Kang ve diğerleri (2008), araçların müşterileri belirli bir zaman dilimi içerisinde ziyaret etmeleri gereken rotalama problemini ele almışlardır. Amaçlanan, her bir araç için dolaşım süresinin ağırlıklı toplamı ve her bir müşteri için gecikmenin enküçüklenmesidir. Problem, karma tamsayılı programlama ile formüle edilmiş ve tabu araştırması tabanlı bir sezgisel önerilmiştir. Önceki rotalar arası değişim

algoritmaları, araç tarafından hizmet verilecek olan müşteri kümelerinin değişiminde rastsal veya bütünsel değişim mekanizması kullanırken, önerilen yöntem amaç fonksiyonu açısından rota sırasının uygunluğuna göre işlem yapmaktadır. Literatürde görülen diğer sezgisellerle örnek veri kümeleri üzerinden kıyaslamalar yapılarak, önerilen sezgiselin kısa hesaplama süresi içerisinde iyi bir çözüm verdiği gözlemlenmiştir.

Zhao, F. ve diğerleri (2008), tek ürünli toplama ve dağıtım problemi için genetik algoritmaya dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmada, başlangıç popülasyonunu oluşturmak için tur oluşturma sezgiseli tasarlanmış ve geliştirilen genetik algoritma için feromon tabanlı çaprazlama operatörü önerilmiştir. Feromon tabanlı çaprazlama operatörü, hem kenar uzunlukları, komşuluk ilişkileri ve müşteri talepleri gibi yerel bilgileri, hem de feromon izleri gibi stoklanan global bilgileri geçerli kılmaktadır. Önerilen genetik algoritma, 500 müşteriye kadar deneme durumları için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre de mevcut sezgisellerden daha hızlı ve iyi sonuçlar vermektedir.

Zhao, Q. ve diğerleri (2008), bir tedârikçi, merkezi bir depo ve bir grup perakendeciden oluşan 3 adımlı bir lojistik sistemde, depolama ve rotalama probleminin bütünleşik ele alındığı bir problem sunmaktadırlar. Problem, karmaşıklığından ötürü daha önce hiç çözülmemiştir. Her bir üyenin stok kararı ve sistemin üyeleri arasındaki rotalama kararı, sistemin ortalama mâliyetini enküçülemek amacıyla eşzamanlı olarak yapılmaktadır. Strateji olarak “Sabit Parçalı” ve “İkilinin Gücü”, değerlendirilen problem için önerilmiştir. Bunu takiben de değişken komşuluk araştırmasının özel bir durumu olan değişken büyük komşuluk araştırması algoritması geliştirilmiştir. Strateji ve algoritmanın etkinliği, hesaplanan alt sınır değeriyle karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Ai ve Kachitvichyanukul (2009), eşzamanlı dağıtım ve toplamanın olduğu araç rotalama problemlerini ele almışlardır. İlgili problem türü için varolan üç formül genelleştirilerek bir formül sunulmuş ve parçacık sürü eniyilemesi kullanılarak çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Makaledeki amaç, eşzamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümünde parçacık sürü eniyilemesinin mekanizmasını açıklamak ve önerilen metodun etkinliğini göstermektir. Geliştirilen metot, literatürde ilgili problem türü için geliştirilen sezgisellerle kıyaslanmış ve bazı yeni

en iyi değerlere de ulaşıldığı ve genel olarak metodun rekabet edici olduğu gözlemlenmiştir.

Bin ve diğerleri (2009), araç rotalama problemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir karınca kolonisi eniyileme metodunu, karınca ağırlık stratejisi ve bir mutasyon operasyonu ile sunmaktadırlar. Önerilen yöntem 14 kıyaslama problemiyle kıyaslanmış ve yöntemin etkin ve verimli olduğu açığa çıkmıştır.

Brandao (2009), tabu araştırma üzerine kurulmuş sezgisel bir algoritma önermiştir ve birçok kıyaslamalı durum üzerinde test etmiştir. Filo büyüklüğü ve karışık araç rotalama problemi, türün tanımlanmasından, her bir türe ilişkin araç sayısından, bunların yanısıra müşterilere hangi sırayla hangi araçla hizmet edileceğine ilişkin toplam mâliyetlerin enküçüklenmesini sağlayacak şekilde dağıtım yapılması amaçlanmaktadır. Literatürde varolan diğer metotlarla yapılan kıyaslamaların sonuçları, önerilen algoritmanın uygun bir hesaplama süresi içerisinde iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle test problemleri setleri kapsamında beş yeni en iyi çözüm elde edilmiştir.

Chen ve diğerleri (2009), çabuk bozulabilen gıda ürünleri için üretim çizelgeleme ve araç rotalamayı ele alan bir problemi karma tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model ile modellemişler ve bununla ilgili olarak bir çözüm algoritması sunmuşlardır. Modelde amaçlanan, tedârikçinin toplam kârını enbüyüklemektir. En iyi üretim miktarları, üretime başlama zamanı ve araç rotaları da modelde eşzamanlı olarak belirlenebilmektedir. Önerilen algoritma, sınırlandırılmış Nelder-Mead metodundan ve zaman pencereli bir sezgiselden oluşmaktadır. Hesaplamalı sonuçlar, algoritmanın etkin ve verimli olduğunu göstermektedir.

Dondo ve Cerda (2009), zaman pencereli çok depolu araç rotalama problemini ele almışlardır. Amaçlanan, bir araç filosu için önceden belirlenen zaman pencereleri ve bilinen talepler için minimum mâliyetli rotaların oluşturulmasıdır. Yerel arama geliştirme algoritması, düşük mâliyetli olurlu rotalar kümesi oluşturmak için kullanılmıştır. Ayrıca karma tamsayılı doğrusal programlama formülleri de geliştirilmiştir. Önemli düzeyde büyük boyutlu karşılaştırma problemi, farklı sayıda müşteri, depo ve araç sayısı için oldukça iyi işlem sürelerinde çözülmüştür.

Gajpal ve Abad (2009), kapasiteli araç rotalama probleminin genişletilmiş bir durumu olan dağıtımla birlikte toplamının da yapıldığı araç rotalama problemini ele

almışlardır. Problem kapsamında araçların sayısı sabit olarak değerlendirilmekte ve önce dağıtımlar, sonra ise toplamalar yapılmaktadır. Amaç toplam dolaşım mesafesini kısaltacak şekilde rotaları tasarlamaktır. Çözüm yöntemi olarak çoklu karınca koloni sistemi kullanılmıştır. Karınca koloni sistemi, gerçek karıncaları taklit eden ve önceden üretilen sonuçlardan elde edilen feromen bilgilerinden faydalanan algoritmik bir yaklaşımdır. Önerilen çoklu karınca koloni sisteminin algoritmasında yeni çoklu rota yerel arama taslakları gibi yapı kuralı kullanılmaktadır. Geliştirilen yöntem, literatürde varolan kıyaslama problemlerine uygulanmış ve diğer algoritmalarla göre iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle beş problem için yeni en iyi çözümlere ulaşılmıştır.

Hemmelmayr ve diğerleri (2009), zaman penceresiz periyodik araç rotalama problemleri ve periyodik gezgin satıcı problemi için yeni bir genel sezgisel önermektedirler. Periyodik araç rotalama problemi, klasik araç rotalama problemini birçok günün olduğu planlama ufkuna yaymakta ve her bir müşteri, belirli sayıda bir ziyarete gereksinim duymaktadır. Problem kapsamında ziyaret günlerinde esneklik olan müşterilerin ziyaret günlerinin seçilmesi ve her gün için ARP'nin çözülmesi gerekmektedir. Geliştirilen metot, değişken komşuluk aramaya dayanmaktadır. Kıyaslama sonuçlarına göre önerilen yöntem 24 tane yeni en iyi çözüm olmak üzere diğer metotlara kıyasla çok iyi sonuçlar vermiştir.

Jozefowiez ve diğerleri (2009), ilk amacı rotaların toplam uzunluğunu enküçükmek, ikinci amacı ise rotaların dengesini sağlamak olan iki amaçlı bir araç rotalama problemini ele almaktadırlar. Rotaların dengesiyle kastedilen durumun, maksimum rota ile minimum rota arasındaki fark olarak gösterildiği bu problem türü için klasik çok amaçlı operatörleri içeren evrimsel algoritmaya dayanan meta-sezgisel bir metot önerilmektedir. Metodun verimliliğini arttırmak için arama çeşitliliğinden faydalanan iki mekanizma eklenmiştir. İlk olarak seçkin bir ayrıştırma mekanizması, klasik ayrıştırma metotlarıyla birlikte kullanılmıştır. İkinci olarak da seçkin ayrıştırmayı değerlendirmeye alan paralel bir model önerilmiştir. Metot, araç rotalama problemleri için kullanılan standart kıyaslama problemleriyle test edilmiş ve anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Zachariadis ve diğerleri (2009), eşzamanlı olarak toplama ve dağıtım gereksinimi görülen müşterilere ilişkin araç rotalama problemlerinde tabu arama ve yönlendirmeli yerel araştırma meta-sezgiselinin birleştirilmesiyle oluşturulan melez

bir yöntem sunmaktadırlar. Amaçlanan, müşteri popülasyonunun hem dağıtım hem de toplama ihtiyaçlarını karşılayacak en iyi rota kümelerinin belirlenmesidir. Önerilen melez modelin önemli tarafı, yerel en iyiden uzaklaşarak ve olası iyi çözüm alanlarında yoğunlaşarak, geniş bir alanda tarama yapabiliyor olmasıdır. Geliştirilen meta-sezgiselin performansı, 50 ile 400 müşteri arasında değişen durumlar için test edilmiş ve önceden en iyi olarak sunulan çözümleri geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Bolduc ve diğerleri (2010), üretim ve talep takvimli bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemlerini ele almışlardır. Problem, karma tamsayılı doğrusal programlama olarak modellenmiş, daha sonra da tabu araştırma sezgiseli ile çözülmüştür. Ayrıca iki yeni komşuluk azaltma stratejisi geliştirilerek, hem hesaplama süresinde hem de çözüm kalitesinde iyileştirmeler sağlanmıştır. Çeşitli testler yapılmış ve geliştirilen metotların etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Çatay (2010), eşzamanlı dağıtım ve toplamamanın yapıldığı araç rotalama probleminde belirli bir araç sayısı, dağıtım ve toplama talepleri belirli olan müşteriler ve tek bir üründen oluşan yapı için toplam ulaşım mesafesini enküçükleyecek bir yöntem geliştirmeye çalışmıştır. Geliştirilen yöntem karınca kolonisi algoritmasına dayanmakta ve yeni tasarruf tabanlı görünürlük algoritması ve feromon güncelleme prosedürünü içermektedir. Yöntem, literatürdeki test problemleriyle kıyaslanmıştır her ne kadar büyük boyutlu problemlerde uzun süre ihtiyacı gerekse de birçok yeni en iyi çözüm bulunmuştur ve rekabet edici bir özellik göstermektedir.

Erbao ve Mingyong (2010), dağıtım yapan araçların depoya geri dönme zorunluluğu olmadığı açık araç rotalama problemini ele almışlardır. Bulanık güvenilirlik teorisine dayanan bulanık şans kısıtlı program modeli geliştirilmiştir. Buna ek olarak toplam mesafenin düşürülmesi amacıyla stokastik benzetim ve diferansiyel evrimsel algoritma bütünleştirilerek melez zeki algoritma tasarlanmıştır. Sayısal örneklerle geliştirilen yöntemin etkinliği gösterilmiştir.

Fuellerer ve diğerleri (2010), literatürde üç boyutlu yükleme kapasiteli araç rotalama problemi şeklinde geçen yüklemeyle araç rotalama problemlerinin kombinasyonunu içeren durumu ele almaktadırlar. Çözüm yöntemi olarak karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen sezgisel, biri rotalama diğeri de paketleme olmak üzere iki sezgisel kısmı içermektedir. Karşılaştırmalı problemlerle yapılan kıyaslamalarda ortalama rotalama mâliyetinde %6,43 civarında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Ghoseiri ve Ghannadpour (2010), çok amaçlı zaman pencereli araç rotalama problemine ilişkin bir yöntem geliştirmişlerdir. Problemdeki amaçlar, araç sayısının azaltılması ve toplam dolaşım mesafesinin kısaltılmasıdır. Geliştirilen yöntem hedef programlama ve genetik algoritmayı içermektedir. Hedef programlama, problemin formülünde, genetik algoritma ise çözümünde kullanılmaktadır. Geliştirilen algoritma, Solomon'un test problemleri üzerinde çözülmüş ve etkin, rekabet edici çözümlere ulaşmıştır.

Marinakis ve diğerleri (2010), araç rotalama problemi için melez parçacık sürü eniyileme algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirilen melez algoritma, parçacık sürü eniyileme algoritmasını, çok aşamalı komşuluk arama-obur rastsal uyum arama prosedürünü, genişleyen komşuluk arama stratejisini ve yol yeniden bağlama stratejisini içermektedir. Yapılan çalışmayla parçacık sürü eniyilemesinin, araç rotalama probleminin çözümünde diğer sezgisellerle birlikte çalışabildiği gösterilmiştir. Geliştirilen algoritma büyük çaplı problemlerin çözümünde çok hızlı ve etkin çözümler verebilmektedir. Literatürde araç rotalamaya ilişkin test problemlerine yöntem uygulanmış ve doğadan esinlenen yöntemler arasında en iyi sonuçları vermiştir.

Ren ve diğerleri (2010), çok vardiyanın ve fazla mesainin olduğu zaman pencereli araç rotalama problemine ilişkin bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Problem, sağlık sektörüne ilişkin bir gerçek durumdan esinlenerek oluşturulmuştur. Belirli sayıdaki aracın vardiyalarda sürekli olarak hizmet verdiği ve fazla mesaiye de izin verilen bir ortamda fazla mesai ile diğer operasyonel mâliyetler arasında bir fayda-mâliyet durumuna göre karar verilmesi sözkonusudur. Probleme özgü olarak rotaların oluşturulmasında, fazla mesaiyi dikkate alan vardiyaya bağımlı bir sezgisel geliştirilmeye çalışılmıştır. Problem önce karma tamsayılı programlama şeklinde formüle edilmiş ve karma tamsayılı modelin doğrusal gevşemesi yapılarak bir alt sınır değeri bulunmuştur. Daha sonra bir sezgisel geliştirilerek problem çözülmüş ve alt sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler, sezgiselin gerek toplam mâliyet, gerekse de araç sayısı açısından iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Brandao (2011), heterojen yapıda sabit sayıda araçların olduğu rotalama problemini ele almıştır. Amaçlanan, toplam mâliyetin enküçüklenmesidir. Bu noktada farklı türdeki araçlara müşterilerin atanması ve dolaşım sırasının belirlenmesi gerekmektedir. Çözüm yöntemi olarak tabu araştırma sezgiseli kullanılmıştır.

Literatürdeki test problemleriyle, geliştirilen sezgiselin etkinliği ölçülmeye çalışılmıştır. Dört yeni en iyi çözüme ulaşılmış ve rekabet edici sonuçlar elde edilmiştir.

Yu ve diğerleri (2011), zaman pencereli araç rotalama problemini ele almışlardır. Kombinatoriyel özelliği olan bu problem türü için, melez bir meta-sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Meta-sezgisel karınca kolonisi, eniyileme algoritması ile tabu araştırma algoritmasını içermektedir. Karınca kolonisi eniyileme algoritmasıyla başlangıç çözümleri bulunur. Bulunan çözümler en iyi ya da yerel en iyiye yakın olduğu zaman tabu araştırma algoritması, bu çözümü başlangıç çözümü olarak kullanarak yeni çözümler araştırır. Geliştirilen melez yöntemden elde edilen çözümler Solomon'un 56 Zaman pencereli araç rotalama problemi üzerinde denenmiştir ve rekabet edici çözümlere ulaşılmıştır.

İncelenen 41 rotalama makalesi, problem sınıfı, amaç, çözüm yöntemi, fabrika içi veya dışı olma durumu ve gerçek sistemde uygulanıp uygulanmama durumuna göre tablolar halinde **EK B'**de sınıflandırılmıştır. Rotalama makalelerinin genel bir değerlendirilmesi yapılırsa, problem sınıfı bakımından makalelerin genelde klasik (16 makale) ve zaman pencereli (8 makale) olduğu görülmektedir. Amaçların genelde toplam taşıma mesafesinin veya mâliyetinin azaltılması, kullanılan araç sayısının azaltılması ve rota iş yüklerinin dengelenmesi şeklinde olduğu görülmektedir. Çözüm yöntemi olarak çoğunlukla sezgiseller kullanılmaktadır. Sezgisellerden genelde tabu araştırması, genetik algoritma ve tavlama benzetimi ağırlıkla görülmektedir. Ayrıca melez sezgiseller de sıklıkla kullanılmaktadır. En iyi çözüm veren yöntemler de genelde tamsayılı algoritma ve dinamik programlama şeklinde görülmektedir. Makalelerin büyük bir çoğunluğunun fabrika dışı (33 fabrika dışı, 8 fabrika içi makale) ile ilişkili olduğu ve gerçek sistem uygulamasının çoğunda olmadığı görülmektedir.

Araç rotalama problem türlerine ilişkin yapılan literatür taramasında dikkat çeken nokta, tesis içi döngüsel seferler yapan kısa trene ilişkin problemin mevcut araç rotalama problem türlerinden birine tam olarak girmediğidir. Bu farklılık, iç lojistik sistemine ilişkin geliştirilen modellerin anlatıldığı bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Fabrika içi lojistik ile ilgili olarak yapılan çalışmaların sayısı azdır. Özellikle tez konusuyla alakalı olarak yalın üretim ortamında tekrarlı dağıtım sistemini içeren çalışmalar çok kısıtlı düzeyde görülmektedir.

Vaidyanathan ve diğerleri (1999), Akıllıoğlu ve diğerleri (2006) ve Domingo (2007)'nin çalışmaları tez konusuyla yakından ilgilidir. Fakat tez kapsamında ele alınan yaklaşımın bu çalışmalardan temel farkları aşağıdaki şekildedir:

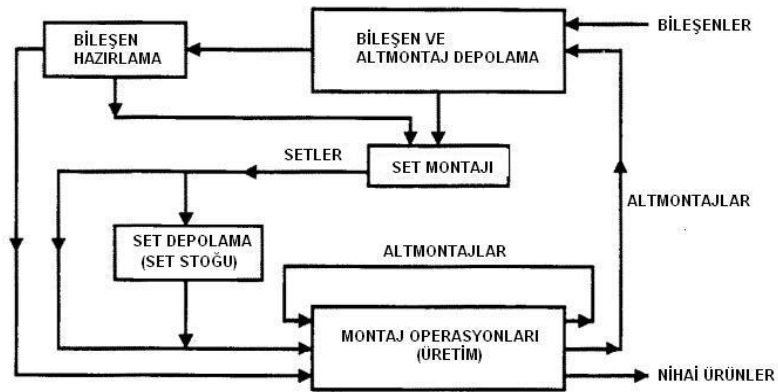
- İç lojistik sisteminin tasarlanmasında ilgili çalışmalardan farklı olarak problem genel, tahsisli ve belirli zaman periyotlu olmak üzere sınıflandırılmış ve her sınıf için çözüm yaklaşımları sunulmuştur.
- Bir araca birden fazla rota atanma durumu ve araçların farklı ve eşit zamanlı olabilmeleri gözönünde bulundurulmuştur.
- Sistemin modellenmesinde stok alanlarının fiziki kapasiteleri, hücreler arasında bağımlılık olma durumu gibi yeni kısıtlar gözönünde bulundurulmuştur.
- Eşit zamanlı rotalar için bir sezgisel ve alt sınır algoritması geliştirilmiştir.
- Setleme sistemi döngüsel sefer yapısına dâhil edilerek, bütünsel bir tekrarlı dağıtım yaklaşımı sunulmuştur.

6. İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNDE SETLEME

İç lojistik kapsamı altında özellikle de montaj ağırlıklı üretim sistemlerinde öne çıkan bir diğer sistem de setleme sistemidir. Setleme sistemi iç lojistik sisteminin bir parçası olduğu için değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca tez çalışmasının ikinci kısmını da oluşturmaktadır. Bu noktada analizler yapılarak, tez çalışması kapsamında sunulan modelle bütünleşik bir model geliştirilmeye çalışılmıştır.

Setler (İng: Kitting), bileşenler ve alt montajların önceden belirlenmiş miktarlarda, belirli kaplarda bir araya konularak montaj hatlarının beslenmesinde kullanılmaktadır. Setlerdeki parçalar, zarar görmeden hızlı bir şekilde alınmalarının mümkün olabilmesi için belirli bir mantıksal sıraya göre konulmuşlardır (Çorakçı, 2008).

Bozer ve McGinnis (1992) setleri, sabit setler ve hareketli setler olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Sabit setler istasyonlara özgüdür. Bir istasyona gönderilmekte ve orada tükenene kadar kalmaktadır. Hareketli setler ise ürünle birlikte hareket etmekte ve tükenmeden önce birçok istasyonu desteklemektedir. Yazarlar hareketli setleri de kendi içerisinde ikiye ayırmışlardır. Bunlara ilişkin ilk türde set ve ürün beraber aynı konteyner içerisinde hareket etmekte ikinci türde ise set ve ürün ayrı konteynerler halinde hareket etmektedirler. Setlemeye ilişkin kavramsal genel malzeme akışı Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.1 : Setleme sistemlerinde genel malzeme akışı (Bozer ve McGinnis, 1992).

6.1 Setleme Sisteminin Faydaları ve Sakıncalı Yönleri

Setleme sistemleri tamamiyle mükemmel sistemler değildir. Avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bozer ve McGinnis (1992) tarafından bu sistemlere ilişkin belirlenen avantajlar ve dezavantajlar aşağıdaki şekildedir:

Avantajları

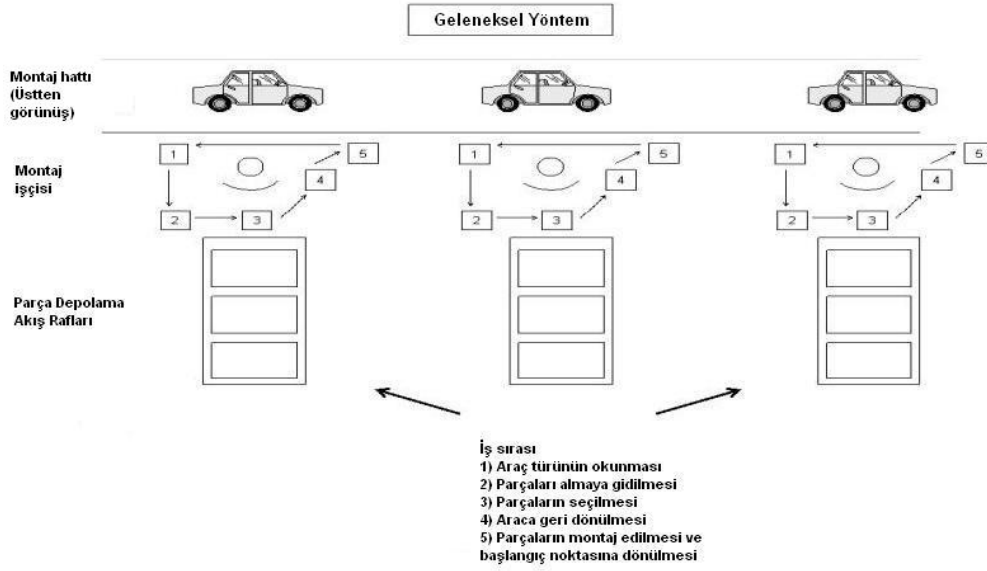
- Üretim alanını korur ve üretim alanındaki süreç içi stok miktarını, temel bileşenleri ve alt montajları, merkezi bir stok alanında depolayarak azaltır.
- Bileşenlerin ve alt montajların çoğu iş istasyonunda bir araya getirilmediği için ürün değişimi kolaylıkla yerine getirilebilmektedir.
- Montaj sistemlerinde sadece set konteynerlerinin taşınmasını ve rotalanmasını sağlayarak daha iyi bir kontrol ve yüksek esneklik önermektedir (Yüksek miktarda bireysel bileşen konteynerlerinin taşınması yerine).
- Tekil bileşenlere olan ihtiyacı elimine ederek iş istasyonlarına olan malzeme dağıtımını kolaylaştırır.
- Yüksek mâliyetli ve korunaksız bileşenler ve alt montajlar için daha iyi bir kontrol ve görsellik sağlamaktadır.
- Ürün kalitesinde ve iş istasyonlarının üretkenliğinde potansiyel bir artış sağlar, çünkü parçalar önceden hazırdır ve/veya konumlandırılmıştır. Bazı durumlarda, bir takım, kabaca monte edilmiş bir ürüne benzemektedir.
- Ürün değişimini kolaylaştırdığı için küçük partilerde ve yüksek çeşitlilikteki operasyonları destekler.
- İş istasyonlarında set konteynerine yerleştirilmiş olan tekil parçaların tam miktarını, pozisyonunu ve uyumunu kontrol etmek için robotlu elleçlemeye imkân tanır.

Sakıncalı Yönleri

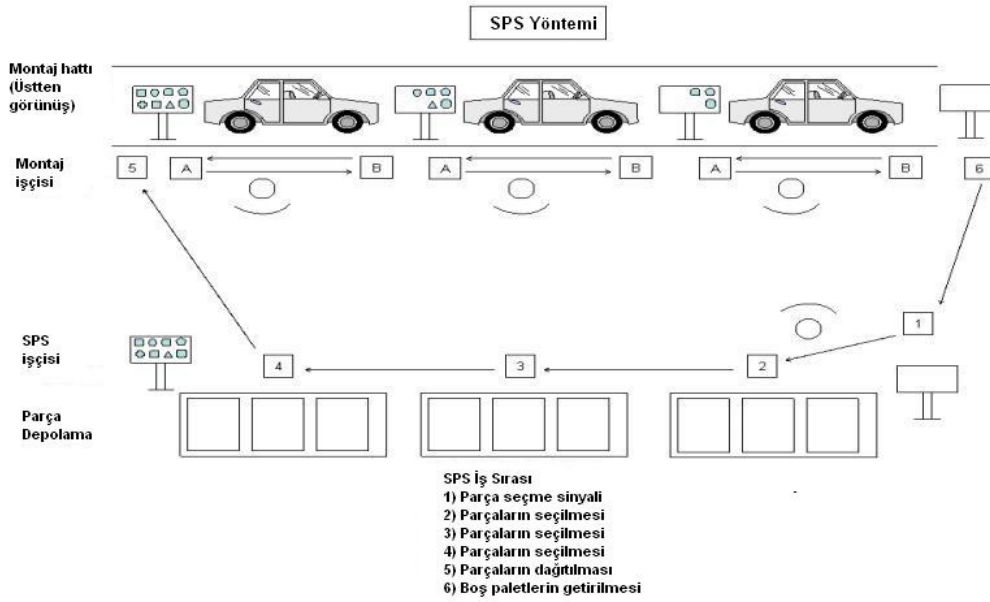
- Setlerin hazırlanması ürüne çok az veya direkt hiç bir değer katmaksızın zaman ve çaba gerektirmektedir.

- Depolama alanlarına olan gereksinimi arttırmaktadır. Özellikle de önceden setlerin hazırlanması halinde.
- Setler çeşitli ortak bileşenler içerdikleri zaman eldeki parçaların setlere atanması için ek planlama gerektirmektedir.
- Setlerin geçici süre eksik olması, kullanıcıyı set açısından eksik bırakır. Bu durumda operasyonun bütünsel verimliliği azalır (Set konteynerlerinin iki defa taşınmasına ve kısmi montajlanmış setlerin ek alan gereksinimine bağlı olarak).
- Belirli setlerde kasdî olmadan konulmuş olan hatalı parçalar istasyonlarda parça eksikliklerine neden olacaktır. Hatalı parçalar içeren setler tekrar monte edilmelidir.
- Montaj işlemi esnasında bazı bileşenler bozulabilir. Bu durum özel bir değerlendirme ve istisnai önlemler alınmasını gerekli kılabilir. Bu tip parçaların setlerden çıkartılması gerekebilir. Bazı durumlarda her bir sette yedek bir parça veya iş istasyonlarında bileşen konteynerlerinin depolanması gerekebilir.
- Eğer parça eksiklikleri gelişirse (Hatalı parçalar veya diğer nedenlere bağlı olarak) bazı setlerde eksiklikler olabilir. Yani aksayan parçalar varolan setlerden çıkartılabilir. Bu, eksikliği daha da karışık hale getirebilir ve parça sayılabilirliğinde problemlere neden olabilir. Ayrıca iki defa elleçlemeye de neden olabilir.

Toyota, San Antonio tesislerinde setleme sistemi (İng: Set Pallet System) adında yeni bir takım süreci kullanmaya başlamıştır. Toyota'nın daha önceki ve yeni sistemine ilişkin durumlar, karşılaştırmalı olarak Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir (Çorakçı, 2008).



Şekil 6.2 : Geleneksel montaj hattı (Url-11).



Şekil 6.3 : Setleme sistemi (Toyota yeni malzeme taşıma sistemi) (Url-11).

Yukarıda sunulan sistemlerin avantajları ve dezavantajları, önceki paragraflarda sunulan maddelere paralel olarak aşağıdaki şekilde belirtilmiştir (Çorakçı, 2008):

Avantajlar

Montaj operatörlerinin raflara giderek parça almalarının ortadan kaldırılmasıyla birlikte, operatörler daha dar bir alanda zamanlarının hemen hemen tamamını katma değerli işlerde kullanabilmektedir. Değişiklik, aynı zamanda montaj operatörlerinin uzanma, esneme ve arama gibi hareketlerini de ortadan kaldırmaktadır.

Görsel açıdan daha iyi alanlar oluşturularak daha az dağınık, daha kolay hareket edilebilen ve açık iş ortamları oluşturulur.

Parça seçimindeki hatalar azaltılarak basitlik ve kalite gelişimi sağlanmıştır.

Montaj operatörlerinin görev alanlarının daralmasından dolayı daha kolay eğitilmelerine imkân doğmaktadır.

Dezavantajlar

Setleme sisteminde çalışan işgören, mâlîyet oluşturmaktadır.

Takt süresi değişikliklerinde, toplayıcıların artırılması ve azaltılması durumu ortaya çıkmaktadır.

6.2 Setleme Sisteminin Alternatif Sistemlerle Karşılaştırılması

Montaj hatlarında parça depolama için temel olarak iki alternatif bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi setleme diğeri ise hat kenarında stoklamadır (Hua ve Johnson, 2010). Bunlardan hangisinin daha iyi olduğuna dair kesin bilgiler olmamakla birlikte, karşılaştırmaların yapıldığı yayınlar bulunmaktadır. Hua ve Johnson (2010), temin süresi ve süreç içi stok miktarının değerlerine bakılarak karar verildiğinden bahsetmektedirler. Bu noktada daha detaylı olarak 5 ölçüt gözönünde bulundurularak bu noktalara ilişkin soruların cevaplanması durumunda seçime ilişkin bir yöntem oluşturulabileceğinden bahsedilmiştir. Hua ve Johnson (2010) tarafından belirlenen ölçütler ve örnek gösterilen karşıt ve destekleyici yayınlar aşağıdaki şekildedir:

a. Ürün özellikleri

Genel kanı, üretim hacmi büyük, çeşitlilik az ise hat kenarında stoklama, üretim hacmi düşük ürün çeşitliliği fazlaysa bu durumda setleme sisteminin kullanılması uygundur.

Bu durumu destekleyen yayınlar olmakla birlikte az da olsa karşısında olan yayınlar bulunmaktadır.

Destekleyici:

Henderson ve Kiran (1993), yüksek hacimde ve düşük çeşitlilikte pompa üretimi yapılan bir sistemde beklenildiği üzere hat kenarında stoklama sistemini uygulamayı planlamışlardır.

Carlsson ve Hensvold (2007), düşük hacim ve yüksek çeşitlilikte setleme sistemini uygulamayı seçmişlerdir.

Karşıt:

Sohal (1997), düşük hacim ve yüksek çeşitlilikte hat kenarında stoklama sistemlerini seçmişlerdir.

Field (1997), Texas Instruments'ta düşük hacim ve yüksek çeşitlilikte hat kenarında stoklama sistemlerini seçmişlerdir.

b. Depolama ve malzeme taşıma

Bu noktadaki genel kanı, setlemeyle birlikte montaj istasyonundaki stoklamanın azaldığı yönündedir. Depolama noktasında ise bir değişimin olmamasıdır.

Destekleyici

Carlsson ve Hensvold (2007), bütün el ağırlığındaki parçaların set haline getirilmesiyle, setlemenin, her gün hat kenarı yenilemeyi azaltacağından bahsetmektedir. Depo alanı yenilenmesinde ise bir etkisinin olmadığından bahsetmektedir. Ayrıca operatörün yürümesinde ve fiziksel parçaların elleçlenmesinde artışa neden olmaktadır.

Henderson ve Kiran (1993), hat kenarında depolamanın hatlara dağıtılan malzeme konteynerlerinin sayısını %74 arttıracığını bununla birlikte konteynerlerin toplama ve dağıtımıyla ilişkili işçilik mâliyetlerini azaltacağını belirtmiştir.

Karşıt

Field (1997), hat kenarında yüklemenin malzeme kontrolle ilişkili mâliyetleri %30 azaltacağını belirtmiştir. Fakat faaliyette etkin olan ölçütler belirtilmemiştir.

c. Üretim kontrolü

Kanban kontrol sistemi hem setleme hem de hat kenarında yükleme sistemlerinde çalışabilmektedir. Malzeme İhtiyaç Planlamanın (İng: MRP) setleme sistemlerinde çalışmayacağına ilişkin Field (1997) tarafından yapılmış araştırma sonuçları bulunmaktadır. MRP'nin hat kenarı sistemlerinde uygulanabildiğine ilişkin herhangi bir çalışma literatürde bulunmamaktadır.

d. Performans Etkisi

Çeşitli performans göstergeleri açısından sistemler karşılaştırılabilir. İlgili performans göstergeleri fabrikadan fabrikaya değişiklik gösterebilmektedir.

Tavsiye edilen performans göstergeleri aşağıdaki şekildedir:

- Sistemde kalma süresi
- Süreç içi stok miktarı
- Gereken depolama alanı
- Malzeme taşıma süresi ve gerekli çaba
- Gereken işgören sayısı (montaj elemanları, takım hazırlayıcılar ve malzeme taşıyıcılar)
- Hata oranı
- Toplam gereksinim duyulan alan

e. Uygulama

Buradaki problem hat kenarı depolama sistemine aşamalı olarak mı, yoksa birden mi geçilmesinin uygunluğu üzerinedir. Bu noktada yetenek seviyesi, çalışan direnci, esneklik ve performans ölçümleri, hem örnek olaylar hem de gözlem çalışmalarıyla araştırılabilir. Gözlem çalışmaları daha genel sonuçların üretilmesinde etkindir, bununla birlikte örnek olaylar ise daha çok açığa çıkmamış, önceden düşünülmemiş faktörlerin belirlenmesini sağlayabilir.

6.3 Setleme Sistemine İlişkin Literatür Taraması

Setleme sistemine ilişkin literatür incelendiğinde, setlemeye ilişkin yayınların genelde hat kenarında stoklamayla birlikte ele alındığı görülmektedir. İncelenen makaleler ve onlara ilişkin özetler aşağıdaki şekildedir:

Bozer ve McGinnis (1992), setleme ve hat kenarında stoklama arasındaki farklılıkları ortaya koymuş. Setleme operasyonlarından bahsetmiş. Setlemenin avantajlarını ve dezavantajlarını açıklamıştır. Özellikle de gerçek uygulamalardan elde ettikleri gözlemlere de dayanarak her iki alternatifi kıyaslamada kullanılabilecek ölçülebilir bir karar verme modeli oluşturmuşlardır. Çeşitli varsayımlar altında modelde ele alınan performans göstergeleri, konteyner depolama ve geri getirme, konteyner akışı,

zemin alan gereksinimi, konteyner alan gereksinimi ve ortalama süreç içi stok miktarı şeklindedir. Sabit egzersiz bisikletini içeren sayısal bir örnek üzerinde geliştirilen model uygulanmıştır. Performans göstergeleri açısından her iki sistem kıyaslanmıştır. Alan gereksinimi, konteyner akışı ve süreç içi stok miktarı açılarından setleme sisteminin üstün olduğu gözlemlenmiştir.

Ding (1992), başarılı bir setleme sürecinin, montaj sürecinin verimliliğini arttıracığından bahsetmiştir. Bunun için bir traktör fabrikasındaki uygulama ele alınmıştır. Setleme sürecinin arama süresini elimine ettiği, malzeme taşımayı basitleştirdiği ve daha iyi bir üretim kontrolü sağladığı belirtilmiştir. Yalın üretimin çoğu aşamasının uygulandığı traktör fabrikasında, setleme dört aşamada uygulamaya alınmıştır. Birinci aşamada yerleşim planı yeniden düzenlenmiş, ikinci aşamada küçük model traktörler için kaynak istasyonunda uygulamaya başlanılmış, üçüncü aşamada kaynak alanının tamamında uygulamaya geçilmiş, dördüncü aşamada çekme sistemi aşamalı olarak uygulanmıştır. Başarılı bir uygulamadan sonra kaynak istasyonlarında verimlilik %10-15 düzeyinde artmış, kaynak bölgesinde alan gereksinimi %20 azalmış, süreç içi stok miktarı %50 düzeyinde azalmış, daha iyi bir üretim kontrolü ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanmıştır.

Chen ve Wilhelm (1993), çok aşamalı ve küçük partilerin olduğu montaj sistemlerinde uygulanmak üzere işin erken bitirilmesi, geç bitirilmesi ve süreç içi stok maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin enküçüklenmeye çalışıldığı bir sezgisel geliştirmişlerdir. Yazarlar, iyi bir sezgiselin geliştirilmesi için dört hedefin eşzamanlı olarak araştırılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Bunlar; işler için iyi bir setleme sırası, düşük iş gecikme maliyeti, düşük iş erken bitirme maliyeti ve düşük alt montaj elde tutma maliyetidir. Makalede setleme problemi tekrar tanımlanarak, literatürde sıklıkla kullanılan iki sezgiselle birlikte önerilen sezgisel, 24 test problemi üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen sezgisel 24 test probleminin 16'sında en iyi sonucu bulmuştur. Diğer problemlerde de en iyi sonuçtan küçük düzeylerde saparak yaygın olan iki sezgiselden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Henderson ve Kiran (1993), setlemenin ortadan kaldırılmasıyla zaman ve maliyet açısından kazançlı olunacağını belirtmektedirler. Bu noktada analiz yapabilmek için mevcut durumda setleme sistemini kullanan IMED isimli elektronik üzerine faaliyet gösteren bir şirkette analizlerde bulunmuşlardır. Setlemeye karşı önerdikleri sistemde ele alınan hedefler, iş istasyonlarına direkt olarak parça sağlamak, malzeme taşıma

işçiliğini arttırmamak, süreç içi stok miktarını azaltmak, ürün yayılım süresini azaltmak ve setler olmadan parça izlenebilirliğini sağlayabilmektir. Önceki sistemle sonraki sistemi kıyaslayabilmek için üç sınıf altında ölçütler toplanmıştır. Bunlar, malzeme taşımayla ilişkili, stokla ilişkili ve üretimle ilişkili ölçütlerdir. Bu noktada benzetim yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre önerilen sistemde süreç içi stok miktarı ve yayılım süresinde iyileşmeler sağlanmış, buna karşılık malzeme taşımayla ilişkili artış olmuştur. Bütünsel olarak değerlendirildiğinde setlemenin elimine edilmesinin ve önerilen sistemin uygulanmasının birçok avantajı olduğu belirtilmektedir.

Som ve diğerleri (1994), çalışmalarında stokastik bir ortamda yapılan montaja ilişkin setleme sürecini, parçaların bağımsız Poisson dağılımına uygun olarak geldiğini varsayarak Markov yenileme süreci şeklinde modellemektedir. Parçaların Poisson sürecine uygun olarak gelmesi durumunda, setleme operasyonundan çıkışların da Markov yenileme süreci şeklinde olduğu gösterilmiştir. Setlerin tamamlanma sürelerine ilişkin dağılım çıkartılmıştır. Özel durum kapsamında; girdi kısmında benzer bileşenlerin aynı Poisson parametresine sahip olması durumunda, çıktı kısmındaki setlerin de aynı Poisson parametresine sahip olacağı gösterilmiştir. İlgili durumların analizi için P1 ve P2 olarak adlandırılan makine ve P3 olarak isimlendirilen montajdan oluşan bir sistem üzerinde çalışılmıştır.

Brynzer ve Johansson (1995), setleme sistemlerinin tasarımını; toplama işinin yapıldığı yer, iş organizasyonu, toplama metodu, bilgi sistemi ve donanım açısından incelemişlerdir. Çalışmada ele alınan temel performans göstergeleri, toplama verimliliği ve doğruluğudur. Bu performans göstergelerinin ölçütler açısından nasıl değiştiğinin belirlenmesi için çok sayıda örnek olay incelenmiştir. Örnek olaylar kıyaslandıklarında setleme sistem karakteristikleri açısından çok farklılık gösterdikleri gözlemlenmiştir. Bunun da genel tavsiyelerde bulunmayı zorlaştırdığı belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada şimdiye kadar sipariş toplama sistemlerinde toplama verimliliği üzerinde durulduğundan bahsedilmiş olup bunun için de dolaşım süresi, toplama süresi gibi göstergeler üzerinde odaklanıldığından bahsedilmektedir. Bununla birlikte, toplama hatalarının depolama alanında ve üretim sürecinde en ciddi hatalara neden olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca birçok durumda uygun olmayan bilgi sisteminin toplama doğruluğunu etkilediği belirtilmiştir. Bunun için bilgi sistemini

doğru bir şekilde tasarlanmanın, toplama verimliliğini düşürmeden hataları azaltma ihtimalinden dolayı önemli olduğundan bahsedilmiştir.

Günther ve diğerleri (1996), setlemeyi yarı otomatik baskılı devre kartlarının montajında benzer montaj istasyonları arasında üretim süresi ve bileşen magazin kapasitesinin de dikkate alınarak bileşenlerin atanması olarak tanımlamışlardır. Bir setten diğerine geçişte önemli hazırlık sürelerinin olduğundan bahsetmişler ve ana amacın toplam operatör süresinin enküçüklenmesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu noktada yazarlar bir sezgisel ortaya koymuşlardır. Öncelikli olarak setleme problemini karma tamsayılı doğrusal bir model halinde tanımlamışlardır. Standart eniyileme kodlama programları aracılığıyla model çalıştırıldığında küçük test problemlerinin dahi uzun süreler aldığını göstermişlerdir. Bu noktada iş seçimi ve makine seçimine ilişkin kurallardan oluşturdukları sezgiselle, en iyiye yakın sonuçları çok kısa süre içerisinde elde etmişlerdir.

Christmansson ve diğerleri (2002), setleme sistemlerine ilişkin klasik olarak toplayıcının malzemeye gittiği sistemden malzemenin toplayıcıya gittiği bir yaklaşımı değerlendirmeye almaktadırlar. Önerilen durumun değerlendirilmesine yönelik olarak, bir otomobil fabrikasında malzeme tedârik atölyesinde incelemelerde bulunulmuştur. Temel olarak zaman tüketimi ve fiziksel iş yükü açısından değerlendirmelerde bulunulmuştur. Örnek olaydan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, önerilen setleme sisteminin verimliliği, benzer setleme sistemlerinden daha iyidir ve daha ileri gelişimler için potansiyel arz etmektedir.

Joshi ve diğerleri (2002), elektronik donanımlar üreten bir tesiste uygulanmakta olan setleme sistemini, 6 sigma kullanarak iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Hedeflenen, setleme esnasında meydana gelen bozuklukların %50 oranında azaltılmasıdır. Çalışmada bu ana amacın yanısıra sürekli akış sisteminin kurulması, operasyonel performansın arttırılması, setlerin tam zamanında dağıtılmasının sağlanması ve daha doğru bir setleme için kapalı döngü bir geri besleme sisteminin kurulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda setlemeye ilişkin bir aylık veri toplanmış ve benzetim modelinde kullanılmıştır.

Ramachandran ve Delen (2005), stokastik koşullar altında çalışan bir montaj sistemini incelemiştir. Setleme sistemlerinin bu tip montaj sistemlerine etkisinin ölçülmesi için bir montaj hattını besleyen iki girdinin olduğu bir sayısal örnek

tasarlamışlardır. Tampon stoklardaki kuyruk uzunlukları, olasılık teoremlerinden faydalanılarak karakterize edilmiştir. Süreci besleyen setlerin geriye kalan bekleme sürelerine ilişkin dağılım çıkartılmıştır. Kontrol fonksiyonları için uygun koşullar altında bileşen tampon stoklarındaki kuyruk büyüklüklerinin sabit olduğu gösterilmiştir.

Hua ve Zhou (2008), setleme süreci gereği depolardan malzemelerin toplanmasında dolaşım süresini enazlayan bir metot geliştirmişlerdir. Geliştirilen metot, kümelere ve eğri–tabanlı-doldurma (İng: Filling-curve-based) depo atamasına dayanmaktadır. Kümeleme metodunda yeni bir amaç fonksiyonu geliştirilmekte ve bu, genetik algoritmaya dâhil edilmektedir. Küme atama metodunda ilk olarak küme atama öncelikleri için yeni bir gösterge geliştirilmektedir. Daha sonra kısıtlar altında kümelerin en iyi atamaları ispatlanmakta ve bu durum eğrilerin doldurulmasıyla gerçek depo atama yapılandırmalarına genişletilmektedir. Eğrilerin doldurulma kalitesini etkileyen özellikler analiz edilmekte ve iyi performans özellikleri gösteren eğri doldurma sınıfları oluşturulmaktadır. Geliştirilen metodun dolaşım mesafelerini azalttığını göstermek için sayısal bir örnek üzerinde model çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre farklı etkenlerin de denenmesiyle birlikte dolaşım mesafelerinde %30 ile %50 arasında iyileştirme sağlandığı görülmüştür.

Hua ve Johnson (2010), setleme ve hat kenarında stoklama alternatiflerinden hangisinin diğerine karşı seçilmesi gerektiği noktasında yayın azlığında bahsetmiş ve bu noktadaki araştırma ihtiyacına dikkat çekmiştir. Elektronik donanımların montajına ilişkin faaliyet gösteren bir kurumda, çeşitli analizlerde bulunarak çıkarımlarda bulunmuştur. İki sistemin karşılaştırılmasında çeşitli ölçütler temel alınarak değerlendirme yapılabileceğinden bahsetmiştir. Önerilen ölçütler; ürün karakteristikleri, depolama ve malzeme taşıma, üretim kontrolü, performans etkisi ve uygulama şeklindedir.

Her iki alternatif sistemden hangisinin daha iyi olduğu noktasında öncelikli olarak yapılacak şeyin detaylı bir saha çalışması ve örnek olay çalışması olduğu belirtilmiş. Aşağıdaki adımların yerine getirilmesi önerilmiştir:

- Önceki sistemin değişime ihtiyaç duymasına neden olan problemler
- Problemlerin açığa çıkma nedenleri
- Dönüşüm esnasında izlenen süreç

- Dönüşüm esnasında karşılaşılan problemler
- Dönüşümden sonraki performansın artması veya azalması
- Performansın artma veya azalma nedenleri

Setlemede meydana gelebilecek bozukluklar; bileşenlerde eksiklik, bileşenlerde fazlalık, yanlış parçaların konulması, ambalajlanmamış veya sarılmamış ürünlerin gelmesi, bekleyen siparişler ve eksik kalan hat parçaları şeklindedir. Bu bozukluklara ilişkin negatif etkiler ise; artan makine durma süresi, gereksiz elle yükleme, süreç içi stok miktarında artış, müşteri memnuniyetsizliği ve fazla işgücü ihtiyacı şeklinde belirtilmiştir.

7. YALIN ÜRETİM ORTAMINDA İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNE İLİŞKİN GELİŞTİRİLEN MODELLER

Merkezi bir depodan yapılan taşımalarla birlikte hücreler arasında malzeme taşımalarının da olduğu düzgünleştirilmiş bir üretim yapısının esas alındığı bir yalın üretim ortamında periyodik olarak hareket eden vagonlu bir taşıma aracına ilişkin gerek literatürdeki yayınlar, gerekse de üretim ortamlarında yapılan gözlemler sonucunda, olası durumlar sınıflandırılmış ve her sınıfa ilişkin modellemeler yapılarak eniyileme programında çözdürülmüştür. Modellerin geliştirilmesinde literatürde yer alan çalışmalardan kısmen faydalanılmıştır. Belirli bir problem sınıfı için sezgisel ve alt sınır algoritması geliştirilmiş, ayrıca geliştirilmeye açık olan noktalar belirlenmiştir.

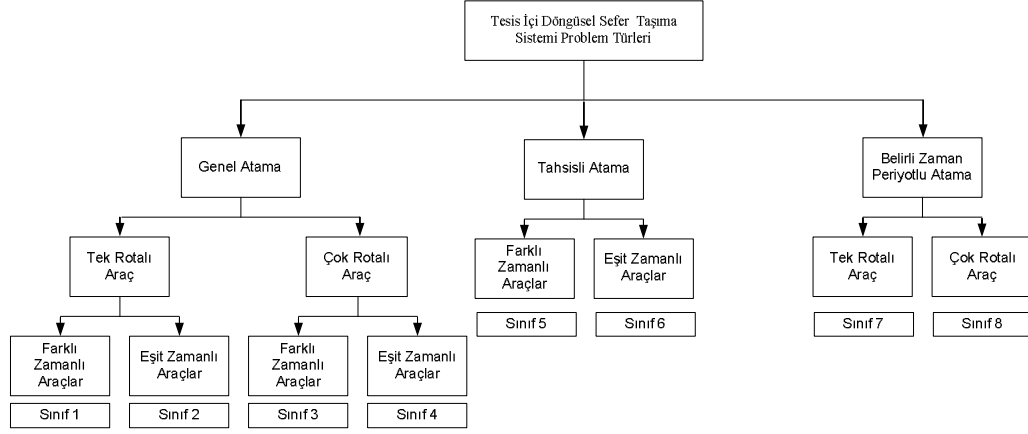
Araç rotalama problemlerine ilişkin genel değerlendirmeler neticesinde tezde incelenen fabrika içi taşıma sistemi yapısında eğer her stok alanı (trenin malzeme bırakmak veya almak için durduğu istasyon) bir müşteri gibi düşünülürse bu durumda problem, karma toplama ve dağıtımli duruma benzemektedir. Eğer her bir hücre (girdi ve çıktı stok alanını beraber içerir) bir müşteri gibi düşünülürse problem eşzamanlı toplama ve dağıtımli duruma bir yönüyle benzemektedir.

Ayrıca, problem Vaidyanathan ve diğerlerinin (1999) tam zamanında araç rotalama problemine ilişkin çalışmalarında da belirttikleri gibi envanter kontrollü rotalama problemine de benzemektedir. Benzerlik noktası envanter rotalama probleminin dağıtım mâliyeti ve envanter mâliyetinin enküçüklenmesi için taşınacak miktarların belirlenmesini esas almasından kaynaklanmaktadır.

Fakat ele alınan yalın üretim ortamında hücreler arasında da bir bağımlılık olma durumu, sabit belirli bir stok miktarı yerine araç çevrim süresine bağlı olarak değişen bir oranda stok olması, stok alanlarının fiziksel olarak sınırlı olması, çok ürünlü olması, periyodik olması ve Vaidyanathan ve diğerlerinin de (1999) benzer şekilde belirttikleri gibi talep miktarının seçilen rotanın toplam süresinin (rota sabit dolaşım süresi ve atama yapılan noktalarda yükleme-boşaltma süreleri) bir fonksiyonu şeklinde olması, problemi diğer araç rotalama problemlerinden farklılaştırmaktadır.

İncelenen makalelerde yalın üretim ortamında tesis içi toplama ve dağıtım yapmaya yönelik esnek hareket edebilen taşıma araçlarına ilişkin çok az sayıda yayın bulunmaktadır. Bunlar da modelleme açısından çok detaylı çalışmalar değildir. Tesis dışı lojistik çalışmaları için uygulamalar vardır fakat bunlar da belirtilen nedenlerden ötürü tesis içi lojistiğin yapısıyla tam olarak örtüşmemektedir.

Gerek pratik uygulamalara ilişkin çeşitli üretim ortamlarında yapılan gözlemler, gerekse de sınırlı sayıdaki yayınlara ilişkin yapılan incelemeler sonucunda, yalın üretim ortamında tesis içi lojistik problemi, döngüsel sefer sistemi esas alındığında temel olarak üç ana sınıfa ayrılmıştır. Sınıfların belirlenmesinde iki temel bilinmeyen olan rotalar ve rotalara ilişkin zaman periyotları esas alınmıştır. Ayrıca istasyonların veya stok alanlarının rotalara atanması çözümün esasında yer aldığı için atama ifadesi sınıflandırmalarda kullanılmıştır. İlk ana sınıf, rotaların ve zaman periyotlarının bilinmediği genel atama sınıfıdır. Genel atama sınıfı, bir araca tek bir rotanın atanabildiği tek rotalı ve bir araca birden fazla rotanın atanabildiği çok rotalı olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Bu iki alt sınıf da farklı ve eşit zamanlı araçlar olarak yine ikiye ayrılmıştır. İkinci ana sınıf, rotaların bilindiği fakat zaman periyotlarının bilinmediği tahsisli atama sınıfıdır. Bu sınıf da, genel atamadaki gibi farklı ve eşit zamanlı rotalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Üçüncü ve son sınıf ise zaman periyodunun bilindiği rotaların bilinmediği belirli zaman periyotlu atama sınıfıdır. Bu yaklaşım, tek rotalı araçlar ve çok rotalı araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Tesis içi döngüsel sefer taşıma sisteminin, Şekil 7.1’de gösterilen her bir alt sınıf için modelleme yapılmıştır. Yapılan modellerin tamamı, GAMS eniyileme programında çözdürülmüş ve olurlu çözümler elde edilmiştir. Her bir sınıf daha önce de açıklandığı üzere genel araç rotalama problem türlerinden olan dağıtım toplamalı ve envanter rotalama problemlerine bazı yönlerden benzemekte fakat talep miktarının seçilen rotanın toplam süresinin bir fonksiyonu şeklinde olması, sabit bir stok yerine araç çevrim süresine bağlı olan bir stok tutulması, hücreler veya stok alanları arasında bir bağımlılık olması, stok alanlarının fiziksel olarak sınırlı olması ve periyodiklik gibi çeşitli özelliklerinden ötürü mevcut araç rotalama problem türlerinden farklılaşmaktadır. Sunulan sınıflandırma bu farklılaşmaları içeren fakat kendi içerisinde rotalara ve zaman periyoduna ilişkin çeşitli olası durumlara göre farklılaşan gruplamadan meydana gelmektedir.



Şekil 7.1 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi problem türleri.

Genel atama olarak adlandırılan ilk sınıfta, rotalar ve rotalara ilişkin zaman periyotları belirli değildir. Sınıflar içerisinde belirsizlik en fazla bu grupta bulunmaktadır. Temel olarak bulunmaya çalışılan, maliyeti en küçükleyen rotalar ve rotalara ilişkin zaman periyotlarıdır. Burada bir araca bir rota veya birden fazla rota atanması durumu olabilmektedir. Geliştirilen model, karma tamsayılı doğrusal bir modeldir. Modelin geliştirilmesinde Akıllıoğlu ve diğerlerinin (2006) yaptıkları çalışmadan faydalanılmıştır. Akıllıoğlu ve diğerlerinin oluşturdukları model modifiye edilerek çeşitli açılardan farklılaştırılmıştır. Farklılaşılan noktalar bir araca birden fazla rotanın atanabildiği çoklu rota durumu, rotaların veya araçların farklı ve eşit zamanlı olma durumu, istenilen sayıda rota veya araç içerisinde seçim yapılabilmesi, hücrelerdeki girdi ve çıktı stok alanlarının hacimlerinin dikkate alınması, araç kapasitesinin her stok noktası atamasında kontrol edilmesi ve seçilen araçlara ilişkin sabit maliyetin modele eklenmesi şeklindedir.

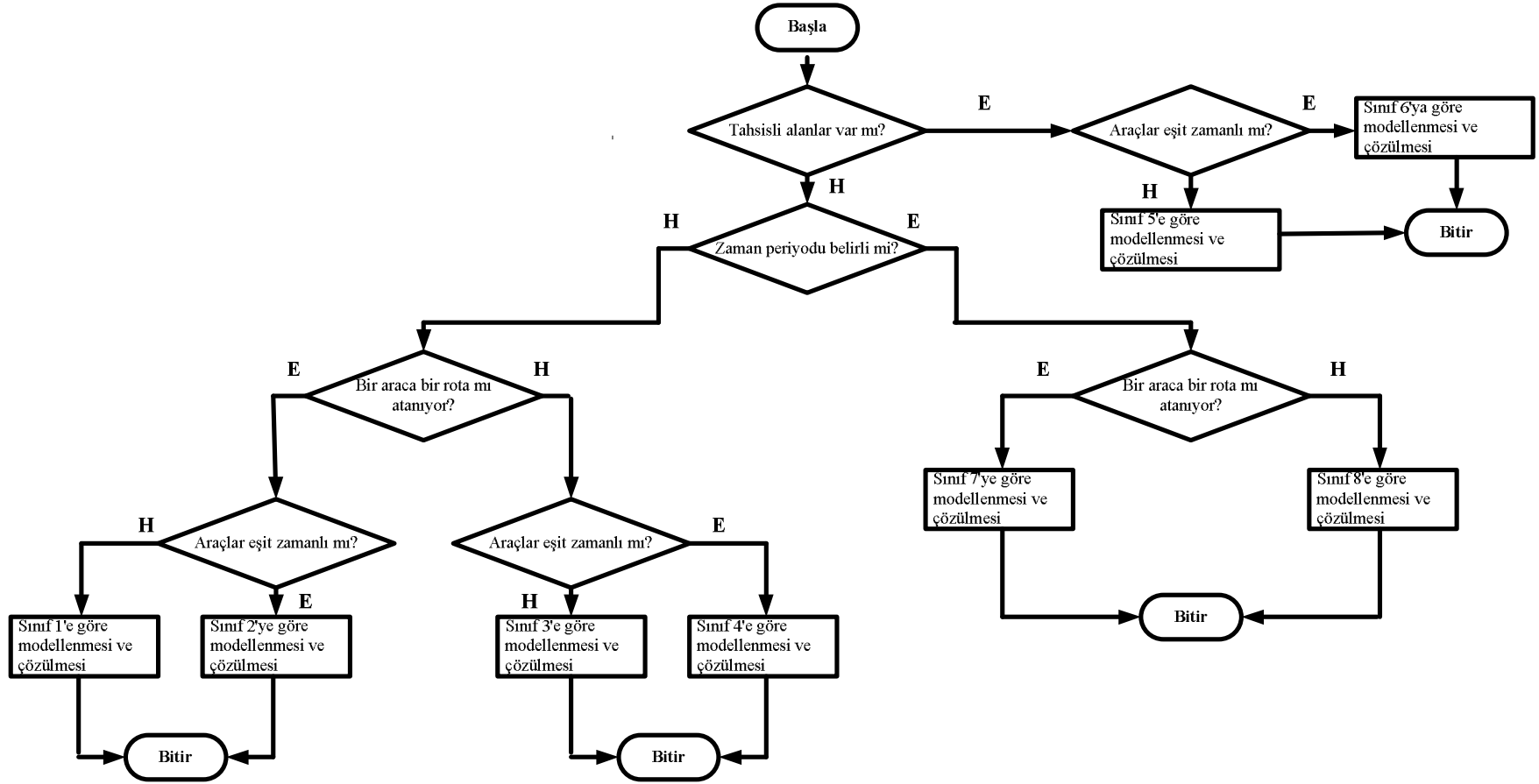
Modeldeki amaç, toplam maliyeti en küçüklemektir. Maliyeti ise temel olarak süreç içi stok miktarı, malzeme taşıma aracının yaptığı toplam tur sayısı ve malzeme taşıma aracının yatırım maliyeti oluşturmaktadır. Model tek ve çok rotalı araçlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu iki ana grup da farklı ve eşit zamanlı araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Modelin gerçek durumlar için uygulanması, kombinatoriyel olarak problemin büyümesine neden olduğundan dolayı, en iyi değer elde edilmesi zorlaşmaktadır. Tek rotalı, eşit zamanlı rotalara ilişkin özgün bir sezgisel geliştirilmiştir. Sezgiselin karşılaştırılabilmesi için bir alt sınır algoritması oluşturulmuştur.

Tahsisli olarak adlandırılan ikinci sınıfta ise genel atamadakinden farklı olarak bir aracın hizmet vereceği istasyonlar bilinmekte, yani araçlara tahsisli alanlar bulunmaktadır. Fakat rotaların zaman periyotları bilinmemektedir. Bu sınıfta da genel atamadaki gibi farklı zamanlı ve eşit zamanlı olarak iki alt sınıf bulunmaktadır. Yerleşim planı üzerindeki hücreler (ilgili istasyonlar) çeşitli ölçütlere göre önceden gruplandırılmış, gruplandırılan hücrelere araç tahsis edilmiştir. Tahsis edilen araçların amaç fonksiyonunda belirtilen mâliyeti enküçükleyecek şekilde zaman periyotlarının bulunması, problemin temel konusudur. Bu amaçla tahsisli atama durumunun farklı ve eşit zamanlı alt sınıfları için modellemeler yapılmıştır.

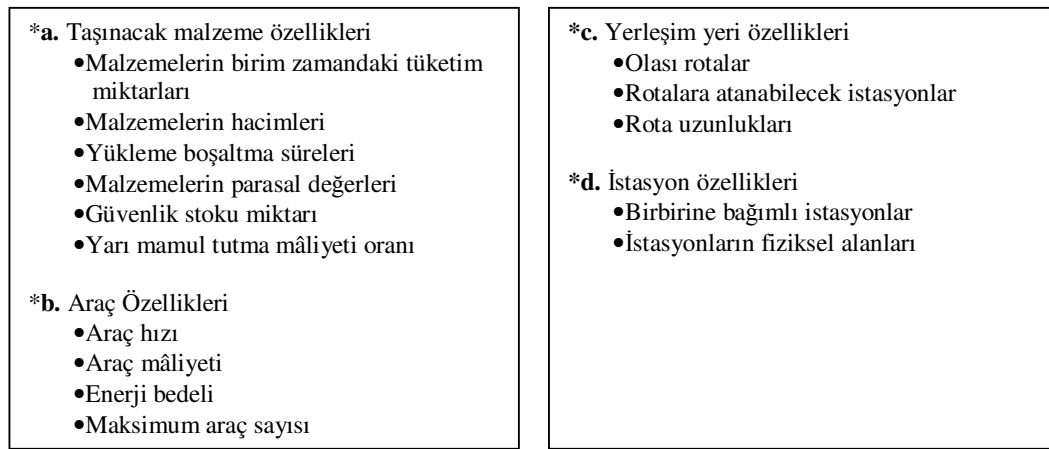
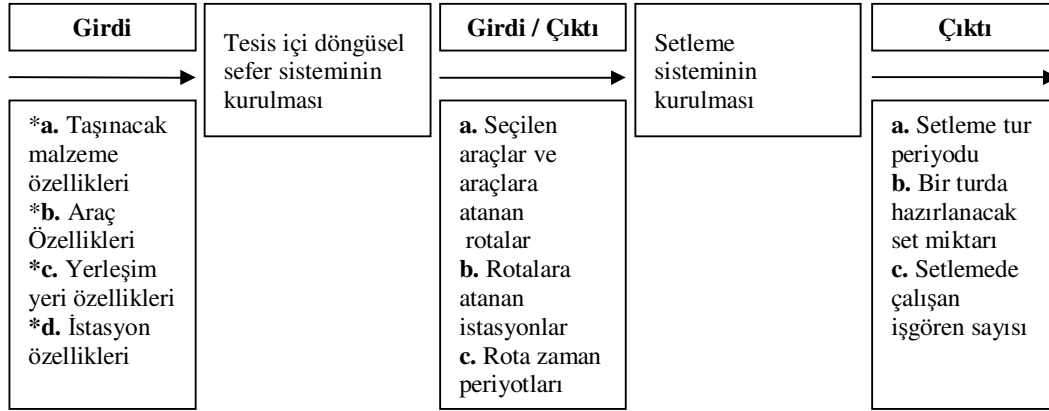
Üçüncü ve son sınıf ise belirli zaman periyotlu atamadır. Burada ise zaman periyodu belirli fakat rotalar belirli değildir. Belirli olan zaman periyodu içerisinde en uygun rotalarla hücrelerin (ilgili istasyonların) beslenmesi amaçlanmaktadır. Temel olarak amaçlanan en az araç ve en az mesafeyle taşımaların gerçekleştirilmesidir. İki alt sınıf bulunmaktadır. İlk alt sınıfta ilgili zaman periyodu içerisinde her bir araca tek bir rota atanmakta ve araç ilgili zaman periyodunu aşmayacak şekilde taşımaları yapmaktadır. İkinci durumda ise ilgili zaman periyodu içerisinde araca ilgili zaman periyodunu aşmayacak şekilde birden fazla rota atanabilmektedir. Her iki duruma ilişkin karma tamsayılı modeller geliştirilmiştir.

Sınıfların hangi durumlarda kullanıldıklarını gösteren bir akış şeması oluşturularak Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Belirli durumlar altında hangi sınıf türüne göre modelleme yapılması gerektiği Şekil 7.1’de belirtilen sınıf numaraları kullanılarak yönlendirmelerde bulunulmuştur.

Çalışmadaki özgün noktalardan biri de genel, tahsisli veya zaman periyodu belirli olan sınıflardan herhangi birine ilişkin çözümden elde edilen sonuçlara setleme sistemi eklenerek montaj kısmındaki iç lojistik kısmının detaylandırılmasıdır. Hat kenarında stoklama sisteminden setleme sistemine geçişin olurluluğunu sorgulayan, karşılaştırma yapmaya yönelik bir prosedür sunulmuş, bu noktada da yine periyodik hareketleri olurlu kılan bir doğrusal model geliştirilmiştir. Sonuç olarak çalışma birbirini tamamlayan iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi ana yerleşim planı üzerindeki rotaların ve zaman periyotlarının bulunması diğeri ise ana yerleşim planı üzerinde montaj hattının önündeki veya diğer büyük istasyonlara bırakılan malzemelerin nasıl bir taşımayla ilgili noktalara dağıtılması gerektiğinin belirlenmesine yöneliktir. Bu durum genel olarak Şekil 7.3’te şematize edilmiştir.



Şekil 7.2 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi problem sınıflarının kullanıldığı durumlar.



Şekil 7.3 : Tesis içi döngüsel sefer taşıma sistemi ile setleme sisteminin girdi ve çıktıları.

7.1 Genel Atama Durumu İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri

Genel atama sınıfı için sunulan modelin geliştirilmesinde, daha önce de belirtildiği üzere literatürde varolan bir modelden (Akıllıoğlu ve diğerleri, 2006) faydalanılmıştır. Sunulan modelin faydalanılan modelden farklılıkları şu şekildedir:

- Bir araca birden fazla rota atanabilme durumu
- Rotaların veya araçların zaman periyotlarının aynı veya farklı olabilme durumu
- İstenilen sayıda rota ve araç içerisinde seçim yapılabilmesi
- İstasyonlardaki stok yerlerinin hacimlerinin dikkate alınması
- Araç kapasitesinin her bir stok noktası atamasında kontrol edilmesi
- Seçilen araçlara ilişkin sabit mâliyetin gözönünde bulundurulması

Model, yalın üretim ortamında düzgünleştirilmiş üretimin olduğu bir sistemde periyodik olarak hareket eden bir taşıma aracına ilişkindir. Genel atama durumu, pratik uygulamalarda yapılan gözlemlerden esinlenerek bir araca tek rotanın veya birden fazla rotanın atandığı durum ile farklı ve eşit zamanlı rotalar veya araçlar olarak ikiye ayrılmıştır. Her iki duruma ilişkin modeller geliştirilmiştir.

7.1.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Genel atama durumu için geliştirilen iki modelden biri olan bu modelde ilgili rotaların zaman periyotları farklı olabilmektedir.

Modele ilişkin gerekli varsayımlar, amaç ve kısıtlar ile tanımlamalar aşağıdaki gibidir. Modelde temel olarak amaçlanan, süreç içi stok mâliyeti ve taşımayla ilişkili mâliyetlerin enküçüklenmesidir.

Varsayımlar

Modelin oluşturulmasında aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmeye alınmıştır.

- Tekrarlı ve düzgünleştirilmiş bir üretimin yapıldığı yalın üretimi esas alan bir üretim sistemine göre model tasarlanmıştır.
- Üretim çekme esasludur ve kanbanlar kullanılmaktadır.
- Yerleşim planı sabittir. Mevcut yerleşim planı üzerinde değişiklik yapılmaksızın taşıma sistemi tasarlanmaktadır.
- Her bir stok noktası bir malzemeye karşılık gelmektedir. Stok noktasının birim zamandaki talep veya arz hızı sabit olarak alınmıştır.
- Hücre içi taşımalar değerlendirilmeye alınmamaktadır. Hücrelerin girdi ve çıktı noktalarındaki malzeme hareketleri değerlendirilmeye alınmaktadır.
- Ara stok değerinin hesaplanmasında belirlenen oran, fırsat mâliyeti kapsamında değerlendirilmeye alınmıştır.
- Aracın hızı sabittir ve her turu aynı sürede tamamlamaktadır.
- Yükleme-boşaltma süreleri deterministiktir.
- Aracın hareketi esnasında trafik sıkışıklığı olmamaktadır.
- Aracın her tur mâliyeti aynıdır.
- Her bir araç sadece bir rotada hizmet vermektedir.
- Taşıma aracı arıza vermemektedir.
- Sistemdeki tüm araçlar birbirinin aynısıdır.

- Boş kasaların taşınması, aracın kapasitesine etki etmemektedir.
- Malzeme taşıma kutularının kapasiteleri aynıdır.
- Montaj hattına getirilen parçalar bir noktaya bırakılmakta ve o noktadan sonraki taşımalar dikkate alınmamaktadır.

MODEL

Model İndisleri

i,j: Stok noktası

a,b: Stok alanı

r: Rota veya araç

t: Zaman dilimi

s_r, ss_r: Rota r'ye atanabilecek noktaların atanma sıra numarası

Karar değişkenleri

rota_r: “r” rotası seçilmiş ya da seçilmemiş (0 ya da 1)

X_{ir}: Stok noktası “i” rota “r” ye atanmış ya da atanmamış (0 ya da 1)

S_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasında tutulacak güvenlik stoku miktarı

D_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasının bir çevrimlik talep miktarı

L_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasındaki bir çevrimlik indirme-bindirme süresi

Z_{tr}: “r” rotasının hangi zaman dilimine atandığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

Y_{ar}: “a” stok alanının hangi rotaya atandığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

araccev_r: “r” aracının çevrim süresi

aracbos_r: “r” aracının boşta kalma süresi

Kümeler

A: Hammadde deposu ve montaj istasyonu stok alanları kümesi

B: Birbirine parça iten ya da birbirinden parça çeken stok noktaları kümesi

C: Aynı istasyon içerisindeki yükleme ve boşaltma stok alanları

N_r: “r” rotasına atanabilecek stok noktaları kümesi

N_a: “a” stok alanı içerisindeki stok noktaları kümesi

Parametreler

sure_r: Rota “r” için hiç bir stok alanına uğramaksızın yolda geçen sabit süre

sira_{sri}: “r” rotasına atanabilecek “i” stok noktasının “s.” atama sıralamasında olup olmadığını gösteren 0 ya da 1 olan değer

C_r: “r” rotasının çevrim başına düşen taşıma mâliyeti

tt_t: “t” zaman diliminin içerdiği 2 dakikalık zaman dilimi sayısı

W_i: “i” stok noktasındaki mamulün birim değeri

isaret_i: “i” stok noktasının arz veya talep noktası olmasına göre aldığı -1 ya da 1 değeri

hacim(a): “a” stok alanının (bölgesinin) hacmi

P: Kaç çevrimlik talep kadar güvenlik stoku tutulacağı

aracmâliyet: Kullanılacak olan taşıma aracının mâliyeti

aracsayi: Taşımada kullanılmasına izin verilen maksimum araç sayısı

maksaracbos: Aracın maksimum boşta kalabileceği süre

f: Birim başına düşen günlük yarı mamul tutma mâliyeti oranı

d_i: “i” stok noktasının birim zamandaki talep veya arz miktarı

l_i: “i” stok noktasındaki parça için birim indirme-bindirme süresi

kap_r: “r” rotasına hizmet veren aracın kapasitesi

v_i: “i” stok noktasındaki ürünün birim hacmi

M: Çok büyük bir sayı

Amaç

Enazla

$$z = \sum_r \sum_i D_{ir} W_i f / 2 + \sum_r \sum_i S_{ir} W_i f + [\sum_t \sum_r C_r Z_{tr} (24.60 / (tt_t . 2))] + \sum_r aracmaliyet.rota_r \quad (7.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (7.2)$$

$$\sum_r Y_{ar} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.3)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ir} = 0 \quad \forall r \quad (7.4)$$

$$X_{ir} = X_{jr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall r \quad (7.5)$$

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.6)$$

$$M.X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.7)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.8)$$

$$L_{ir} = D_{ir}.l_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.9)$$

$$D_{ir} + M(1 - X_{ir}) \geq araccev_r.d_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.10)$$

$$S_{ir} = D_{ir}.P \quad \forall i, \forall r \quad (7.11)$$

$$\sum_i \sum_r (D_{ir} + S_{ir}).v_i \leq hacim_a \quad i \in N_a, \forall a \quad (7.12)$$

$$MY_{ar} \geq \sum_i X_{ir} \quad i \in N_a, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.13)$$

$$Y_{ar} = Y_{br} \quad \forall (a, b) \in C, \forall_r \quad (7.14)$$

$$[2tt_t - M(1 - Z_{tr})] \leq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.15)$$

$$[2(tt_t + 1) + M(1 - Z_{tr})] \geq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.16)$$

$$\sum_t Z_{tr} \leq 1 \quad \forall r \quad (7.17)$$

$$\sum_r rota_r = \sum_r \sum_t Z_{tr} \quad (7.18)$$

$$M.rota_r \geq Z_{tr} \quad \forall r, \forall t \quad (7.19)$$

$$M.rota_r \geq \sum_i X_{ir} \quad \forall r \quad (7.20)$$

$$rota_r = \sum_t Z_{tr} \quad \forall r \quad (7.21)$$

$$\sum_r rota_r \leq aracsayi \quad (7.22)$$

$$M.rota_r \geq aracbos_r \quad \forall r \quad (7.23)$$

$$aracbos_r \leq maksaracbos \quad \forall r \quad (7.24)$$

$$M.rota_r \geq D_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.25)$$

$$M.rota_r \geq S_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.26)$$

$$M.rota_r \geq L_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.27)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + rota_r.sure_r + aracbos_r \quad \forall r \quad (7.28)$$

$$\sum_{ss_r=1}^{s_r} \sum_i D_{ir}.v_i.sira_{s_r,i}.isaret_i \leq kap_r \quad \forall r, \forall s_r \quad (7.29)$$

$$X_{ir}, Z_{tr}, Y_{ar}, rota_r \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall a, \forall t, \forall r, \forall s_r \quad (7.30)$$

TANIMLAMALAR

AMAÇ FONKSİYONU

$$z = \underbrace{\sum_r \sum_i D_{ir} W_i f / 2}_{\mathbf{A}} + \underbrace{\sum_r \sum_i S_{ir} W_i f}_{\mathbf{B}} + \underbrace{[\sum_t \sum_r C_r Z_{tr} (24.60 / (tt(t).2))]}_{\mathbf{C}} + \dots$$

$$\underbrace{\sum_r aracmaliyet.rota_r}_{\mathbf{D}} \quad (7.31)$$

A: Taşınan miktarlardan kaynaklanan yarı mamul stok mâliyeti

B: Güvenlik stokundan kaynaklanan yarı mamul stok mâliyeti

C: Araç çevrim zamanlarının düştüğü zaman aralığından yola çıkarak gün boyu yapılan çevrim sayısını bir çevrimin birim mâliyetiyle çarparak bulunan günlük taşıma mâliyeti

D: Seçilen araçların günlük yıpranma mâliyeti ve aracı kullanan işgörenin günlük mâliyeti

KISIT 1

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (7.32)$$

Her stok noktasının bir rotaya atanmasını sağlar.

KISIT 2

$$\sum_r Y_{ar} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.33)$$

Hammadde deposu, montaj alanı ve ürün deposundaki stok alanları hariç her stok alanının bir rotaya atanmasını sağlar.

KISIT 3

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ir} = 0 \quad \forall r \quad (7.34)$$

İş akışı ve öncelik kısıtları açısından ilgili rotaya atanamayacak olan stok noktalarının atanmamasını sağlar.

KISIT 4

$$X_{ir} = X_{jr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall r \quad (7.35)$$

Birbirine parça iten ya da birbirinden parça çeken stok noktalarının aynı rotaya atanmasını sağlar.

KISIT 5

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.36)$$

“r” rotasına atanmayan stok noktalarının toplam talebinin sıfıra eşit olmasını sağlar.

KISIT 6

$$M.X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.37)$$

“r” rotasına atanmayan stok noktalarının güvenlik stokunun sıfıra eşit olmasını sağlar.

KISIT 7

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.38)$$

“r” rotasına atanmayan stok noktalarının toplam indirme-bindirme süresinin sıfıra eşit olmasını sağlar.

KISIT 8

$$L_{ir} = D_{ir}.l_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.39)$$

Her stok noktası için toplam miktara bağlı (değişken) indirme-bindirme süresinin belirlenmesini sağlar.

KISIT 9

$$D_{ir} + M(1 - X_{ir}) \geq araccev_r.d_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.40)$$

Bir stok noktasının bir çevrimdeki toplam talebi belirlenir. Talep değeri, stok noktasının atandığı rotanın çevrim süresi ile stok noktasının birim zamandaki talebinin çarpımıyla elde edilir. Kısıtın sağ tarafında verilen çevrim süresi üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar rotaya atanmış stok noktalarından geçen değişken sürelerin toplamı, aracın herhangi bir atama yapılmadığı durumda yolda geçen zaman sabit süre “sure_r” ve aracın boşta beklediği süre şeklindedir. Üçüncü süre olan araç boşta bekleme süresi, modele esneklik kazandırmak için eklenmiştir. Aracın boşta beklemesi gerekmemektedir. Bu değişken bir üst sınırla da kısıtlanabilmektedir.

KISIT 10

$$S_{ir} = D_{ir}.P \quad \forall i, \forall r \quad (7.41)$$

Bir stok noktasındaki güvenlik stoku miktarını, o stok noktasındaki toplam talebi istenen güvenlik stoku katsayısıyla çarparak belirler.

KISIT 11

$$\sum_i \sum_r (D_{ir} + S_{ir}).v_i \leq hacim_a \quad i \in N_a, \forall a \quad (7.42)$$

Bir stok alanındaki stok noktalarına ilişkin toplam (taşınan miktar ve güvenlik stoku) hacmin, stoklama bölgesinin toplam hacminden küçük olmasını sağlar.

KISIT 12

$$MY_{ar} \geq \sum_i X_{ir} \quad i \in N_a, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.43)$$

Bir stok alanındaki bütün stok noktalarına tek bir aracın atanması sağlanır.

KISIT 13

$$Y_{ar} = Y_{br} \quad \forall (a,b) \in C, \forall_r \quad (7.44)$$

Aynı istasyon içerisindeki stok alanlarının aynı rotaya atanması sağlanır.

KISIT 14 VE 15

$$[2tt_t - M(1 - Z_{tr})] \leq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.45)$$

$$[2(tt_t + 1) + M(1 - Z_{tr})] \geq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.46)$$

Araca ilişkin çevrim süresinin hangi iki dakikalık zaman aralığına düştüğünü belirler.

KISIT 16

$$\sum_t Z_{tr} \leq 1 \quad \forall r \quad (7.47)$$

Her bir rotanın en fazla bir zaman aralığına atanmasını sağlar.

KISIT 17

$$\sum_r rota_r = \sum_r \sum_t Z_{tr} \quad (7.48)$$

Seçilen rota sayısı ile atanan zaman aralıklarının eşit olması sağlanır.

KISIT 18

$$M.rota_r \geq Z_{tr} \quad \forall r, \forall t \quad (7.49)$$

Zaman aralığı atanan bir rota seçilir, zaman aralığı atanmayan bir rota seçilmez.

KISIT 19

$$M.rota_r \geq \sum_i X_{ir} \quad \forall r \quad (7.50)$$

Seçilmeyen bir rotaya stok noktası atanmasını engeller.

KISIT 20

$$rota_r = \sum_t Z_{tr} \quad \forall r \quad (7.51)$$

Seçilen rotaya bir zaman aralığının atanması, seçilmeyen rotaya hiç bir zaman aralığının atanmaması sağlanır.

KISIT 21

$$\sum_r rota_r \leq aracsayi \quad (7.52)$$

Seçilebilecek maksimum araç sayısının sınırlandırılması sağlanır.

KISIT 22

$$M.rota_r \geq aracbos_r \quad \forall r \quad (7.53)$$

Seçilmeyen araca boş süre ataması yapılmaması sağlanır.

KISIT 23

$$aracbos_r \leq maksaracbos \quad \forall r \quad (7.54)$$

Araçların boşta kalma süresi sınırlandırılır.

KISIT 24

$$M.rota_r \geq D_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.55)$$

Seçilmeyen rotaya talep ataması yapılmaması sağlanır.

KISIT 25

$$M.rota_r \geq S_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.56)$$

Seçilmeyen rotaya güvenlik stoku ataması yapılmaması sağlanır.

KISIT 26

$$M.rota_r \geq L_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (7.57)$$

Seçilmeyen rotada, yükleme boşaltma süresi olmaması sağlanır.

KISIT 27

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + rota_r.sure_r + aracbos_r \quad \forall r \quad (7.58)$$

Her seçilen rotanın tam çevrim süresini verir.

KISIT 28

$$\sum_{s_r=1}^{s_r} \sum_i D_{ir} \cdot v_i \cdot \text{sira}_{s_r,i} \cdot \text{isaret}_i \leq \text{kap}_r \quad \forall r, \forall s_r \quad (7.59)$$

Seçilen rotadaki aracın taşıma kapasitesinin ilgili rotaya stok noktası atama yapılma sırasına da uygun olarak her stok noktasında aşılmasını sağlar.

KISIT 29

$$X_{ir}, Z_{ir}, Y_{ar}, \text{rota}_r \in \{0,1\}, \text{diğerleri} \geq 0 \quad \forall i, \forall a, \forall t, \forall r, \forall s_r \quad (7.60)$$

Karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

7.1.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Genel atama modelinin farklı bir diğer türü de eşit zamanlı olanıdır. Pratik uygulamalarda eşit zamanlı rotaların da kullanıldığı gözlemlenmiştir. Her rotanın çevrim süresinin aynı olduğu bu türde farklı zamanlı modeldeki varsayımlar ve model amacı aynıdır. Sadece kısıtlara, seçilen rotaların zaman periyotlarını aynı yapmayı sağlayan aşağıdaki kısıt ve bu kısıtın gereği olarak bazı değişkenler, genel atama tek rotalı durumda eklenmektedir.

vv_t : “t” zaman periyodu seçilmişse 1, seçilmemişse 0.

$$\sum_r Z_{ir} \leq M \cdot vv_t \quad \forall_t \quad (7.61)$$

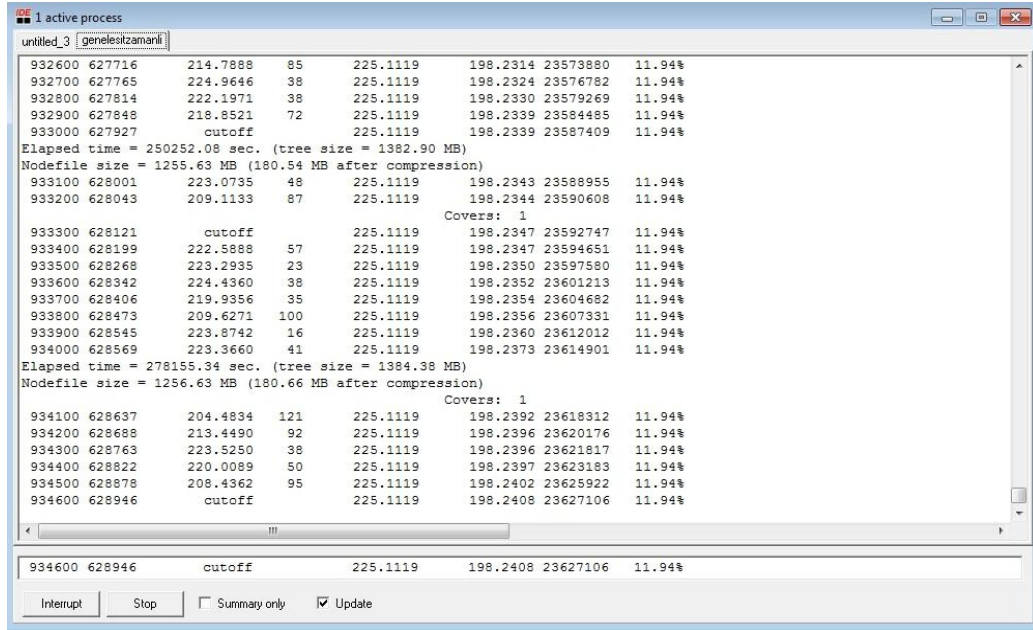
$$\sum_r \text{rota}_r - \sum_r Z_{ir} \leq M \cdot (1 - vv_t) \quad \forall_t \quad (7.62)$$

$$vv_t \in \{0,1\} \quad (7.63)$$

Kısıt (7.61) ve kısıt (7.62)’deki eşitsizlikler birbiriyle ilişkilidir. Kısıt (7.61)’de eğer “t” zaman dilimine herhangi bir rota atanmışsa bu durumda “vv_t” bire eşit olmak durumunda kalacak, bu durumda da kısıt (7.62)’deki eşitsizliğin sağlanması için seçilen toplam rota ile ilgili zaman dilimine atanan toplam rotaların sayısı eşit olacaktır. Yani bütün rotalar aynı zaman dilimine atanmış olacaktır. Diğer durumda eğer “t” zaman dilimine herhangi bir rota atanmamışsa, kısıt (7.62)’deki eşitsizliğin sağlanabilmesi için “vv_t” sıfıra eşit olacaktır. Kısıt (7.63) “vv_t” karar değişkeninin 0 ya da 1’e eşit olmasını sağlar.

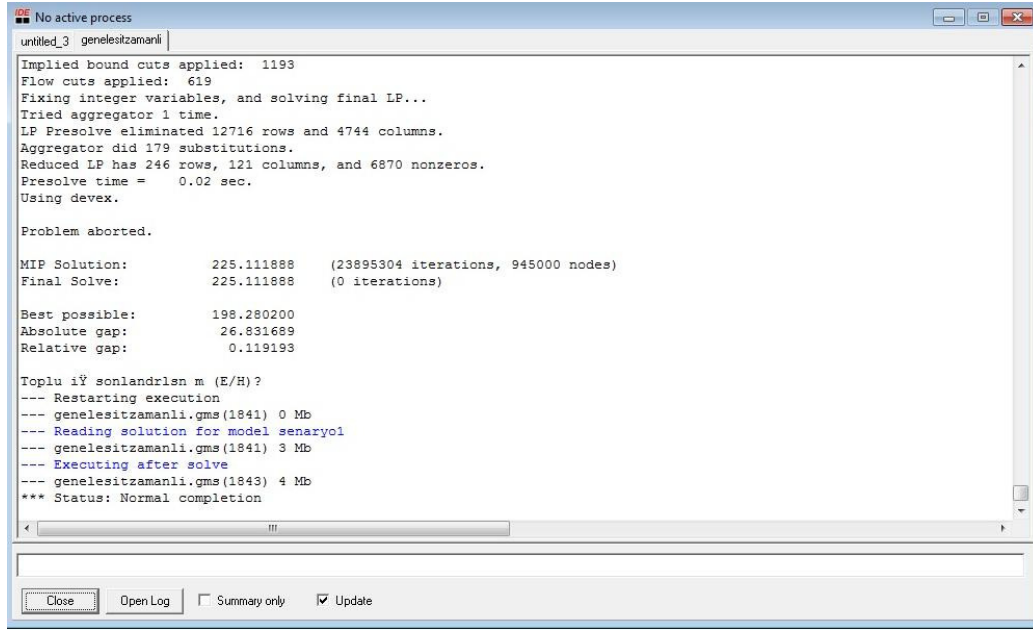
7.1.2.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Sezgisel Algoritma

Genel atama durumuna ilişkin geliştirilen modellerde, rota ve zaman periyodunun her ikisinin de bilinmemesinden dolayı diğer sınıflara göre en iyi çözümü elde etmek daha zordur. Geliştirilen karma tamsayı modellerin gerçek hayattaki problemlere uygulanması durumunda çok uzun sürelerde en iyi sonucu vereceği anlaşılmaktadır. Nitekim dokuz olası rota ve 16 hücreden oluşan bir sayısal örnek, çeşitli parametre değerleri verilerek genel atama eşit zaman periyotlu tek rotalı araç durumuna göre GAMS eniyileme programında modellenmiştir. CPLEX çözücüsünde Pentium 2.93 Ghz işlemcili, 4 GB RAM'li bir bilgisayarda üç günü aşkın bir süreyle çalıştırılmış ve en iyi değer elde edilememiştir. Çalışmakta olan program üçüncü günde durdurularak, Şekil 7.4'teki ekran çıktısı alınmıştır. Bu açıdan daha kolay uygulanabilen ve daha kısa sürede en iyi çözüme yakın bir çözüm üreten bir sezgisel geliştirilmeye çalışılmıştır. Sezgisel algoritma eşit zamanlı durum için geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmadan elde edilen çözümü kıyaslayabilmek için alt sınır bulmaya yönelik bir algoritma da geliştirilmiştir.



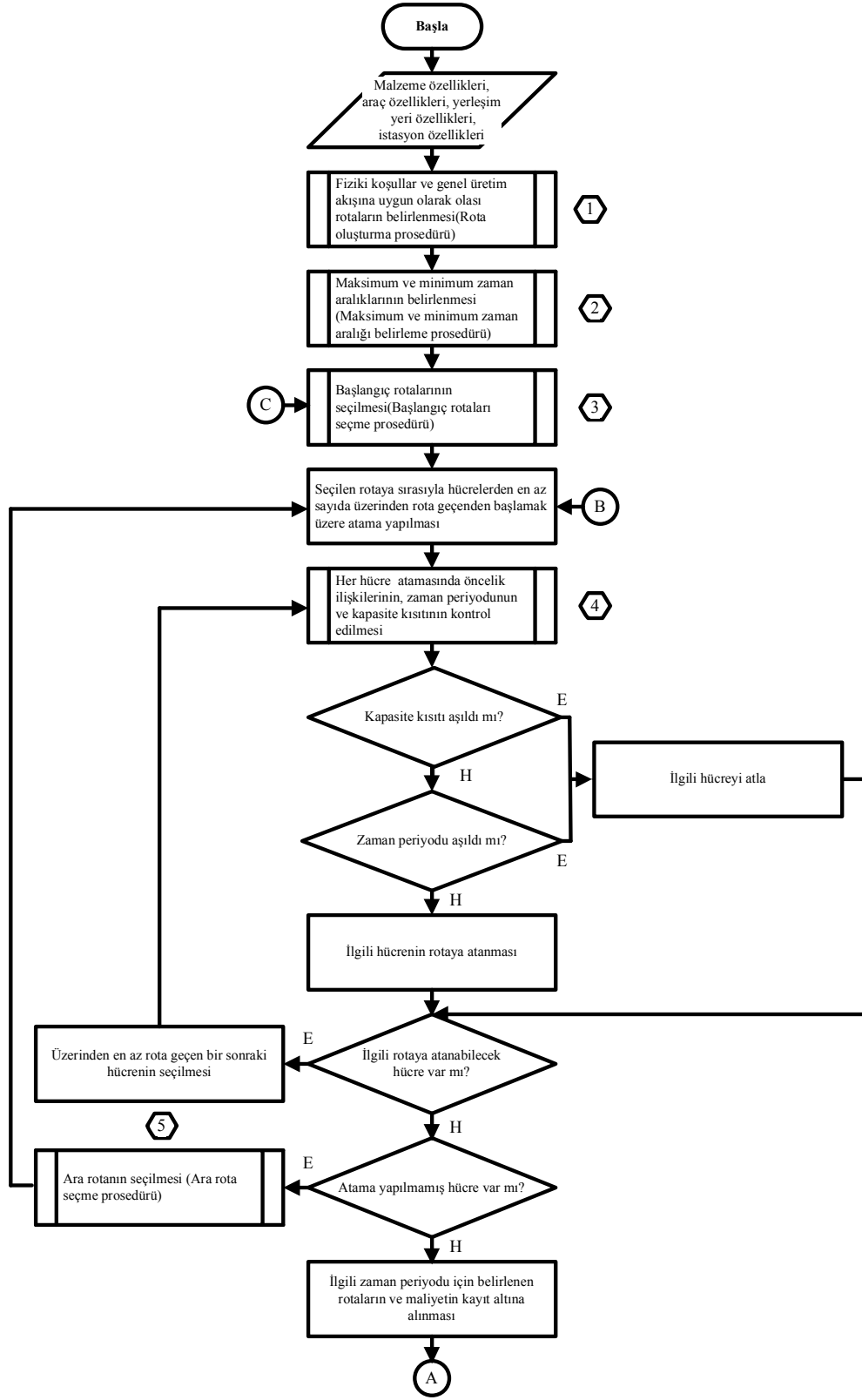
Node	Value	Constraint	Value	Constraint	Value
932600	627716	214.7888	85	225.1119	198.2314 23573880 11.94%
932700	627765	224.9646	38	225.1119	198.2324 23576782 11.94%
932800	627814	222.1971	38	225.1119	198.2330 23579269 11.94%
932900	627848	218.8521	72	225.1119	198.2339 23584485 11.94%
933000	627927	cutoff		225.1119	198.2339 23587409 11.94%
Elapsed time = 250252.08 sec. (tree size = 1382.90 MB)					
Nodefile size = 1255.63 MB (180.54 MB after compression)					
933100	628001	223.0735	48	225.1119	198.2343 23588955 11.94%
933200	628043	209.1133	87	225.1119	198.2344 23590608 11.94%
Covers: 1					
933300	628121	cutoff		225.1119	198.2347 23592747 11.94%
933400	628199	222.5888	57	225.1119	198.2347 23594651 11.94%
933500	628268	223.2935	23	225.1119	198.2350 23597580 11.94%
933600	628342	224.4360	38	225.1119	198.2352 23601213 11.94%
933700	628406	219.9356	35	225.1119	198.2354 23604682 11.94%
933800	628473	209.6271	100	225.1119	198.2356 23607331 11.94%
933900	628545	223.8742	16	225.1119	198.2360 23612012 11.94%
934000	628569	223.3660	41	225.1119	198.2373 23614901 11.94%
Elapsed time = 278155.34 sec. (tree size = 1384.38 MB)					
Nodefile size = 1256.63 MB (180.66 MB after compression)					
Covers: 1					
934100	628637	204.4834	121	225.1119	198.2392 23618312 11.94%
934200	628688	213.4490	92	225.1119	198.2396 23620176 11.94%
934300	628763	223.5250	38	225.1119	198.2396 23621817 11.94%
934400	628822	220.0089	50	225.1119	198.2397 23623183 11.94%
934500	628878	208.4362	95	225.1119	198.2402 23625922 11.94%
934600	628946	cutoff		225.1119	198.2408 23627106 11.94%

Şekil 7.4 : GAMS eniyileme programının 3. günde çalışırken ve yarıda kesildiğinde elde edilen ekran görüntüleri.

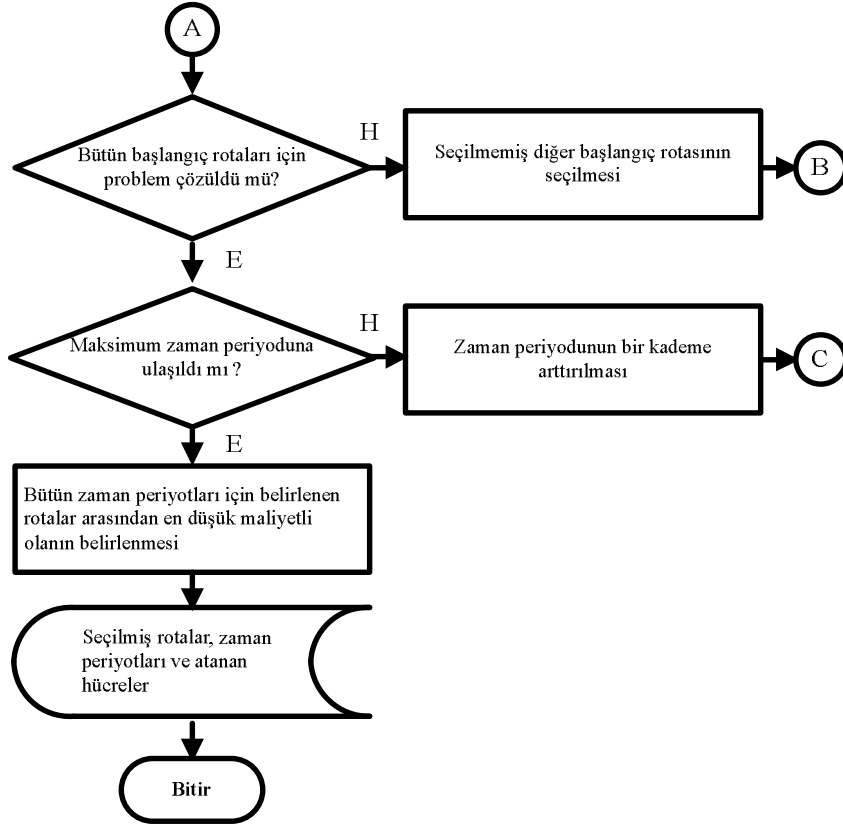


Şekil 7.4 (devam) : GAMS eniyileme programının 3. günde çalışırken ve yarıda kesildiğinde elde edilen ekran görüntüleri.

Geliştirilen sezgisele ilişkin algoritma Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Algoritmanın uygulanmasında bazı adımlarda uygulanması gereken prosedürler bulunmaktadır. Bunlar rota oluşturma prosedürü, başlangıç rotaları seçme prosedürü, ara rota seçme prosedürü ile maksimum ve minimum zaman aralıklarının belirlenmesine yönelik prosedürlerdir.



Şekil 7.5 : Geliştirilen sezgiselin algoritması.



Şekil 7.5 (devam) : Geliştirilen sezgiselin algoritması.

Rota Oluşturma Prosedürü



Fabrikanın yerleşim planına göre olası birçok rota seçimi yapılabilmektedir. Fakat bütün rotaların değerlendirilmeye alınması gereksiz iş yükü oluşturacak ve hesaplama sürelerinde önemli artışa neden olacaktır. Bu amaçla olası rotaların seçilmesinde dikkat edilmesi gereken temel adımlar şu şekilde olabilir:

- *Başlanılan noktaya (hammadde/malzeme deposu) geri dönmek üzere rota kombinasyonları oluşturulur.
- *Oluşturulan rotalardan fiziki olarak yerleşim planında hareketi mümkün olmayanlar ve iş akış yönüne ters olanlar elenir.
- *Birbirine bağımlı olan hücrelerden birinden geçip diğerinden geçmeyen rotalar elenir.
- *Aynı hücreden ikiden fazla geçen rotalar elenir.

Önerilen matematiksel modelde seçilen rotalara ilişkin zaman aralıkları belirlenmektedir. En uygun zaman aralığına ilgili rotalar atanmaktadır. Zaman aralıkları için alt ve üst değerlerin belirlenmesine ilişkin aşağıdaki prosedür geliştirilmiştir. Böylece değerlendirmeye alınacak zaman aralıkları sayısı azaltılmış olacaktır.

*Rota alternatifleri içinde bir tam turunu en kısa sürede tamamlayan rota belirlenir. Bu rotaya ilişkin süreden büyük olan en küçük zaman aralığı, atama yapılabilecek minimum zaman aralığını oluşturacaktır.

Minimum Zaman Aralığı > En Kısa Süreli Rota (7.64)

* Değerlendirmeye alınabilecek maksimum zaman aralığını araç kapasitesi ile hücrelerdeki stoklama alanları sınırlandırmaktadır.

Sistemde kullanılan araç sayısına göre maksimum zaman aralığı değişkenlik gösterebilmektedir. Sistemde kullanılabilecek maksimum araç sayısı bilindiğinde maksimum zaman aralığı bulunabilir. Zaman değeri arttıkça taşınması gereken malzeme miktarı artmakta, bu da araç kapasite kullanım oranını etkilemektedir. Bu durumda aşağıdaki eşitliğin sağlandığı zaman değeri maksimum zaman değerini (tmaks) vermektedir.

(maks araç sayısı*araç kapasitesi) = (tmaks*birim zamandaki talep) (7.65)

Stok alanlarının değerlendirilmeye alındığı durumda ise taşıma yapılan her malzemenin güvenlik stok miktarı da değerlendirmeye alınarak ilgili stok alanının aşılmasında gerekmektedir. Aşağıdaki eşitsizliğin her stok alanı için sağlanması gerekmektedir. Eşitsizliği bozan en küçük “t” değeri “tmaks” değerini vermektedir.

$(1 + \text{güvenlik stok oranı}) * (\text{Birim zamanda kullanılan malzeme miktarı} * t) * (\text{birim malzeme hacmi}) \leq \text{stok alanı}$ (7.66)

Araç kapasitesi ve stok alanlarından elde edilen “t” değerleri karşılaştırılarak en küçük olan değer “tmaks” olarak belirlenebilir.

.

Başlangıç rotalarının seçilmesi

3

Başlangıç rotasının veya rotalarının seçilmesinde aşağıdaki adımlar uygulanarak şartları sağlayan rotalar seçilmekte ve rota kümesi oluşturulmaktadır.

*İlk olarak hücreler, üzerlerinden geçen rota sayılarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanır.

*En az sayıda rota geçen hücre ya da hücrelerden geçen rotalar belirlenir.

*İlgili rotalar arasından ilk etapta en çok boş hücreden geçen rota belirlenir. Bu durumu sağlayan birden fazla rota varsa, bunlardan kısa süreli olan seçilir ve başlangıç rota kümesine atılır.

*İkinci etapta yine ilgili rotalar arasından en kısa süreli olanlar belirlenir. Bu durumu sağlayan birden fazla rota varsa, bunlardan en çok boş hücreden geçen seçilir ve başlangıç rota kümesine eklenir.

Hücre atamalarında öncelik ilişkilerinin, zaman periyodunun ve kapasite kısıtının kontrol edilmesi

4

Hücre atamalarında dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de öncelik ilişkilerinin, zaman periyodunun ve kapasite kısıtının kontrol edilmesidir. Atama yapılırken birbiriyle ilişkili kümelerden biri bir rotaya atanırsa, diğerinin de atanması gerekmektedir. Zaman periyodu da dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır. Her atamada zaman periyodunun aşılmamasına bakılmalıdır. Aşıldığı noktada atama bırakılmalıdır. Ayrıca her atama aşamasında aracın kapasitesinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Ara rota seçme prosedürü

5

Ara rotalar, kendisinden önce en az bir rotanın seçildiği ve atamanın yapıldığı rotalardır. Bu rotaların belirlenmesinde aşağıdaki adımlar uygulanacaktır:

*Atama yapılmamış hücrelerin üzerinden geçen rota sayıları belirlenir.

*En az sayıda hücreden geçen rotalar belirlenir.

*İlgili rotalar arasında en çok sayıda boş hücreden geçen seçilir. Bu durumu sağlayan birden fazla rota varsa en kısa süreli olanı seçilir.

7.1.2.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Alt Sınır Algoritması

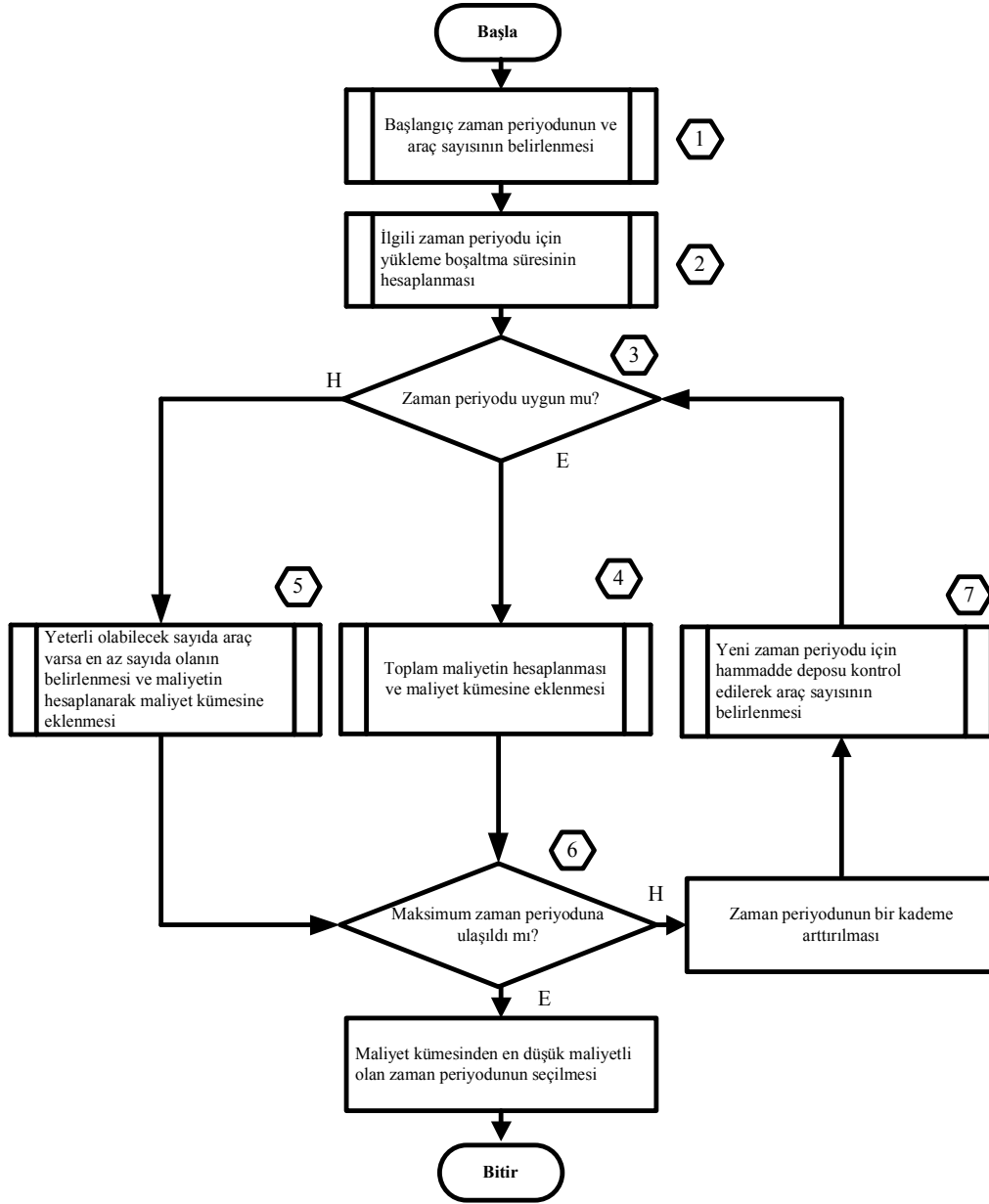
Geliştirilen sezgiselin belirli bir referansa göre değerlendirilebilmesi için alt sınır algoritması geliştirilmiştir. Alt sınır bulmada sınırlayıcı olan üç kısıttan faydalanılmaktadır. Bunlar araç kapasite kısıtları, hücrelerdeki girdi ve çıktı stok alan hacimleri ve toplam yükleme boşaltma süreleri değerleridir.

Araç sayısı, her zaman periyodu için hammadde deposundan alınacak malzemelerin taşınmasında yeterli olup olamayacağı noktasında kontrol edilmektedir. En az hammadde deposundaki malzeme miktarını karşılayacak sayıda araç bulunması gerekmektedir.

Hücrelerdeki girdi çıktı stok bölgelerinin hacimleri ve maksimum araç sayısı da daha önce sezgiselde açıklandığı üzere maksimum zaman periyodunun belirlenmesinde etkindirler.

Sistemde belirlenen talep miktarları için gerekli olan toplam yükleme boşaltma süresi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu değer, aracın sabit dolaşım süresine eklenerek aracın toplam çevrim süresinin aşılması gerekmektedir.

Bütün bu durumlar gözönünde bulundurulduğunda alt sınırın bulunmasına ilişkin adımlar Şekil 7.6'daki gibi ilerlemektedir:



Şekil 7.6 : Alt sınır bulmaya ilişkin geliştirilen algoritma.

1

Başlangıç zaman periyodunun belirlenmesinde izlenecek adımlar şu şekildedir:

*En kısa rotaya ilişkin sabit dolaşım süresi başlangıç zaman periyodu olarak ele alınır.

*İlgili zaman periyodunda hammadde deposundan çekilmesi gereken malzeme miktarı belirlenir.

*Bu malzeme miktarını karşılayacak araç sayısı belirlenir.

Gerekli araç sayısı birden fazla ise en kısa süreli rotadan başlamak üzere ilgili araç sayısı kadar ilerlenir ve başlangıç periyodu seçilir. Örneğin gerekli araç sayısı üç ise, en kısa süreli üçüncü rotanın süresi başlangıç zaman periyodu olarak belirlenir.

2

*Yükleme boşaltma süresi talep ile doğru orantılıdır. Talep de zaman periyoduna bağlı olduğu için, ilgili zaman periyodundaki talep hesaplanır ve bu talebe ilişkin bütün hücrelerdeki toplam yükleme boşaltma süresi belirlenir.

3

*Zaman periyodunun uygunluğunun belirlenmesinde esas olan nokta, eldeki araçların toplam sabit sürelerine bütün stok alanlarındaki toplam yükleme boşaltma sürelerinin ve varsa diğer sürelerin (araca ilişkin veya çeşitli stok alanlarına ilişkin özel süreler vb.) eklenmesi ve bu elde edilen toplam değer, ilgili zaman periyodu ile araç sayısının çarpımından elde edilen değerden küçük olmasıdır.

$$(\text{Araçların sabit dolaşım süreleri} + \text{toplam yükleme boşaltma süresi} + \text{diğer süreler}) \leq (\text{İlgili zaman periyodu} * \text{araç sayısı}) \quad (7.67)$$

4

*Toplam mâliyeti belirlenen zaman periyotlarına ilişkin süreç içi stok miktarı, araç tur sayısı ve araç sabit mâliyetleri oluşturmaktadır. Araçların birim tur mâliyetleri değerlendirmeye alınırken en küçük birim tur mâliyeti olandan başlanarak seçim yapılmaktadır.

5

*Zaman periyodunun uygun olmama durumunda zaman periyodunun bir kademe arttırılmasından önce (maksimum zaman periyoduna ulaşılmadıysa) ilgili zaman periyodu içinde de alt sınır bulunabilir. Bunun için yapılacak şey, araç sayısının, aynı zaman periyodu için yükleme boşaltma süresi ve araç dolaşım süresini kapsayacak şekilde, kullanılabilir maksimum araç sayısına kadar arttırılmasıdır. Bu duruma ilişkin gösterim aşağıdaki şekildedir:

$(\text{Yeni araç sayısı} * \text{zaman periyodu}) \geq (\text{Yükleme boşaltma süreleri} + \text{araçların sabit dolaşım süreleri} + \text{diğer süreler})$ (7.68)

Yukarıdaki eşitsizliği sağlayacak minimum araç sayısı belirlenir ve elde edilen değere ilişkin yeni mâliyet bulunarak mâliyet kümesine eklenir.



*Maksimum zaman periyodunun belirlenmesinde sezgiselde belirtilen prosedür uygulanmaktadır.



*Zaman periyodunun bir kademe arttırıldığı her durumda hammadde deposundaki miktar kontrol edilerek araç sayısının yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Yeterli olmayan durumlarda araç sayısı gerektiği kadar arttırılır.

7.1.3 Genel Atama, Çok Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Genel atama, tek rotalı araç rotalama problemiyle varsayımları genel olarak aynıdır. Sadece, her bir araca birden fazla rota atanma durumu olabilmektedir. Araçlara atanan rotalar, her turda aynı sırayla izlenmektedir.

Amaç denkleminin genel atama tek rotalı araçtakiyle aynı olması durumunda karma tamsayılı model, doğrusal olmayan hale gelmektedir. Modeli doğrusal olmayan hale getiren kısım, araca ilişkin değişken mâliyetin bulunmasında gerekli olan iki karar değişkenin çarpılmasıdır. Bu karar değişkenleri aracın tur mâliyeti ile aracın atandığı zaman dilimidir. Aracın tur mâliyeti tek rotalı araçta sabit olduğu için, doğrusallık bozulmamaktadır. Fakat çok rotalı araçta araca birden fazla rota atanabildiği için aracın tur mâliyeti karar değişkeni haline gelmektedir. Bunun için süreç içi stok miktarı ve araç değişken mâliyeti dikkate alınmayacaktır. Burada amaçlanan araç sayısının enküçüklenmesidir.

Aracın değişken mâliyetini veren (7.69)'daki ifadede görüldüğü üzere C_r tek rotalı araç probleminde parametre, çok rotalı araç probleminde karar değişkeni (C_v : “v” aracına atanan rotalar) haline gelmektedir. Bu durumda, çok rotalı araç probleminde C_v 'nin bir diğer karar değişkeni olan Z_{tv} (Z_{tv} : “v” aracının atandığı zaman dilimi) ile çarpılması, modeli doğrusallıktan çıkartmaktadır.

$$\sum_t \sum_r C_r Z_{tr} (24.60 / (tt_t.2)) \quad (7.69)$$

Modele ilişkin gerekli indisler, karar değişkenleri, kümeler, parametreler, amaç ve kısıtlar aşağıdaki şekildedir:

MODEL

Model İndisleri

i,j: Stok noktası

a,b: Stok alanı

r, z: rota

v: araç

s_r, ss_r: Rota r'ye atanabilecek stok noktalarının atanma sıra numarası

Karar değişkenleri

arac_v: “v” aracının seçilip seçilmediği (0 ya da 1)

aracrota_{vr}: “v” aracının “r” rotası seçilmiş ya da seçilmemiş (0 ya da 1)

X_{ivr}: Stok noktası “i”, “v” aracının, “r” rotasına atanmış ya da atanmamış (0 ya da 1)

S_{ivr}: “v” aracının “r” rotasına atanmış “i” stok noktasında tutulacak güvenlik stoku miktarı

D_{ivr}: “v” aracının “r” rotasına atanmış “i” stok noktasının bir çevrimlik talep miktarı

L_{ivr}: “v” aracının “r” rotasına atanmış “i” stok noktasındaki bir çevrimlik indirme-bindirme süresi

Y_{avr}: “a” stok alanının hangi aracın hangi rotasına atandığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

araccev_v: “v” aracının çevrim süresi

aracbos_{vr}: “v” aracının “r” rotasının boşta kalma süresi

aracrotacev_{vr}: “v” aracının “r” rotasının çevrim süresi

Kümeler

A: Hammadde deposu ve montaj istasyonu stok alanları kümesi

B: Birbirine parça iten ya da birbirinden parça çeken stok noktaları kümesi

C: Aynı istasyon içerisindeki yükleme ve boşaltma stok alanları

N_r: “r” rotasına atanabilecek stok noktaları kümesi

N_a: “a” stok alanı içerisindeki stok noktaları kümesi

Parametreler

sure_r: Rota “r” için hiç bir stok alanına uğramaksızın yolda geçen sabit süre

sira_{si}: “r” rotasına atanabilecek “i” stok noktasının “s.” atama sıralamasında olup olmadığını gösteren, 0 ya da 1 olan değer

isaret_i: “i” stok noktasının arz veya talep noktası olmasına göre aldığı -1 ya da 1 değeri

hacim(a): “a” stok alanının (bölgesinin) hacmi

P: Kaç çevrimlik talep kadar güvenlik stoku tutulacağı

aracsayi: Taşımada kullanılmasına izin verilen maksimum araç sayısı

maksaraccevrim: Aracın çevrim süresinin üst sınırı

aracbosmaks: Aracın boşta kalmasına müsaade edilen sürenin üst sınırı

d_i: “i” stok noktasının birim zamandaki talep veya arz miktarı

l_i: “i” stok noktasındaki parça için birim indirme-bindirme süresi

kap_r: “r” rotasına hizmet veren aracın kapasitesi

v_i: “i” stok noktasındaki ürünün birim hacmi

M: Çok büyük bir sayı

Amaç

Enazla

$$z = \sum_v arac_v \quad (7.70)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad \forall i \quad (7.71)$$

$$M.aracrotav_r \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.72)$$

$$M.aracrota_{vr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.73)$$

$$M.aracrota_{vr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.74)$$

$$M.aracrota_{vr} \geq S_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.75)$$

$$\sum_v arac_v \leq maksarac \quad (7.76)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (7.77)$$

$$X_{ivr} = X_{jvr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall v, \forall r \quad (7.78)$$

$$Y_{avr} = Y_{bvr} \quad \forall (a, b) \in C, \forall_v, \forall_r \quad (7.79)$$

$$\sum_v \sum_r Y_{avr} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.80)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.81)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.82)$$

$$M.X_{ivr} \geq S_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.83)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr} L_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.84)$$

$$D_{ivr} + M.(1 - X_{ivr}) \geq \sum_z (aracrotacev_{vz}).d_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.85)$$

$$S_{ivr} = D_{ivr} \cdot p \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.86)$$

$$\sum_i \sum_v \sum_r (D_{ivr} + S_{ivr}).v_i \leq hacim_a \quad i \in N_a, \forall a \quad (7.87)$$

$$MY_{avr} \geq \sum_i X_{ivr} \quad i \in N_a, \forall v, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.88)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + sure_r.aracrota_{vr} + arabos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.89)$$

$$arabos_{vr} \leq arabosmaks \quad \forall v, \forall r \quad (7.90)$$

$$M.aracrota_{vr} \geq arabos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.91)$$

$$M.arac_v \geq aracrota_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.92)$$

$$\sum_v arac_v \leq aracsayi \quad (7.93)$$

$$araccev_v = \sum_r aracrotacev_{vr} \quad \forall v \quad (7.94)$$

$$araccev_v \leq maksaraccevrim \quad \forall v \quad (7.95)$$

$$M * araccev_v \geq \sum_r aracrotav_r \quad \forall v \quad (7.96)$$

$$\sum_{s_r=1}^{s_r} \sum_i D_{ivr} . v_i . sira_{s_r,i} . isaret_i \leq kap_r \quad \forall v, \forall r, \forall s_r \quad (7.97)$$

$$X_{ivr}, Y_{avr}, arac_v, aracrotav_r \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall a, \forall r, \forall v, \forall s_r \quad (7.98)$$

Amaç (7.70) araç sayısının enküçüklenmesidir. Kısıt (7.71), her stok noktasının bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.72), seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına stok noktası ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.73), seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam talebi sıfır olur. Kısıt (7.74), seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (7.75), seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam güvenlik stoku sıfır olur. Kısıt (7.76), seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (7.77), “r” rotası üzerinde olmayan stok noktalarının rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (7.78), birbiriyle ilişkili olan stok noktalarının aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.79), birbiriyle ilişkili olan stok alanlarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.80), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanlarının dışında her stok alanının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.81), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.82), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.83), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam güvenlik stokunun sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.84), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasının toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (7.85), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasına ilişkin toplam talebini verir. Kısıt (7.86), toplam talebin belirli bir oranı olarak “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasının güvenlik stok miktarını belirler. Kısıt (7.87) ile, “a” stok alanındaki hacmin aşılmaması sağlanır. Kısıt (7.88), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanları haricinde her bir stok alanındaki bütün stok noktalarının,

aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.89), “v” aracının “r” rotasının çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (7.90), “v” aracına atanan “r” rotasının boşta kalma süresini sınırlandırır. Kısıt (7.91), seçilmeyen bir “v” aracının “r” rotasına boş süre ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.92), seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmamasını sağlar. Kısıt (7.93) ile, seçilen araç sayısının, maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (7.94) ile “v” aracının çevrim süresi kendisine atanan rotaların çevrim süreleri toplamına eşitlenir. Kısıt (7.95), araç çevrim süresini sınırlandırır. Kısıt (7.96), rota ataması yapılmamış aracın çevrim süresi sıfır olur. Kısıt (7.97), her aracın ataması yapılan rotalar boyunca kapasitesinin aşılması sağlanır. Kısıt (7.98), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçektek sayı olarak tanımlar.

7.1.4 Genel Atama, Çok Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Çok rotalı, eşit zamanlı bu sınıf için çok rotalı farklı zamanlı durumdaki tanımlananlara ilaveten tanımlanan indisler, karar değişkenleri ve parametreler aşağıdaki şekildedir:

Model indisleri

t: zaman dilimi

Parametreler

tt: “t” zaman diliminin içerdği 2 dakikalık zaman dilimi sayısı

Karar değişkenleri

Z_{tvr} : “v” aracının “r” rotasının hangi zaman dilimine atıldığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

ww_{tv} : “v” aracının atandığı “t” zaman dilimi (0 ya da 1)

ve : Eşit zamanlı atama için karar değişkeni (0 ya da 1)

Amaç

Enazla

$$z = \sum_v arac_v \quad (7.99)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad \forall i \quad (7.100)$$

$$M.aracrotav_r \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.101)$$

$$aracrotav_r = \sum_t z_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.102)$$

$$M.aracrotav_r \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.103)$$

$$M.aracrotav_r \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.104)$$

$$M.aracrotav_r \geq S_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.105)$$

$$\sum_v arac_v \leq maksarac \quad (7.106)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (7.107)$$

$$X_{ivr} = X_{jvr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall v, \forall r \quad (7.108)$$

$$Y_{avr} = Y_{bvr} \quad \forall (a, b) \in C, \forall_v, \forall_r \quad (7.109)$$

$$\sum_v \sum_r Y_{avr} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.110)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.111)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.112)$$

$$M.X_{ivr} \geq S_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.113)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr} \cdot l \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.114)$$

$$D_{ivr} + M.(1 - X_{ivr}) \geq \sum_z (aracrotacev_{vz}).d_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.115)$$

$$S_{ivr} = D_{ivr} \cdot p \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.116)$$

$$\sum_i \sum_v \sum_r (D_{ivr} + S_{ivr}).v_i \leq hacim_a \quad i \in N_a, \forall a \quad (7.117)$$

$$MY_{avr} \geq \sum_i X_{ivr} \quad i \in N_a, \forall v, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.118)$$

$$[2tt_t - M(1 - z_{ivr})] \leq aracrotacev_{vr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (7.119)$$

$$[2tt_{t+1} + M(1 - z_{ivr})] \geq aracrotacev_{vr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (7.120)$$

$$\sum_t z_{ivr} \leq 1 \quad \forall v, \forall r \quad (7.121)$$

$$\sum_v \sum_r aracrotav_{vr} = \sum_t \sum_v \sum_r z_{ivr} \quad (7.122)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + sure_r.aracrotav_{vr} + arachbos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.123)$$

$$arachbos_{vr} \leq arachbosmaks \quad \forall v, \forall r \quad (7.124)$$

$$M.aracrotav_{vr} \geq z_{ivr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (7.125)$$

$$M.aracrotav_{vr} \geq arachbos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.126)$$

$$M.arac_v \geq aracrotav_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.127)$$

$$araccev_v \leq maksaraccevrim \quad \forall v \quad (7.128)$$

$$\sum_v ww_{iv} \leq M.ve_t \quad \forall t \quad (7.129)$$

$$\sum_v arac_v - \sum_v ww_{iv} \leq M.(1 - ve_t) \quad \forall t \quad (7.130)$$

$$araccev_v = \sum_r aracrotacev_{vr} \quad \forall v \quad (7.131)$$

$$[2tt_t - M(1 - ww_{iv})] \leq araccev_v \quad \forall v, \forall t \quad (7.132)$$

$$[2tt_{t+1} + M(1 - ww_{iv})] \geq araccev_v \quad \forall v, \forall t \quad (7.133)$$

$$\sum_t \sum_v ww_{iv} = \sum_v arac_v \quad (7.134)$$

$$\sum_t ww_{iv} \leq 1 \quad \forall v \quad (7.135)$$

$$M.araccev_v \geq \sum_r aracrotav_{vr} \quad \forall v \quad (7.136)$$

$$\sum_{s_r=1}^{s_r} \sum_i D_{ivr} \cdot v_i \cdot sira_{s,i} \cdot isaret_i \leq kap_r \quad \forall v, \forall r, \forall s_r \quad (7.137)$$

$$X_{ivr}, Y_{avr}, z_{ivr}, ww_{iv}, ve_t, arac_v, aracota_{vr} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall a, \forall v, \forall t, \forall r, \forall s_r \quad (7.138)$$

digerleri ≥ 0

Amaç (7.99) araç sayısının enküçüklenmesidir. Kısıt (7.100), her stok noktasının bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.101) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına stok noktası ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.102) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına zaman dilimi ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.103) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam talebinin sıfır olması sağlanır. Kısıt (7.104) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (7.105) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam güvenlik stoku sıfır olur. Kısıt (7.106) ile, seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (7.107) “r” rotası üzerinde olmayan stok noktalarının rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (7.108), birbiriyle ilişkili olan stok noktalarının aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.109), birbiriyle ilişkili olan stok alanlarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.110), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanlarının dışında her stok alanının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.111), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.112), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.113), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam güvenlik stokunun sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.114), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasının toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (7.115), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasına ilişkin toplam talebini verir. Kısıt (7.116), toplam talebin belirli bir oranı olarak “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasının güvenlik stok miktarını belirler. Kısıt (7.117) ile, “a” stok alanındaki hacmin aşılmaması sağlanır. Kısıt (7.118), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanları haricinde her bir stok alanındaki bütün stok noktalarının aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.119) ve kısıt (7.120), “v” aracının “r” rotasının zaman aralığını belirler. Kısıt (7.121), “v” aracının “r” rotasının en fazla bir zaman aralığına atanmasını sağlar. Kısıt (7.122), seçilen bütün araçlara atanan rota sayısının, seçilen toplam zaman aralıkları sayısına eşit olmasını sağlar. Kısıt (7.123) “v” aracının “r”

rotası üzerindeki toplam yükleme boşaltma süresi ile aracın ilgili rotadaki sabit dolaşım süresinden oluşan çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (7.124), “v” aracına atanan “r” rotasının boşta kalma süresini sınırlandırır. Kısıt (7.125), seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına zaman aralığı atanmamasını sağlar. Kısıt (7.126), seçilmeyen bir “v” aracının “r” rotasına boş süre ataması yapılmamasını sağlar. Kısıt (7.127) kullanılarak, seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmaz. Kısıt (7.128), “v” aracının belirtilen çevrim süresini aşmaması sağlanır. Kısıt (7.129) ve kısıt (7.130), bütün araçların aynı zaman aralığına atanmasını sağlar. Kısıt (7.131)’ye göre, “v” aracının çevrim süresi kendisine atanan rotaların çevrim süreleri toplamına eşittir. Kısıt (7.132) ve kısıt (7.133), “v” aracının atanacağı “t” zaman aralığını belirler. Kısıt (7.134), seçilen toplam araç sayısı ile araçların atandıkları toplam zaman aralıklarının eşit olmasını sağlar. Kısıt (7.135), her aracın en fazla bir zaman dilimine atanmasını sağlar. Kısıt (7.136) ile, rota ataması yapılmamış aracın çevrim süresi sıfır olur. Kısıt (7.137) ile, her aracın ataması yapılan rotalar boyunca kapasitesinin aşılması sağlanır. Kısıt (7.138), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

7.2 Tahsisli Atama Durumu İçin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri

Genel atama durumundan farklı olarak tahsisli atama durumunda önceden belirlenmiş alanlar bulunmaktadır. Yani aracın veya araçların hareket edeceği rotalar belirli, fakat zaman periyotları belirsizdir. Tahsisli atama durumunda bilinmeyen sadece zaman periyodu olmasından dolayı, en iyi çözümün bulunması daha kolaydır. Bu yüzden genel atama durumundaki bir problem, tahsisli alanların belirlenmesiyle kolay çözülebilir bir hale getirilebilir. Tahsisli alanlar, üretim ortamındaki malzeme akışından veya fiziksel kısıtlardan dolayı doğal olarak da belirgin hale gelebilir. Böyle doğal bir belirginliğin olmadığı durumda araçların homojen olarak dağıtılması, birbiriyle ilişkili hücrelerin aynı grupta bulunması, iş akış yönüne ve fiziksel kısıtlara uyumlu olması, tahsisli alanların oluşturulmasında rol oynamaktadır. Burada belirlenen alanlarda dolaşacak olan trenlerin aynı zaman periyotlarında veya farklı zaman periyotlarında hareket etmeleri durumu olabilir. Her iki durum için de model geliştirilmiştir. Trenlerin aynı zaman periyotlarında hareket etmeleri durumu daha standart ve daha yalın bir durum oluşturmaktadır.

Tahsisli alanlar için geliştirilen karma tamsayılı programlama modellerindeki varsayımlar, genel atama durumundaki varsayımlarla aynıdır. Geliştirilen modeller aynı zaman periyotlu ve farklı zaman periyotlu olarak ikiye ayrılmıştır.

7.2.1 Tahsisli Atama, Farklı Zaman Periyotlu Araçlara İlişkin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Geliştirilen bu modelde araçların zaman periyotları farklı olabilmektedir. Modele ilişkin indisler, karar değişkenleri, kümeler, parametreler, amaç ve kısıtlar aşağıdaki gibidir:

Model İndisleri

i,j: Stok noktası

a,b: Stok alanı

r: Rota veya araç

t: Bir çevrimdeki 2 dakikalık zaman dilimi sayısı $t \in \{1,2,\dots,N(t)\}$

s_r, ss_r: Rota “r” ye atanabilecek noktaların atanma sırası.

Karar değişkenleri

Z_{tr}: “r” rotasının hangi zaman dilimine atandığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

D_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasının bir çevrimlik talep miktarı

S_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasında tutulacak güvenlik stoku miktarı

L_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” stok noktasındaki bir çevrimlik indirme-bindirme süresi

araccev_r: r aracının çevrim süresi

aracbos_r: “r” aracının boşta kalma süresi

Kümeler

N_a: “a” stok alanı içerisindeki stok noktaları kümesi

Parametreler

x(i,r): “i” stok noktasının hangi rotaya atandığını gösterir.

sure_r: Rota “r” için hiç bir stok alanına uğramaksızın yolda geçen sabit süre

sira_{sr}i: “r” rotasına atanabilecek “i” stok noktasının “s.” atama sıralamasında olup olmadığını gösteren 0 ya da 1 olan değer

C_r: “r” rotasının çevrim başına düşen taşıma mâliyeti

tt_t: “t” zaman diliminin içerdiği 2 dakikalık zaman dilimi sayısı

W_i: “i” stok noktasındaki mamulün birim değeri

isaret_i: “i” stok noktasının arz veya talep noktası olmasına göre aldığı -1 ya da 1 değeri

hacim(a): “a” stok alanının hacmi

P: Kaç çevrimlik talep kadar güvenlik stoku tutulacağı

aracmâliyet: Kullanılacak olan taşıma aracının mâliyeti

maksaracbos_r= “r” rotasının (aracının) boşta kalabileceği maksimum süre

f: Birim başına düşen günlük yarı mamul tutma mâliyeti oranı

d_i: “i” stok noktasının birim zamandaki talep veya arz miktarı

l_i: “i” stok noktasındaki parça için birim indirme-bindirme süresi

kap_r: “r” rotasına hizmet veren aracın kapasitesi

v_i: i stok noktasındaki ürünün birim hacmi

N(r): Modeldeki toplam rota sayısı

N(j): Modeldeki toplam stok noktası sayısı

N(t): Toplam t zaman dilimi sayısı

M: Çok büyük bir sayı

Model

Amaç

Enazla

$$z = \sum_r \sum_i D_{ir} W_i f / 2 + \sum_r \sum_i S_{ir} W_i f + [\sum_t \sum_r C_r Z_{tr} (24.60 / (tt_t . 2))] + \dots$$

aracmaliye t.N(r)

(7.139)

Kısıtlar

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.140)$$

$$M.X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.141)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.142)$$

$$L_{ir} = D_{ir}.l_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.143)$$

$$D_{ir} = araccev_r.d_i.X_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.144)$$

$$S_{ir} = D_{ir}.P \quad \forall i, \forall r \quad (7.145)$$

$$\sum_i \sum_r (D_{ir} + S_{ir}).v_i \leq hacim_a \quad i \in N_a, \forall a \quad (7.146)$$

$$[2tt_t - M(1 - Z_{tr})] \leq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.147)$$

$$[2(tt_t + 1) + M(1 - Z_{tr})] \geq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (7.148)$$

$$\sum_{t=1}^{n_r} Z_{tr} = 1 \quad \forall r \quad (7.149)$$

$$aracbos_r \leq maksaracbos_r \quad \forall r \quad (7.150)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + sure_r + aracbos_r \quad \forall r \quad (7.151)$$

$$\sum_{ss_r=1}^{s_r} \sum_i D_{jr}.v_j.sira_{s,i}.isaret_i \leq kap_r \quad \forall r, \forall s_r \quad (7.152)$$

$$Z_{tr} \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall a, \forall t, \forall r, \forall s_r \quad (7.153)$$

Tahsisli atama için geliştirilen modelde amaç (7.139), genel atamadakiyle aynıdır. Temel olarak süreç içi stok miktarı mâliyeti ve aracın işletim ve sabit mâliyetine ilişkin toplam mâliyetlerin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Kısıt (7.140), “r” rotasına atanmayan stok noktasının o rotadaki talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.141), “r” rotasına atanmayan stok noktasının o rotadaki güvenlik stoku değerinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.142), “r” rotasına atanmayan stok noktasının o rotadaki toplam yükleme-boşaltma süresinin sıfıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (7.143), her bir stok noktası için toplam yükleme-boşaltma süresini belirler. Kısıt (7.144), bir stok noktasındaki toplam talebi, atandığı rotadaki aracın çevrim süresi ile stok

noktasındaki birim zamandaki talebin çarpımına eşitler. Kısıt (7.145), her bir stok noktasına ilişkin güvenlik stokunun, ilgili stok noktasına olan talebin belirli bir “p” oranında olmasını sağlar. Kısıt (7.146)’de bir stok alanındaki bütün stok noktalarının talep ve güvenlik stoku miktarları toplamının, stok alanının (bölgesinin) hacmini geçmemesi sağlanır. Kısıt (7.147) ve kısıt (7.148)’da seçilen rotanın zaman periyodu belirlenir. Kısıt (7.149) ile, her rota bir zaman dilimine atanır. Kısıt (7.150), her rotanın en fazla boşta kalabileceği süreyi sınırlandırır. Kısıt (7.151), rota “r” nin çevrim süresini verir. Kısıt (7.152)’de her bir stok noktasında aracın kapasitesi kontrol edilir. Kısıt (7.153)’te belirli karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayılar olması sağlanır.

7.2.2 Tahsisli Atama, Eşit Zaman Periyotlu Araçlara İlişkin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Zaman periyotları aynı olan modelin diğer modelden farkı, rotaların atandığı zaman periyotlarının eşitlenmesini içeren bir kısıtın eklenmesidir. Araçların periyotlarının eşit zamanlı olması, yalın sistem mantığına daha yakındır. Araçlar bu durumda daha kolay yönlendirilebilir.

Eklenen kısıt

$$z(t, r_1) = z(t, r_2) = \dots = z(t, r_n) \quad (7.154)$$

Kısıt (7.154) bütün rotaların zaman periyotlarının aynı olmasını sağlayacaktır.

7.3 Zaman Periyodu Belirli Araçlara İlişkin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Üretim ortamında döngüsel sefer sistemin tasarlanmasında olası durumlardan biri de araçların zaman periyotlarının önceden bilinmesi durumudur. Bu durumda, zaman periyodunun belirli olduğu bir ortamda ilgili zaman periyodunu aşmadan araç sayısını, toplam taşıma mesafesini veya araca ilişkin sabit ve değişken mâliyetleri enküçükleyecek şekilde periyodik taşımaların yapılmasını olurlu kılan modeller geliştirilmiştir.

Periyodik hareket eden araçlar, ilgili zaman periyodunda her bir stok noktasının ilgili periyot boyunca gerektirdiği kadar miktarı taşıyacaklardır. Burada da iki durum söz konusudur. Bunlardan birincisi sabit bir zaman dilimi içinde sadece bir rotayı izleyen araçlardan oluşan durum, diğeri ise bir araca birden çok rotanın atanmasını

mümkün kılan çok rotalı durumdur. Geliştirilen modellerde genel ve tahsisli atamada kullanılan varsayımlar geçerlidir. İndisler, karar değişkenleri ve parametrelere ilişkin gösterimler aynı olduğu için tekrar tanımlanmamış, sadece farklılaşan noktalarda tanımlamalar yapılmıştır.

7.3.1 Zaman Periyodu Belirli, Tek Rotalı Araçlara İlişkin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Zaman periyodunun belirli olduğu tek rotalı araç rotalama probleminde belirlenmeye çalışılan karar değişkenleri, kullanılması gereken araç sayısı ve hangi rotalarla taşımaların yapılması gerektirir. Zaman periyodunun belirli olmasından dolayı araçların taşıyacağı miktarlar belirlidir. Araçlara kapasitelerini aşmayacak şekilde sadece bir rota ataması yapılacak ve araç belirli olan zaman periyodunu aşmayacak şekilde taşımalarını gerçekleştirecektir. Model, temel olarak üç amaca göre ayrı olarak çözdürülebilir. İlk olarak araç sayısının enküçüklenmesi, ikinci olarak araçların toplam katettiği mesafe ve üçüncü olarak da ilk iki amacı kapsayan aracın sabit yatırım mâliyeti ile günlük kattettiği mesafeye bağlı olan değişken mâliyetinin toplamının enküçüklenmesi şeklindedir. Esasında üçüncü amaç, ilk iki amacı içermektedir fakat bazı durumlarda trafik sıkışıklığının engellenmesi için araç enküçüklenmesi daha fazla önem kazanabilir. Bu nedenle amaçlar farklılaştırılmıştır. Bu durumda kullanıcının istediği amaca göre model çözdürülebilecektir. En uygun olan taşıma, en az araçla en az mesafenin katedilmesidir.

Tek rotalı araç durumunda; minimum rota sayısına göre model çözdürüldüğünde elde edilen rota sayısı r_x , rota çözüm kümesi $r(x)$ ve minimum katedilen mesafeye göre model çözdürüldüğünde elde edilen rota sayısı r_y , rota kümesi $r(y)$ olmak üzere eğer $r_x = r_y$ ise $r(y)$ çözüm kümesinin kullanılması uygun olacaktır. Bu durum, Tekli Rota Kural 1 kısaca **TRK1** olarak adlandırılmış ve aşağıdaki şekilde gösterimi yapılmıştır:

r_x : Tek rotalı durumda, minimum rota sayısına göre çözümde elde edilen rota sayısı

$r(x)$: Tek rotalı durumda minimum rota sayısına göre elde edilen çözümdeki rota kümesi

r_y : Tek rotalı durumda minimum mesafeye göre çözümde elde edilen rota sayısı

$r(y)$: Tek rotalı durumda minimum mesafeye göre elde edilen çözümdeki rota kümesi

olmak üzere;

EĞER $r_x = r_y$ İSE

“ $r(y)$ kümesini çözüm kümesi olarak kullan”

DEĞİLSE

“İstenilen amaca göre elde edilen rota çözüm kümesini kullan.”

Modelde genel ve tahsisli atama modellerinde kullanılan gösterimler kullanılmaya çalışılmış, farklı olanlar ayrıca belirtilmiştir.

Diğer modellerden farklı olarak kullanılan parametreler

mesafe_r : “r” rotasının uzunluğu (metre)

t_{sabit} : Belirlenmiş olan sabit zaman periyodu

Amaçlar

Amaç 1: Araç sayısının enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_r rota_r \quad (7.155)$$

Amaç 2: Toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_r (rota_r . mesafe_r) \quad (7.156)$$

Amaç 3: Araca ilişkin sabit ve değişken mâliyetlerin enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_r (rota_r . aracmaliyet) + \sum_r (rota_r . C_r . (24.60) / t_{sabit}) \quad (7.157)$$

Kısıtlar

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (7.158)$$

$$X_{ir} = X_{jr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall r \quad (7.159)$$

$$\sum_{i \in Nr} X_{ir} = 0 \quad \forall r \quad (7.160)$$

$$\sum_r Y_{ar} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.161)$$

$$Y_{ar} = Y_{br} \quad \forall (a, b) \in C, \forall_r \quad (7.162)$$

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.163)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.164)$$

$$L_{ir} = D_{ir}.l_i \quad \forall i, \forall r \quad (7.165)$$

$$D_{ir} = t_{sabit}.d_i.X_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.166)$$

$$MY_{ar} \geq \sum_i X_{ir} \quad i \in N_a, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.167)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + rota_r.sure_r \quad \forall r \quad (7.168)$$

$$araccev_r \leq t_{sabit} \quad \forall r \quad (7.169)$$

$$M.rota_r \geq \sum_i X_{ir} \quad \forall r \quad (7.170)$$

$$M.rota_r \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.171)$$

$$M.rota_r \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (7.172)$$

$$\sum_{ss=1}^{s_r} \sum_i D_{ir}.v_i.sira_{s,i}.isaret_i \leq kap_r \quad \forall r, \forall s_r \quad (7.173)$$

$$X_{ir}, Y_{ar}, rota_r \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall a, \forall r, \forall s_r \quad (7.174)$$

digerleri ≥ 0

Kısıt (7.158) her stok noktasının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.159), birbiriyle ilişkili olan stok noktalarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.160), “r” rotası üzerinde olmayan stok noktalarının rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (7.161), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanlarının dışında her stok alanının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.162), birbiriyle ilişkili olan stok alanlarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.163), stok noktası “i” nin atanmadığı rotanın toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.164), stok noktası “i” nin atanmadığı rotada toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.165), her “r” rotasındaki “i” stok noktasının toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (7.166), her “r” rotasında “i” stok noktasına ilişkin toplam talebi verir. Kısıt (7.167), bir stok alanındaki bütün stok noktalarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.168), aracın bulunduğu rota üzerindeki toplam yükleme boşaltma süresi ile aracın sabit dolaşım süresinden oluşan araç çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (7.169) ile, araç

çevrim süresinin belirli olan zaman periyodunu aşmaması sağlanır. Kısıt (7.170) ile, seçilmeyen rotaya stok noktası ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.171), seçilmeyen rotada her bir stok noktasının toplam talebini sıfıra eşitler. Kısıt (7.172) ile, seçilmeyen rotada her bir stok noktasının toplam yükleme boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (7.173), seçilen aracın taşıma kapasitesini her stok noktasında kontrol ederek aşılmamasını sağlar. Kısıt (174), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

7.3.2 Zaman Periyodu Belirli, Çok Rotalı Araçlara İlişkin Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Zaman periyodunun belirli olduğu çok rotalı araç rotalama probleminde tek rotalı araca ilişkin olan durumdan farklı olarak, her araca belirli olan zaman periyodu içerisinde birden fazla rota atanabilmektedir. Modeldeki olası amaçlar tek rotalı durumdakilerle aynıdır. Benzer şekilde, amaçlanan en az araçla, en az mesafenin katedilmesidir. Bu duruma ilişkin tek rotalı durumdakine benzer şekilde bir kural tanımlanmıştır.

Çok rotalı araç durumunda da minimum araçlı duruma göre model çözdürüldüğünde elde edilen araç sayısı a_x , araca aranan rota çözüm kümesi $ar(x)$ ve minimum katedilen mesafeye göre model çözdürüldüğünde elde edilen araç sayısı a_y , araca atanan rota kümesi $ar(y)$ olsun. Minimum mesafeye göre çözümünden elde edilen rota kümesi $ar(y)$ 'deki rotalar, farklı araçlara atanabilmektedir. Amaç, araç sayısının enküçüklenmesi olmadığı, mesafenin enküçüklenmesi olduğu için, bu durum olasıdır. Böyle bir durumda $ar(y)$ 'deki rotaların süreleri toplamı kontrol edilerek aynı araca atanabilirlikleri sorgulanmalı ve a_x değerine ulaşılmaya çalışılmalıdır. Bu durum, Çoklu Rota Kural 1 kısaca **ÇRK1** olarak adlandırılmış ve aşağıdaki şekilde gösterimi yapılmıştır.

a_x : Çok rotalı durumda minimum araç sayısına göre çözümünden elde edilen araç sayısı

$ar(x)$: Çok rotalı durumda minimum araç sayısına göre elde edilen rota çözüm kümesi

a_y : Çok rotalı durumda minimum mesafeye göre çözümünden elde edilen araç sayısı

ar(y) : Çok rotalı durumda minimum mesafeye göre elde edilen rota çözüm kümesi

b : ar(y)'deki araçların belirli zaman periyodunu aşmayacak şekilde gruplanmalarından elde edilen yeni araç sayısı

olmak üzere;

EĞER $a_x = a_y$ İSE

“a(y) kümesini çözüm kümesi olarak kullan.”

DEĞİLSE

“ar(y)'deki araçları belirli zaman periyodunu aşmayacak şekilde grupta.”

EĞER $b = a_x$ İSE

“b’yi kullan.”

DEĞİLSE

“İstenilen amaca göre elde edilen rota çözüm kümesini kullan.”

Modelde kullanılan indisler, karar değişkenleri ve parametreler, çoğunlukla genel atama çok rotalı durumdaki ve zaman periyodu belirli tek rotalı durumdakilerle aynıdır. Onun için tekrar edilmemiştir.

Amaç 1: Araç sayısının enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_v aracc_v \quad (7.175)$$

Amaç 2: Toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_v \sum_r aracrotav_r.mesafe_r \quad (7.176)$$

Amaç 3: Araca ilişkin sabit ve değişken mâliyetlerin enküçüklenmesi

$$\min z = \sum_v (aracc_v.araccmaliyet) + \sum_v \sum_r (aracrotav_r.C_r.(24.60)/t_{sabit}) \quad (7.177)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad \forall i \quad (7.178)$$

$$X_{ivr} = X_{jvr} \quad \forall (i, j) \in B, \forall v, \forall r \quad (7.179)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (7.180)$$

$$\sum_v \sum_r Y_{avr} = 1 \quad \forall a, a \notin A \quad (7.181)$$

$$Y_{avr} = Y_{bvr} \quad \forall (a,b) \in C, \forall_v, \forall_r \quad (7.182)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.183)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.184)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr} . l_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.185)$$

$$D_{ivr} = t_{sabit} . d_i . X_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.186)$$

$$MY_{avr} \geq \sum_i X_{ivr} \quad i \in N_a, \forall v, \forall r, \forall a, a \notin A \quad (7.187)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + aracrotav_{vr} . sure_r \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.188)$$

$$\sum_r (aracrotacev_{vr}) \leq t_{sabit} \quad \forall v \quad (7.189)$$

$$M.aracrotav_{vr} \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.190)$$

$$M.aracrotav_{vr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.191)$$

$$M.aracrotav_{vr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (7.192)$$

$$M.arac_v \geq aracrotav_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (7.193)$$

$$\sum_v arac_v \leq maksarac \quad (7.194)$$

$$\sum_{ss_r=1}^{s_r} \sum_i D_{ivr} . v_i . sira_{s_r,i} . isaret_i \leq kap_r \quad \forall v, \forall r, \forall s_r \quad (7.195)$$

$$X_{ivr}, Y_{avr}, arac_v, aracrotav_{vr} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall a, \forall v, \forall s_r, \forall r \quad (7.196)$$

digerleri ≥ 0

Kısıt (7.178), her stok noktasının bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.179), birbiriyle ilişkili olan stok noktalarının aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.180), “r” rotası üzerinde olmayan stok noktalarının rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (7.181), hammadde ve montaj istasyonundaki stok

alanlarının dışında her stok alanının bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.182), birbiriyle ilişkili olan stok alanlarının aynı rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (7.183), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.184), stok noktası “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (7.185), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasının toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (7.186), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” stok noktasına ilişkin toplam talebi verir. Kısıt (7.187), hammadde ve montaj istasyonundaki stok alanları haricinde her bir stok alanındaki bütün stok noktalarının, aynı aracın aynı rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (7.188), “v” aracının “r” rotası üzerindeki toplam yükleme boşaltma süresi ile aracın ilgili rotadaki sabit dolaşım süresinden oluşan çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (7.189), seçilen her “v” aracına atanan bütün rotaların toplam çevrim sürelerinin belirli olan zaman periyodunu aşmaması sağlanır. Kısıt (7.190) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına stok noktası ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (7.191) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam talebi sıfır olur. Kısıt (7.192) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir stok noktasının toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (7.193) ile, seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmaz. Kısıt (7.194) ile, seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (7.195) ile, her aracın ataması yapılan rotalar boyunca kapasitesinin aşılması sağlanır. Kısıt (196), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

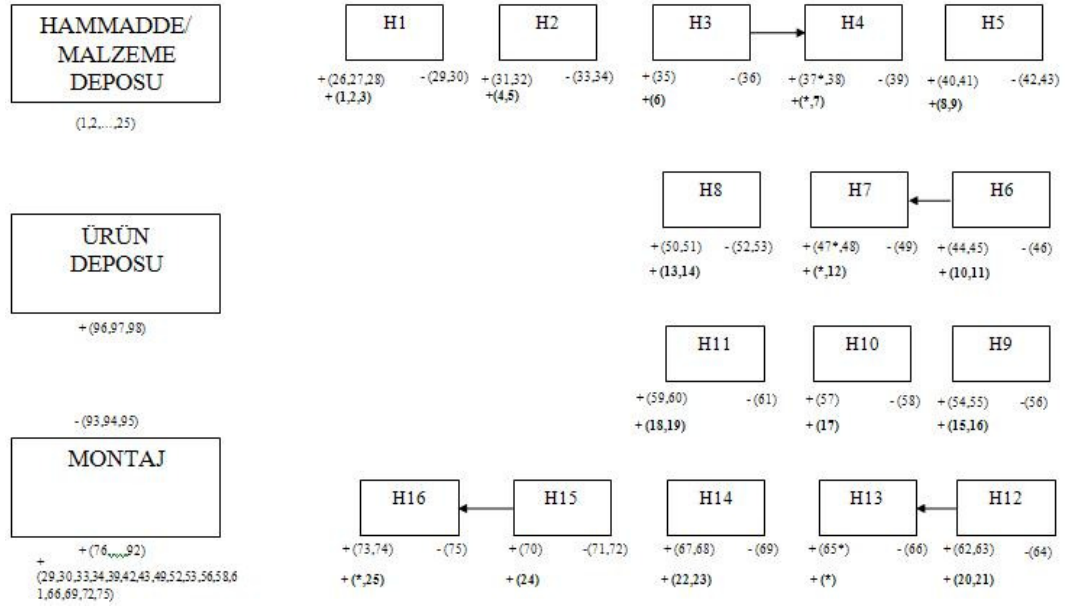
7.4 Düşünsel Bir Örnek Üzerinde Genel Atama, Tahsisli Atama ve Belirli Zaman Periyotlu Atama Modellerinin Uygulanması

Geliştirilen modellerin geçerliliğini test etmek amacıyla, düşünsel bir örnek üzerinde modeller çalıştırılmıştır. Düşünsel örnek gerçek sistemlerden esinlenerek oluşturulmuştur. Parametrelere ilişkin değerlerin belirlenmesinde varolan uygulamalara yakın değerler kullanılmaya çalışılmıştır.

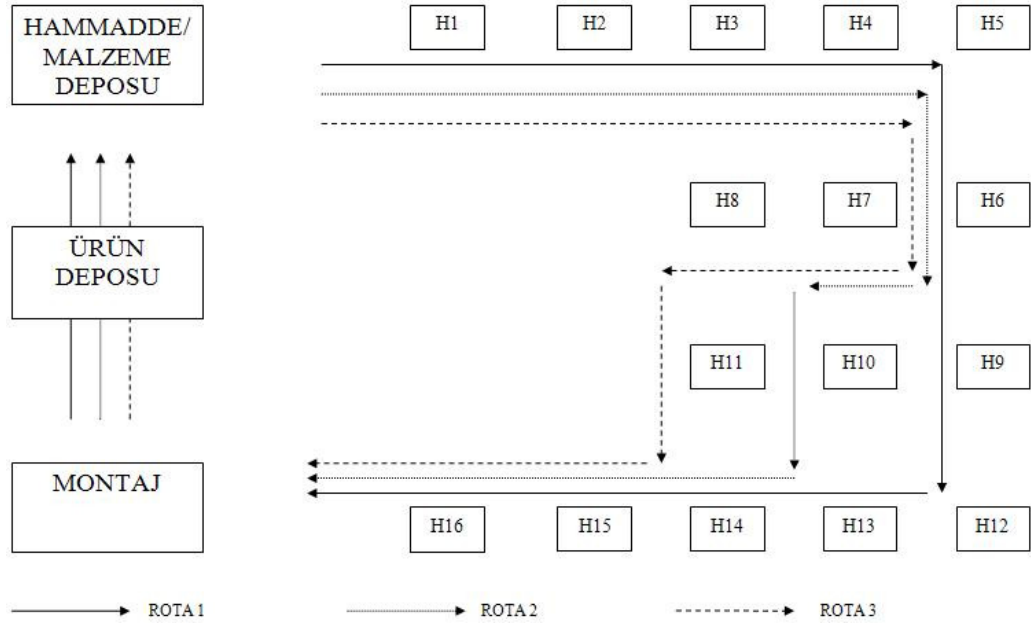
Tasarlanan sistemde Şekil 7.7’de de görüldüğü üzere hammadde deposu, 16 tane hücre, montaj istasyonu ve ürün deposu bulunmaktadır. Sistemde numaralandırılarak gösterilen yerler stok noktalarını belirtmektedir. Her bir parça türü, bulunduğu yerde bir stok noktası oluşturmaktadır. Bu durumda hammadde deposunda 25 tane parça

türünün her birine ilişkin birer stok noktası bulunmaktadır. Benzer şekilde parça türleri, taşındıkları hücrelerde de stok noktaları oluşturmaktadırlar. Stok nokta numaralarının altında bulunan numaralar, ilgili stok noktasının hammadde deposundaki karşılığına ilişkin numaradır. Toplamda tasarlanan sistemde 98 stok noktası bulunmaktadır. Bir arada bulunan stok noktaları da stok alanlarını oluşturmaktadır. Her bir hücrenin giriş ve çıkış alanlarında birer stok alanı görülmektedir. Toplamda sistemde 36 tane stok alanı bulunmaktadır. Hücreler arasında bulunan oklar, hücrelerin birbirine bağımlı olduklarını göstermektedir.

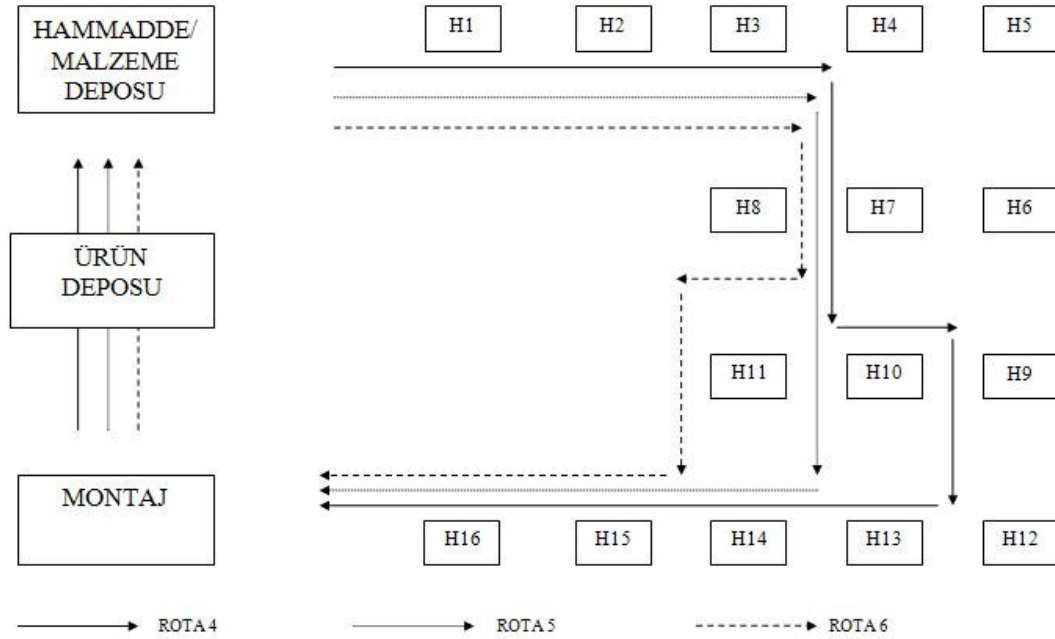
Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da sistemde olurlu olabilecek olası alternatif rotalar görülmektedir. Toplamda 9 olası rota oluşturulmuştur. Gerçek sistemlerde, rotaların belirlenmesinde iş akış yönü ve fiziksel kısıtlamalar dikkate alınmaktadır. Düşünsel olarak tasarlanan bu sistemde, kombinatoriyel olarak çok rota belirlenebilmesine rağmen, modelin çok büyümemesi için sınırlı sayıda rota alternatifleri oluşturulmuştur.



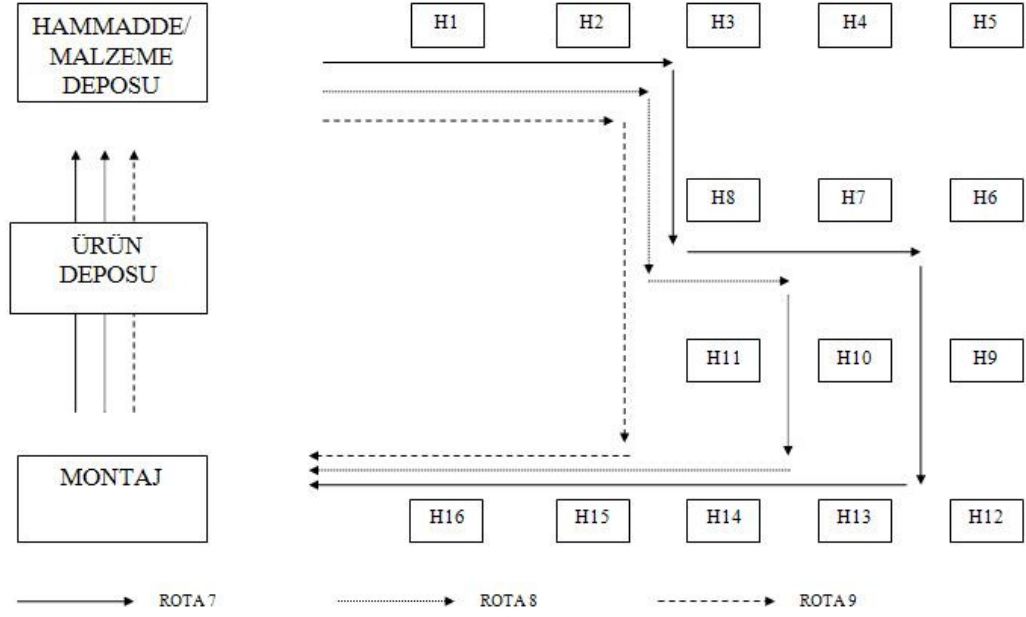
Şekil 7.7 : Düşünsel örneğe ilişkin yerleşim planı.



Şekil 7.8 : Yerleşim planı üzerinde rota 1, rota 2 ve rota 3'e ilişkin gösterim.



Şekil 7.9 : Yerleşim planı üzerinde rota 4, rota 5 ve rota 6'ya ilişkin gösterim.



Şekil 7.10 : Yerleşim planı üzerinde rota 7, rota 8 ve rota 9'a ilişkin gösterim.

7.4.1 Parametrelerin Belirlenmesi

Düşünsel bir örnek üzerinde modelin çalıştırılması için aşağıdaki parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre sistem çalıştırılmıştır.

* *Rotaların geçebileceği hücreler*

Rotaların güzergâhlarında olan ve rotalara atanabilen hücrelerdeki stok noktaları, Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

**Birbirine bağımlı hücreler*

Hücre 3 ile Hücre 4, Hücre 6 ile Hücre 7, Hücre 12 ile Hücre 13 ve Hücre 15 ile Hücre 16 birbirine bağımlı hücrelerdir. Bu hücrelerden herhangi birine atanan bir rota diğerine de atanmalıdır.

Çizelge 7.1 : Sayısal örnekteki rotaların güzergahındaki hücreler.

Rota no	Rota üzerindeki atanabilecek hücreler	Rota üzerindeki atanabilecek stok noktaları
1	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
2	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H10, H11, H14, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 57, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
3	H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H10, H11, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
4	H1, H2, H3, H4, H8, H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
5	H1, H2, H3, H4, H8, H10, H11, H14, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 50, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
6	H1,H2,H3,H4,H8,H11,H15,H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 50, 51, 52, 53, 59, 60, 61, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
7	H1, H2, H8, H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15, H16	26, 27,28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
8	H1, H2, H8, H10, H11, H14, H15, H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 50, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.
9	H1,H2,H8,H11,H15,H16	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 50, 51, 52, 53, 59, 60, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.

** Araçlar için yolda geçen süreler*

Araçların ortalama hızı 60 m/dak. olarak alınmıştır. Buna göre Şekil 7.11'deki yerleşim planındaki mesafeler baz alındığında her bir rotadaki araç için sabit süre aşağıdaki şekildedir:

Rota 1: Toplam mesafe=282m, yolda geçen süre: 4,7 dak.

Rota 2: Toplam mesafe=282m, yolda geçen süre: 4,7 dak.

Rota 3: Toplam mesafe=282m, yolda geçen süre: 4,7 dak.

Rota 4: Toplam mesafe=282m, yolda geçen süre: 4,7 dak.

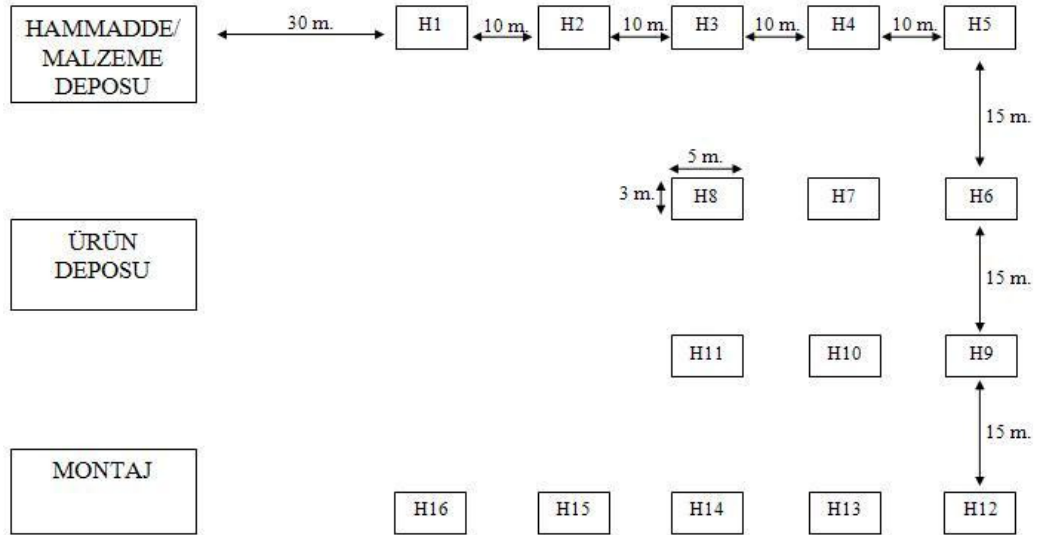
Rota 5: Toplam mesafe=252m, yolda geçen süre: 4,2 dak.

Rota 6: Toplam mesafe=252m, yolda geçen süre: 4,2 dak.

Rota 7: Toplam mesafe=282m, yolda geçen süre: 4,7 dak.

Rota 8: Toplam mesafe=252m, yolda geçen süre: 4,2 dak.

Rota 9: Toplam mesafe=222m, yolda geçen süre: 3,7 dak.



Şekil 7.11 : Yerleşim planı üzerindeki hücreler arası mesafeler (metre).

** Rotaların çevrim başına düşen taşıma mâliyetleri*

Taşıma aracının enerji mâliyeti kullanılan enerji türüne (akülü, dizel veya LPG’li) göre, çekilen malzemenin ağırlığına göre ve kullanılan zemine göre çok farklılık gösterebilmektedir. Taşıma aracının enerji mâliyeti, ortalama 0,25 TL/km şeklinde alınmıştır. Bu durumda rotalardaki araçların bir çevrimlik taşıma mâliyetleri aşağıdaki gibidir:

Rota 1: $0,282 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,0705 \text{ TL}$

Rota 2: $0,282 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,0705 \text{ TL}$

Rota 3: $0,282 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,0705 \text{ TL}$

Rota 4: $0,282 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,0705 \text{ TL}$

Rota 5: $0,252 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,063 \text{ TL}$

Rota 6: $0,252 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,063 \text{ TL}$

Rota 7: $0,282 \text{ km} * 0,25 \text{ TL/km} = 0,0705 \text{ TL}$

Rota 8: 0,252 km* 0,25 TL/km = 0,063TL

Rota 9: 0,222 km* 0,25 TL/km = 0,055 TL

* Zaman dilimi sayısı, bir zaman dilimi 2 dakikayı içerecek şekilde toplam 120 olarak belirlenmiştir.

* W_i i stok noktasındaki malzemenin birim değeri (TL/kasa)

Her bir stok noktasındaki bir kasa ürünün parasal değeri, Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : Sayısal örnekteki stok noktalarında parçaların birim değerleri (TL).

Stok No	Stok değeri (TL)	Stok No	Stok değeri (TL)	Stok No	Stok değeri (TL)	Stok No	Stok değeri (TL)
1	100	26	100	51	300	76	165
2	100	27	100	52	330	77	165
3	100	28	100	53	330	78	180
4	150	29	165	54	300	79	180
5	150	30	165	55	100	80	420
6	150	31	150	56	450	81	240
7	200	32	150	57	100	82	240
8	200	33	180	58	110	83	900
9	200	34	180	59	100	84	330
10	250	35	150	60	150	85	330
11	250	36	165	61	300	86	450
12	250	37	165	62	150	87	110
13	300	38	200	63	150	88	300
14	300	39	420	64	330	89	375
15	300	40	200	65	330	90	450
16	100	41	200	66	375	91	125
17	100	42	240	67	200	92	420
18	100	43	240	68	200	93	1500
19	150	44	250	69	450	94	2000
20	150	45	250	70	200	95	2500
21	150	46	550	71	125	96	1500
22	200	47	550	72	125	97	2000
23	200	48	250	73	125	98	2500
24	200	49	900	74	250		
25	250	50	300	75	420		

* Stok alanlarının hacmi, 10 kasaya karşılık gelecek şekilde 0,72 m³ olarak alınmıştır.

* 1 çevrimlik kadar güvenlik stoku tutulacaktır.

* *Kullanılacak olan taşıma aracının mâliyeti; araç mâliyeti ve aracı kullanacak olan işgörenin mâliyetinden oluşmaktadır.*

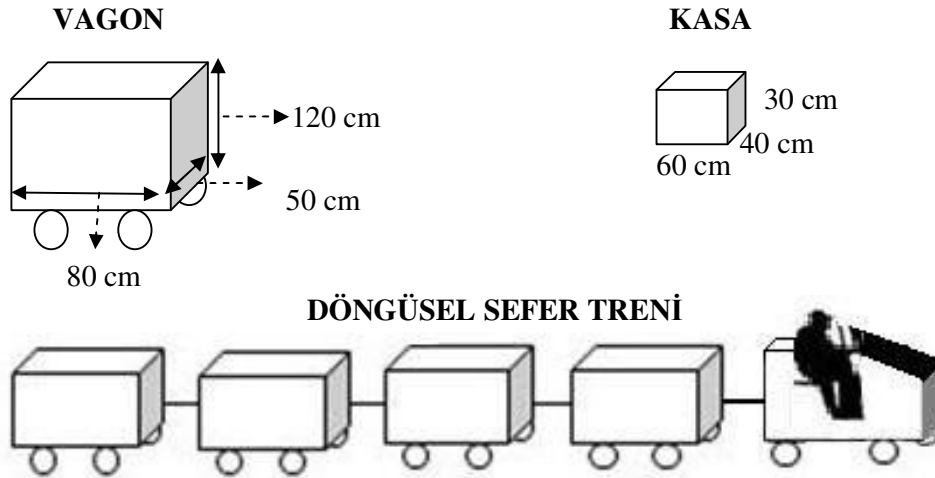
Bu durumda aracın yıpranma mâliyeti yıllık 3.000 TL varsayılarak günlük mâliyeti $(3.000 \text{ TL}) / (300 \text{ iş günü}) = 10 \text{ TL/gün}$ şeklinde hesaplanmıştır. İşçinin günlük mâliyeti de 50 TL olarak değerlendirilmiştir. Bu durumda araca ilişkin günlük sabit mâliyet 60 TL şeklinde belirlenmiştir.

* *Yarı mamul tutma mâliyeti oranı, yıllık %20 değeri baz alınarak, günlük 0,00055 olarak belirlenmiştir.*

* *Birim indirme-bindirme süresi 0,3 dak. olarak belirlenmiştir. Bu süre, hammadde depolarından alınan parçalar için parçayı arama süreleri de düşünülerek 0,45 dak. olarak belirlenmiştir.*

* *Tren, 4 vagondan oluşmaktadır.*

Her vagonun boyutları 80 cm*50 cm*120 cm şeklindedir. Bu durumda trenin bir vagonu 4 kasa alabilmektedir, toplamda trenin kapasitesi 16 kasa şeklindedir. Şekil 7.12’de ilgili gösterimler yapılmıştır.



Şekil 7.12 : Sayısal örneğe ilişkin tren, vagon ve kasa özellikleri.

* *Stok noktalarının birim zamandaki talep veya arz miktarları*

Her bir stok noktasının birim zamandaki talep miktarı birimi, kasa olarak Çizelge 7.3’teki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 7.3 : Stok noktalarının birim zamandaki talep miktarları (kasa/dak.).

Stok No	Kasa/ dakika	Stok No	Kasa/ dakika	Stok No	Kasa/ dakika	Stok No	Kasa/ dakika
1	0,1	26	0,1	51	0,10	76	0,05
2	0,1	27	0,1	52	0,10	77	0,05
3	0,05	28	0,05	53	0,10	78	0,05
4	0,05	29	0,05	54	0,10	79	0,05
5	0,05	30	0,05	55	0,05	80	0,05
6	0,05	31	0,05	56	0,10	81	0,05
7	0,05	32	0,05	57	0,05	82	0,05
8	0,05	33	0,05	58	0,05	83	0,10
9	0,05	34	0,05	59	0,05	84	0,10
10	0,10	35	0,05	60	0,05	85	0,10
11	0,10	36	0,05	61	0,05	86	0,10
12	0,10	37	0,05	62	0,05	87	0,05
13	0,10	38	0,05	63	0,05	88	0,05
14	0,10	39	0,05	64	0,05	89	0,05
15	0,10	40	0,05	65	0,05	90	0,05
16	0,05	41	0,05	66	0,05	91	0,05
17	0,05	42	0,05	67	0,05	92	0,05
18	0,05	43	0,05	68	0,05	93	0,10
19	0,05	44	0,10	69	0,05	94	0,10
20	0,05	45	0,10	70	0,05	95	0,10
21	0,05	46	0,10	71	0,05	96	0,10
22	0,05	47	0,10	72	0,05	97	0,10
23	0,05	48	0,10	73	0,05	98	0,10
24	0,05	49	0,10	74	0,10		
25	0,10	50	0,10	75	0,05		

7.4.2 Kurgulanan Sayısal Örnek Üzerinde Modellerin Çalıştırılması

Kurgulanan sayısal örnek üzerinde genel atama, tahsisli atama ve belirli zaman periyotlu atama yaklaşımlarının farklı durumları için sonuçlar elde edilmiştir. Modellemelerde GAMS eniyileme programı 3 GHz ve 1 GB RAM özellikli bir bilgisayarda ortalama yarım saat ile bir saat arası çalıştırılmış (Sadece sezgisel geliştirilen genel atama eşit zamanlı durum için eniyileme programı 3 gün çalıştırılmıştır.) ve elde edilen çözümler paylaşılmıştır.

7.4.2.1 Genel Atama, Tek Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar

Genel atama, tek rotalı araç, farklı zaman periyotlu durum için eniyileme programından elde edilen olurlu çözüm aşağıda gösterilmiştir.

Amaç : Toplam taşıma ve süreç içi stok mâliyetinin enküçüklenmesi

Sonuç: 226,79 TL

Seçilen rotalar, rota çevrim süreleri ve atanan stok noktaları

Seçilen rotalar, rotaların çevrim süreleri ve rotalara atanan stok noktaları Çizelge 7.4'teki gibidir.

Çizelge 7.4 : Genel atama, tek rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim süreleri ve atanan stok noktaları.

Seçilen rota	Çevrim Süresi (dak.)	Stok noktaları
r3	18,80	sn8, sn9, sn10, sn11, sn12, sn13, sn14, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn50, sn51, sn52, sn53, sn81, sn82, sn83, sn84, sn85.
r4	24	sn6, sn7, sn15, sn16, sn17, sn18, sn19, sn20, sn21, sn22, sn23, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn54, sn55, sn56, sn57, sn58, sn59, sn60, sn61, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn67, sn68, sn69, sn80, sn86, sn87, sn88, sn89, sn90.
r9	15,75	sn1, sn2, sn3, sn4, sn5, sn24, sn25, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn31, sn32, sn33, sn34, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn76, sn77, sn78, sn79, sn91, sn92, sn93, sn94, sn95, sn96, sn97, sn98.

7.4.2.2 Genel Atama, Tek Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar

Genel atama, eşit periyotlu rota durumu için karma tamsayılı model, daha önce de belirtildiği üzere üç gün çalıştırılmış, belirli bir iterasyondan sonra program durdurulmuş ve olurlu bir çözüm elde edilmiştir. Daha sonra geliştirilen sezgisel ve alt sınır algoritması uygulanarak çözümler elde edilmiştir.

Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinden Elde Edilen Çözüm

Modelin GAMS eniyileme programında CPLEX çözücüsünde Pentium 2.93 GHZ işlemcili, 4 GB RAM'li bir bilgisayarda yaklaşık üç gün çalıştırılmasından sonra elde edilen olurlu çözüm aşağıdaki şekildedir.

Amaç : Toplam taşıma ve süreç içi stok mâliyetinin enküçüklenmesi

Sonuç: 225,11 TL

Seçilen rotalar, rota çevrim sireleri ve atanan stok noktaları

Problem tur olarak eiş periyotlu rotaları içerdiğinden dolayı bütün araçların zaman aralıkları, aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere 16. ile 18.dakikalar arasında olmuştur. Seçilen rotalar ve çevrim sireleri izelge 7.5'teki gibidir.

Çizelge 7.5 : Genel atama, tek rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim sireleri ve atanan stok noktaları.

Seçilen rota	evrim Suresi (dak.)	Stok noktaları
r1	17,74	sn8, sn9, sn15, sn16, sn17, sn20, sn21, sn22, sn23, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn54, sn55, sn56, sn57, sn58, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn67, sn68, sn69, sn81, sn82, sn86, sn87, sn89, sn90, sn93, sn94, sn96, sn97.
r2	17,25	sn1, sn2, sn3, sn6, sn7, sn10, sn11, sn12, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn76, sn77, sn80, sn83.
r9	16,27	sn4, sn5, sn13, sn14, sn18, sn19, sn24, sn25, sn31, sn32, sn33, sn34, sn50, sn51, sn52, sn53, sn59, sn60, sn61, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn78, sn79, sn84, sn85, sn88, sn91, sn92, sn95, sn98.

Geliştirilen Sezgisel Yaklaşımın ve Alt Sınır Algoritmasının Uygulanması

Geliştirilen sezgisel ve alt sınır algoritması düşünsel bir örnek üzerinde uygulanmıştır. En küçük ve en büyük zaman dilimleri arasındaki her bir zaman dilimi için elde edilen olurlu çözümler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Bu zaman periyotlarına ilişkin elde edilen çözümlerden en iyisi çözümü oluşturmaktadır. İlk gösterim olan izelge 7.6, rotaların gzerghında olan ve atama yapılabilen hücreleri gösteren başlangıç tablosudur.

En küçük ve en büyük zaman dilimleri 3. ve 10. zaman periyotları olarak belirlenmiştir. En küçük zaman diliminde minimum sabit rota süreli olan aracın süresinden daha büyük olan zaman periyodu esas alınmış, bu zaman periyoduna ilişkin hammadde deposunda gereksinim duyulan araç miktarı kontrol edilmiş ve iki araç olarak grlmştir. İkinci en küçük süreli olan aracın süresinden büyük, en küçük zaman aralığı 3. zaman periyodu olduğu için, 6 dakikalık zaman aralığı esas alınmıştır. En büyük zaman aralığı için de farklı zaman periyotları için stok alanları kontrol edilmiş, hücre 1'in girdi stok alanının t=22 dakikalık zaman periyodu için

aşıldığı görülmüştür. Bu durumda $t=20$ dakika maksimum zaman aralığı olarak alınmıştır.

Başlangıç rotalarının belirlenebilmesi için ilk olarak üzerinden en az sayıda rota geçen hücreler belirlenmiştir. Bu hücrelerin numaraları 5, 6, 7, 9, 12 ve 13 şeklindedir. Her birinden üçer rota geçmektedir. Bu hücre ya da hücrelerden geçen rota eğer bir tane olsaydı ilgili rota direkt olarak seçilecekti. Değerlendirmeye alınan beş rota bulunmaktadır. Bu rotaların numaraları 1, 2, 3, 4 ve 7 şeklindedir. Bu rotalardan ilk etapta en çok hücreden geçen seçilmektedir. Bu durumu sağlayan tek rota olan 16 hücreden geçen rota 1, ilk başlangıç rotası olarak seçilir. İkinci etapta ilgili rotalardan en kısa süreli olan seçilir. İlgili beş rotanın tamamının da süreleri eşit olduğu için, bu durumda en çok boş hücreden geçen rota seçilecektir. Bu durumu sağlayan rota 1 gözükmektedir. Her iki etapta da rota 1 başlangıç rotası olarak çıkmıştır. Eğer ikinci etapta farklı bir rota durumu sağlasaydı, rota 1 ile birlikte o da başlangıç rotası olarak kullanılacaktı.

Rota 1 seçildikten sonra üzerinden en az sayıda rota geçen hücrelerden başlamak üzere atamalar yapılmıştır. Bu hücreler, hücre 5, hücre 6, hücre 7, hücre 9, hücre 12 ve hücre 13 şeklindedir. Bunlardan hücre 5'ten başlanarak atamalar yapılmıştır. Fakat $t=6$ zaman periyodu için olurlu atamalar yapılamamıştır. $T=8$ zaman periyodu için olurlu atamalar yapılabilmektedir. Atamalar, ilgili zaman periyodu veya araç kapasitesi dolana kadar, en az atama yapılan hücreden başlamak üzere yapılmıştır. Rota 1'e ilgili atamalar yapıldıktan sonra benzer adımlar geride kalan rotalar ve hücreler için de uygulanarak, farklı zaman periyotları için tablolar **EK D**'deki gibi oluşturulmuştur. Nihai tablo Çizelge 7.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 : Rotaların üzerinden geçtiği hücreleri gösteren başlangıç tablosu.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Montaj	TOP.
1*	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	13
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	13
4	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
5	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	11
6	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	9
7	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
8	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	9
9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	7
TOPLAM	9	9	9	6	6	3	3	3	7	3	7	9	3	3	6	9	9	9	

Çizelge 7.7 : t=20 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1		1					1						19,85
2																					
3																					
4	1		1	1	1				1		1		1	1							19,55
5																					
6																					
7																					
8																					
9	1	1									1					1	1	1	1	1	18,40
TOPLAM MALİYET = 230,60 TL																					

Maksimum ve minimum zaman aralıkları arasında yapılan iterasyonlardan sonra görülmektedir ki en düşük mâliyet, ($t = 20$) zaman dilimi içerisinde elde edilen çözüme aittir. Burada seçilen rotalar 1., 4. ve 9. rotalardır. Elde edilen toplam mâliyet ise 230,60 TL'dir.

Alt sınır algoritmasına ilişkin adımlar, minimum ve maksimum zaman aralıklarında uygulanmıştır. Dört dakikalık zaman periyodu için olurlu çözüm bulunamamıştır. Altı dakikalık zaman periyodu için olurlu çözüm, araç sayısının dokuz olduğu durumda bulunmuştur. Çünkü araç sayısının sekiz olduğu durumda zaman periyoduna ilişkin eşitsizlik (7.67) sağlanamamaktadır. İlgili adımlar uygulandığında Çizelge 7.8'deki değerler elde edilmektedir.

Çizelge 7.8 : Alt sınır bulma adımlarına ilişkin her adımda elde edilen çözümler.

No	Zaman periyodu	Araç sayısı	Mâliyet
1	3 (6 dak.)	9	601,53 TL
2	4 (8 dak.)	5	337,25 TL
3	5 (10 dak.)	4	274,68 TL
4	6 (12 dak.)	4	277,31 TL
5	7 (14 dak.)	4	280,50 TL
6	8 (16 dak.)	3	222,15 TL
7	9 (18 dak.)	3	226,14 TL
8	10 (20 dak.)	3	230,24 TL
9	11 (22 dak.)	Bu noktadan sonraki durumlar olurlu değildir.	

Bu durumda minimum ve maksimum zaman aralıkları arasında elde edilen değerlerden en küçüğü olan 222,15 TL değeri alt sınır değeridir. Sezgiselden elde edilen sonuç 230,60 TL şeklinde çıkmıştır. Bu değer, alt sınır değerinden %3,6 düzeyinde sapmıştır.

7.4.2.3 Genel Atama, Çok Rotalı, Farklı ve Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar

Genel atama, çok rotalı, farklı zaman periyotlu duruma ilişkin model çalıştırılmış ve olurlu çözüm elde edilmiştir.

Amaç: Minimum araç

Sonuç: 4 araç

Seçilen rotalar, rota çevrim süreleri ve atanan stok noktaları

Seçilen rotalar, rotaların çevrim süreleri ve rotalara atanan stok noktaları Çizelge 7.9'daki gibidir.

Çizelge 7.9 : Genel atama, çok rotalı, farklı zaman periyotlu durumda seçilen rotalar, çevrim süreleri ve atanan stok noktaları.

Seçilen araç ve çevrim süresi	Rotalar ve çevrim süreleri (dak.)	Stok noktaları
v1 (27,65 dak.)	r1(14,86 dak.) r4(12,79 dak.)	r1(sn6, sn7, sn17, sn18, sn19, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn57, sn58, sn59, sn60, sn61, sn80, sn87 sn88, sn95, sn98). r4(sn15, sn16, sn54, sn55, sn56, sn86, sn93, sn94, sn96, sn97).
v2(22,65 dak.)	r3(15,57 dak.) r7(7,08 dak.)	r3(sn4, sn5, sn10, sn11, sn12, sn31, sn32, sn33, sn34, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn78, sn79, sn83). r7(sn22, sn23, sn67, sn68, sn69, sn90).
v3(33,33 dak.)	r2(12,18 dak.) r6(11,95 dak.) r7(9,20 dak.)	r2(sn8, sn9, sn40, sn41, sn42, sn43, sn81, sn82). r6(sn24, sn25, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn91, sn92). r7(sn20, sn21, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn89).
v4 (7,67 dak.)	r9(7,67 dak.)	r9(sn1, sn2, sn3, sn13, sn14, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn50, sn51, sn52, sn53, sn76, sn77, sn84, sn85).

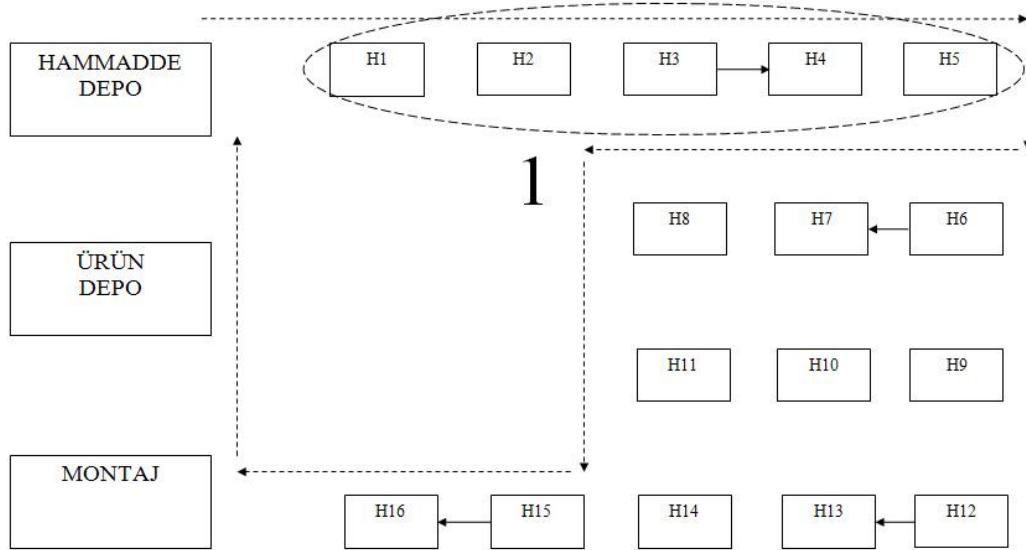
Genel atama, çok rotalı, eşit zaman periyotlu duruma ilişkin model yaklaşık altı saat çalıştırılmış fakat modelden olurlu bir çözüm elde edilememiştir. Olurlu çözüm ancak modelin küçültülmesi durumunda elde edilebilmektedir. Nitekim geliştirilen model uygulama ortamındaki verilerle test edilmiş ve çözüm verdiği gözlemlenmiştir. Uygulama kısmında sonuçlar paylaşılmıştır.

7.4.2.4 Tahsisli Atama, Farklı ve Eşit Zaman Periyotlu Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar

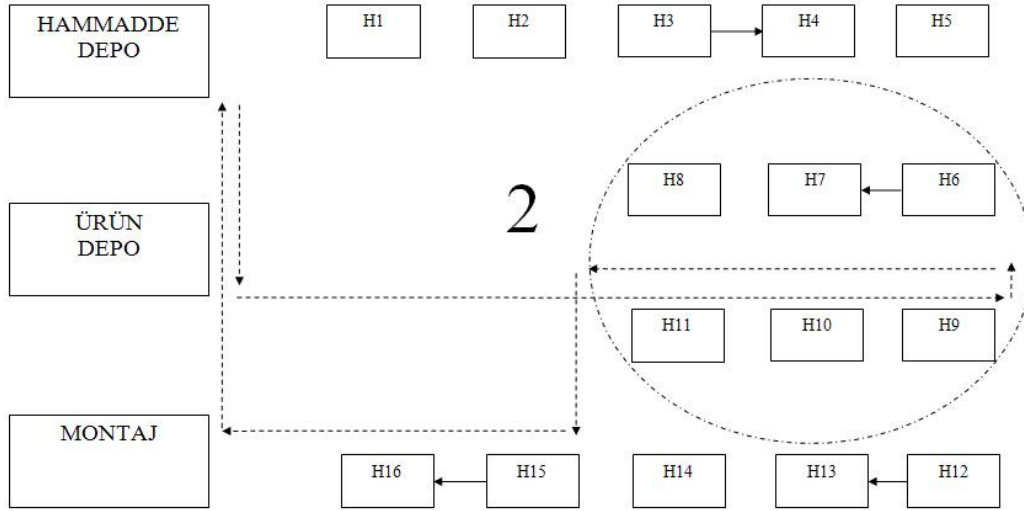
Tahsisli atamada kullanılan parametreler genel atamada kullanılan parametrelerle çoğunlukla aynıdır. Sadece taşıma aracının rotasına ilişkin parametrelerde değişiklik yapılmıştır.

Tahsisli atamanın ilk aşaması olarak öncelikle yerleşim planı üzerinde gruplar oluşturulmuştur. Yerleşim planı üzerinde birbiriyle kesişmeyen, ayırık, trafiği azaltıcı ve olabildiğince her grupta eşit sayıda olacak şekilde tahsisli alanlar oluşturulmuştur.

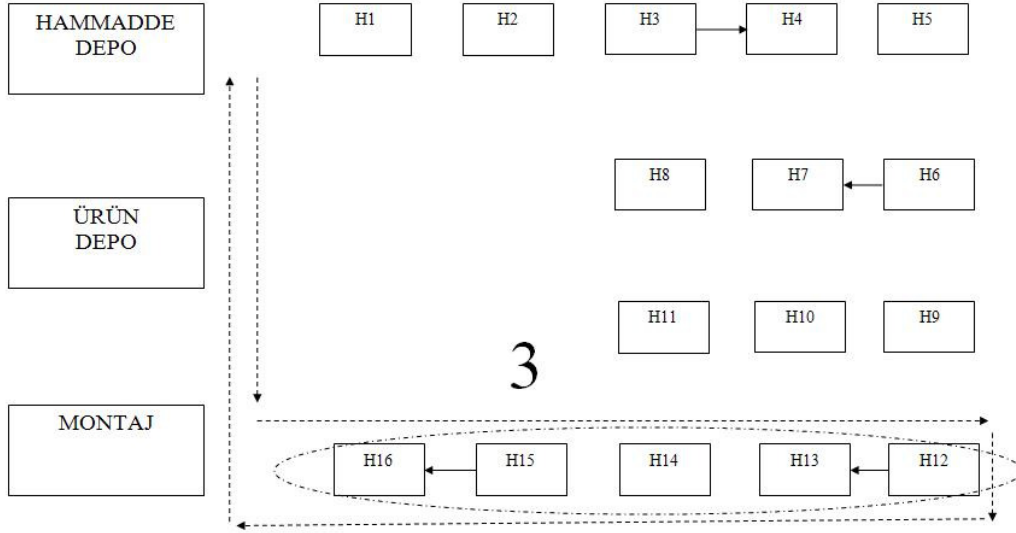
Tahsisli alanlar 3'lü tahsisli alan ve 4'lü tahsisli alan olmak üzere iki şekilde oluşturulmuştur. İlk oluşturulan tahsisli alan 3'lü tahsisli alandır. Bu duruma ilişkin şekiller Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'te gösterilmiştir. Fakat bu duruma ilişkin olurlu çözüm bulunamadığı için 4'lü tahsisli alanların oluşturulması gereği duyulmuştur.



Şekil 7.13 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan ilk grup.



Şekil 7.14 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan ikinci grup.



Şekil 7.15 : 3'lü tahsisli atamaya ilişkin oluşturulan üçüncü grup.

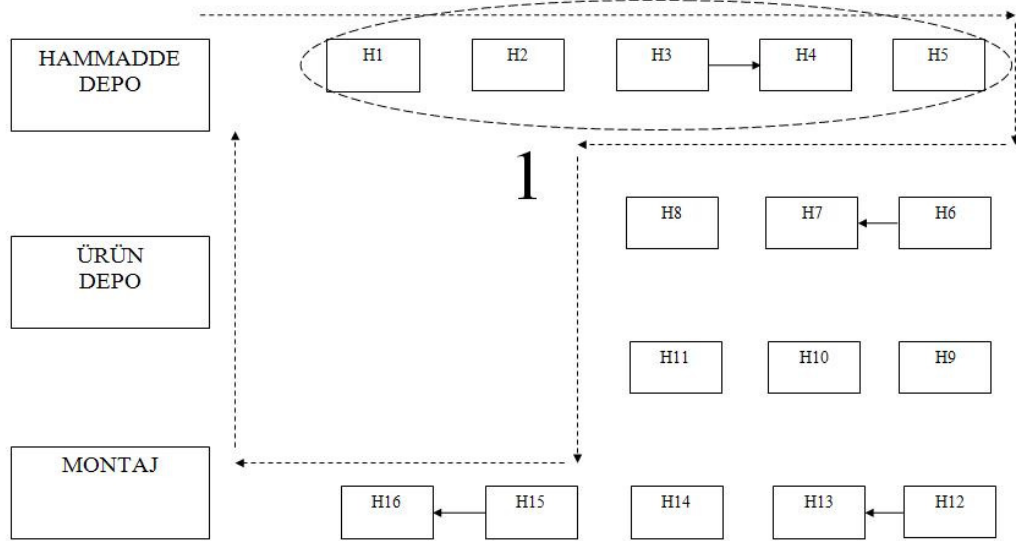
3'lü Tahsis Durumu İçin Modelin Çalıştırılması

Gerek eşit zamanlı gerekse de farklı zamanlı durumlar için model olurlu bir çözüm verememiştir. Bu durum, tahsisli alanlara ilişkin yapılan atamada araç kapasitesi ve stok alanları gibi kaynakların yeterli olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu durumda yapılabilecek şeylerden biri ya aynı araç sayısı için farklı alanların tahsis edilmesi ya da farklı sayıdaki araç için yeni alanların tahsis edilmesidir. Eğer araç sayısı arttırılmak istenmiyorsa, bu durumda darboğaz oluşturan kaynak tespit edilerek kaynak artışı sağlanmaya da çalışılabilir.

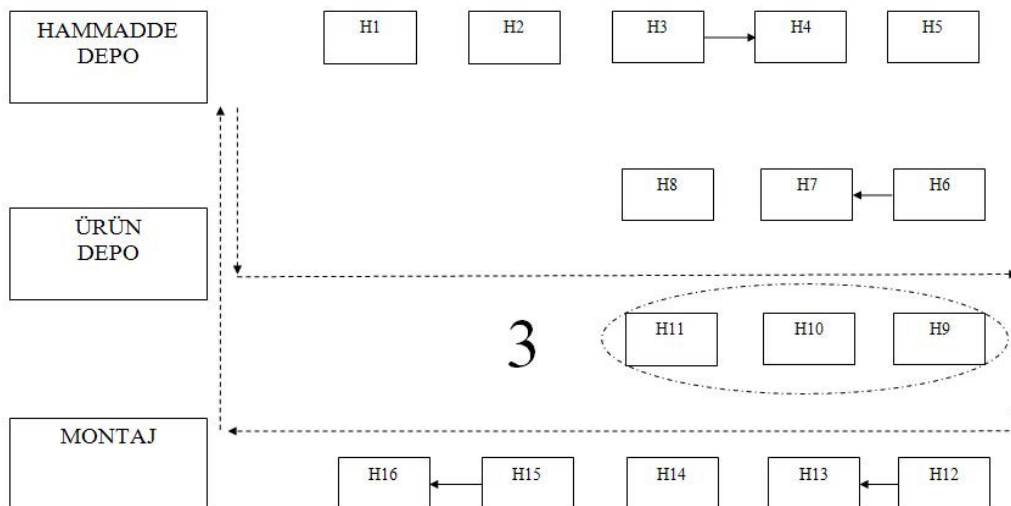
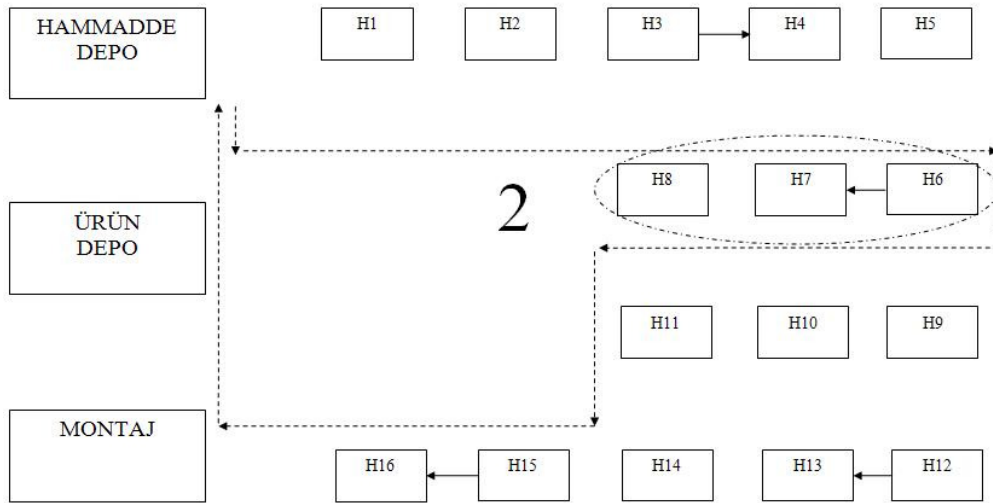
Düşünsel örnekte bu sınıf için kaynaklara ilişkin parametrelerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Araç sayısı bir arttırılarak 4 araç için yeni alanlar tahsis edilmiş ve bu duruma yönelik olarak model çalıştırılmıştır.

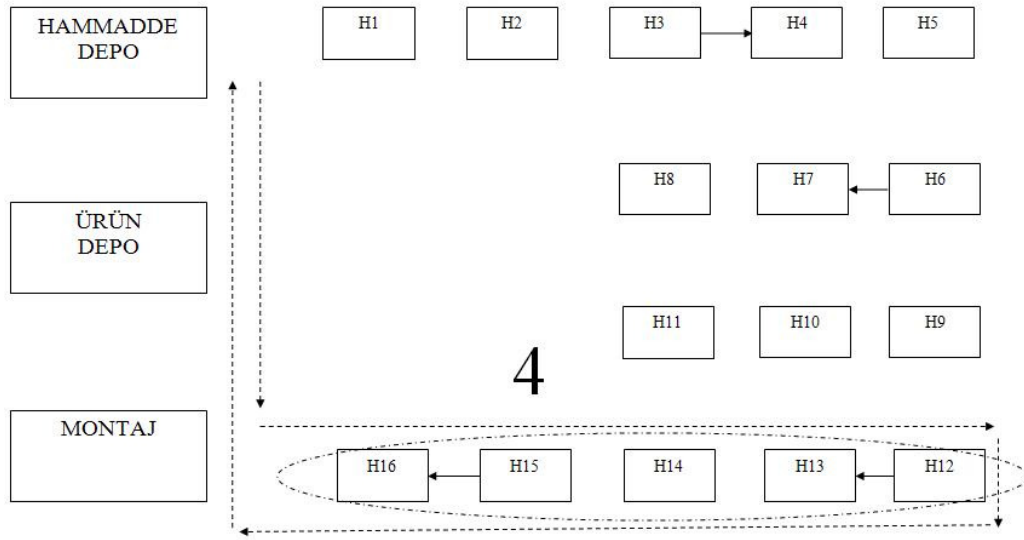
4'lü Tahsis Durumu İçin Modelin Tasarlanması

3'lü tahsis durumu için istenen alanlarda olurlu bir çözüm elde edilemediği için araç sayısının bir arttırıldığı 4'lü durum için yeni alanlar tahsis edilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere kaynak düzeyleri değiştirilmeden 3'lü tahsis durumuna ilişkin farklı alanların tahsis edilmesi durumunda olurlu çözümün bulunması ihtimali vardır. Fakat bu düşünsel örnek kapsamında belirlenen alanların dışında bir akışın istenmediği varsayılmıştır. 4'lü tahsisli alanlara ilişkin şekiller ise Şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18 ve Şekil 7.19'da gösterilmiştir.



Şekil 7.16 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan ilk grup.





Şekil 7.19 : 4'lü tahsisli atama durumuna ilişkin oluşturulan dördüncü grup.

4'lü Tahsis Durumu İçin Farklı Zaman Periyotlu Durumda Elde Edilen Çözümler

Zaman periyotlarının farklı olabildiği durumda GAMS eniyileme programından elde edilen en iyi çözüme göre rotaların periyotları sırası ile 14 dakika, 18 dakika, 14 dakika ve 10 dakikadır. Sistemin toplam mâliyeti ise 284,68 TL şeklindedir. Bu durum Çizelge 7.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.10 : Tahsisli atama, farklı zaman periyotlu duruma ilişkin çözüm.

Çözüm türü	Rota sayısı	Zaman periyodu	Mâliyet
Farklı zaman periyotlu	4	14 dak., 18 dak., 14 dak., 10 dak.	284,68 TL

Aynı zaman periyotlu durum için elde edilen çözümler

Aynı zaman periyotlu durum için GAMS eniyileme programından elde edilen en iyi çözümde 4 rotanın da zaman periyodu 18 dakika çıkmıştır. Sistemin toplam mâliyeti ise 289,38 TL şeklindedir. Bu durum Çizelge 7.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.11 : Tahsisli atama, eşit zaman periyotlu duruma ilişkin çözüm.

Çözüm türü	Rota sayısı	Zaman periyodu	Mâliyet
Aynı zaman periyotlu	4	18 dak.	289,38 TL

7.4.2.5 Belirli Zaman Periyotlu, Tek Rotalı ve Çok Rotalı Araçlar İçin Elde Edilen Sonuçlar

Belirli zaman periyotlu tek ve çok rotalı atama için sabit zaman periyodunun 30 dakika olduğu ve sayısal örnekte her stok alanında da yeterli fiziksel alanın olduğu varsayılmıştır. Daha önceden belirtilen amaçlara göre model çalıştırılmıştır.

Tek rotalı araç

Her bir aracın tek rotasının olduğu bu durum için model bütün amaçlara göre çözülmüştür. Ele alınan amaçlar, daha önce de belirtildiği üzere toplam araç sayısının (her bir aracın tek rotası olduğu için rota sayısı da denilebilir) enküçüklenmesi, toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesi ve araca ilişkin sabit ve değişken mâliyetleri içeren toplam mâliyetin enküçüklenmesi şeklindedir.

Kullanılan araç (rota) sayısının enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen rota sayısı 4 olup, seçilen rotalar, rotaların tamamlanma süreleri ve rotalara atanan stok noktaları Çizelge 7.12’de gösterilmiştir. Rotaların periyotları sabittir. Fakat tamamlanma sürelerine göre boşta kaldıkları süreler farklılaşabilmektedir.

Çizelge 7.12 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum rota) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen rotalar	Rota süresi	Rotaya atanan stok noktaları
r3	23,15 dak.	sn6, sn7, sn8, sn9, sn10,sn11,sn12, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn80, sn81, sn82, sn83.
r7	21,35 dak.	sn1, sn2, sn3, sn15, sn16, sn20, sn21, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn54, sn55, sn56, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn76, sn77,sn86, sn89.
r8	12,53 dak.	sn17, sn18, sn19, sn22, sn23, sn57, sn58, sn59, sn60, sn61, sn67, sn68, sn69, sn87, sn88,sn90.
r9	27,33 dak.	sn4, sn5, sn13, sn14, sn24, sn25, sn31, sn32, sn33, sn34, sn50, sn51, sn52, sn53, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn78, sn79, sn84, sn85, sn91, sn92, sn93, sn94, sn95, sn96, sn97, sn98.

Katedilen mesafenin enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen değer, bir tur için 1.038 metredir. Seçilen rotalar, rotaların tamamlanma süresi ve rotalara atanan stok noktaları, Çizelge 7.13’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.13 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum katedilen mesafe) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen rotalar	Rota süresi	Rotaya atanan stok noktaları
r1	24,05 dak.	sn8, sn9, sn10, sn11, sn12, sn22, sn23, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn67, sn68, sn69, sn81, sn82, sn83, sn90, sn93, sn96.
r4	20 dak.	sn6, sn7, sn15, sn16, sn17, sn20, sn21, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn54, sn55, sn56, sn57, sn58, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn80, sn86, sn87, sn89.
r6	19,73 dak.	sn1, sn2, sn3, sn13, sn14, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn50, sn51, sn52, sn53, sn76, sn77, sn84, sn85.
r9	20,58 dak.	sn4, sn5, sn18, sn19, sn24, sn25, sn31, sn32, sn33, sn34, sn59, sn60, sn61, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn78, sn79, sn88, sn91, sn92, sn94, sn95, sn97, sn98.

Araca ilişkin sabit (yatırım mâliyeti) ve değişken mâliyetlerin (taşıma mâliyeti) enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen en iyi değer 244,15 TL şeklindedir. Seçilen rotalar, rotaların tamamlanma süresi ve rotalara atanan stok alanları Çizelge 7.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.14 : Belirli zaman periyotlu, tek rotalı araç (minimum taşıma mâliyeti) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen rotalar	Rota süresi	Rotaya atanan stok noktaları
r1	23,15 dak.	sn6, sn7, sn8, sn9, sn10, sn11, sn12, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn80, sn81, sn82, sn83.
r4	24,95 dak.	sn4, sn5, sn15, sn16, sn17, sn20, sn21, sn23, sn31, sn32, sn33, sn34, sn54, sn55, sn56, sn57, sn58, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn67, sn68, sn69, sn78, sn79, sn86, sn87, sn89, sn90, sn94, sn97.
r5	12,30 dak.	sn13, sn14, sn50, sn51, sn52, sn53, sn84, sn85.
r9	23,95 dak.	sn1, sn2, sn3, sn18, sn19, sn24, sn25, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn59, sn60, sn61, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn76, sn77, sn88, sn91, sn92, sn93, sn95, sn96, sn98.

Çok rotalı araç

Her bir araca birden fazla rotanın atanabildiği bu durum için de model tek rotalı araçta olduğu gibi üç amaç için çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Kullanılan araç sayısının enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen araç sayısı 2 olup, seçilen araçlar, araçlara atanan rotalar, araçların tur bitirme süreleri ve rotalara atanan stok noktaları, Çizelge 7.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.15 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum araç sayısı) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen araçlar	Seçilen rotalar ve süreleri	Rotaya atanan stok noktaları
v1	r2 (5,43 dak.)	sn6, sn7, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn80.
	r3 (17,78 dak.)	sn10, sn11, sn12, sn13, sn14, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn50, sn51, sn52, sn53, sn83, sn84, sn85.
	r4 (6,79 dak.)	sn15, sn16, sn20, sn21, sn54, sn55, sn56, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn86, sn89.
v2	r1 (6,44 dak.)	sn18, sn19, sn22, sn23, sn59, sn60, sn61, sn67, sn68, sn69, sn88, sn90, sn95, sn98.
	r2 (7,80 dak.)	sn4, sn5, sn24, sn25, sn 31, sn32, sn33, sn34, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn78, sn79, sn91, sn92, sn93, sn96.
	r3 (9,59 dak.)	sn1, sn2, sn3, sn8, sn9, sn17, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn40, sn41, sn42, sn43, sn57, sn58, sn76, sn77, sn81, sn82, sn87, sn94, sn97.

Katedilen mesafenin enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen değer, bir tur için 756 metredir. Seçilen rotalar, rotaların tamamlanma süresi ve rotalara atanan stok alanları, Çizelge 7.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.16 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum katedilen mesafe) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen araçlar	Seçilen rotalar ve süreleri	Rotaya atanan stok noktaları
v1	r1 (22,12 dak.)	sn8, sn9, sn10, sn11, sn12, sn15, sn16, sn20, sn21, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn54, sn55, sn56, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn81, sn82, sn83, sn86, sn89.
v2	r5 (19,09 dak.)	sn1, sn2, sn3, sn6, sn7, sn17, sn18, sn19, sn22, sn23, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn57, sn58, sn59, sn60, sn61, sn67, sn68, sn69, sn76, sn77, sn80, sn87, sn88, sn90, sn93, sn94, sn96, sn97.
v3	r9 (11,13 dak.)	sn4, sn5, sn13, sn14, sn24, sn25, sn31, sn32, sn33, sn34, sn50, sn51, sn52, sn53, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn78, sn79, sn84, sn85, sn91, sn92, sn95, sn98.

Araca ilişkin sabit (yatırım mâliyeti) ve değişken mâliyetlerin (taşıma mâliyeti) enküçüklenmesi amaçlanarak model çözdürüldüğü zaman elde edilen değer 123,14 TL şeklindedir. Seçilen rotalar, rotaların tamamlanma süresi ve rotalara atanan stok noktaları, Çizelge 7.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17 : Belirli zaman periyotlu, çok rotalı araç (minimum taşıma mâliyeti) durumuna ilişkin çözüm.

Seçilen araçlar	Seçilen rotalar ve süreleri	Rotaya atanan stok noktaları
v1	r1 (15,20 dak.)	sn6, sn7, sn15, sn16, sn17, sn20, sn21, sn22, sn23, sn35, sn36, sn37, sn38, sn39, sn54, sn55, sn56, sn57, sn58, sn62, sn63, sn64, sn65, sn66, sn67, sn68, sn69, sn80, sn86, sn87, sn89, sn90, sn94, sn97.
	r9 (14,80 dak.)	sn1, sn2, sn3 sn4, sn5, sn18, sn19, sn24, sn25, sn26, sn27, sn28, sn29, sn30, sn31, sn32, sn33, sn34, sn59, sn60, sn61, sn70, sn71, sn72, sn73, sn74, sn75, sn76, sn77, sn78, sn79, sn88, sn91, sn92, sn95, sn98.
v2	r3 (24,74 dak.)	sn8, sn9, sn10, sn11, sn12, sn13, sn14, sn40, sn41, sn42, sn43, sn44, sn45, sn46, sn47, sn48, sn49, sn50, sn51, sn52, sn53, sn81, sn82, sn83, sn84, sn85, sn93, sn96.

7.4.3 Bütün Problem Türlerinin Genel Değerlendirilmesi ve Sayısal Örneğe İlişkin Sonuçların Özet Tablo Halinde Gösterilmesi

Çekme esaslı sistemin oluşturulmasında temel olarak üç sınıf değerlendirmeye alınmıştır. Bu sınıflar, rotaların ve zaman periyotlarının bilinmediği durumlar için genel atama, rotaların bilindiği, belirli alanlara tahsis edildiği fakat zaman periyotlarının bilinmediği durumlar için tahsisli atama ve son olarak da zaman periyodunun bilindiği fakat rotaların bilinmediği durumlar için de belirli zaman periyotlu atama olarak adlandırılmaktadır. Bu sınıflar problem türlerini göstermekle birlikte, çekme esaslı bir sistemin tasarlanmasında ele aldıkları problem türü ve önerdikleri çözüm yaklaşımları ile birlikte birer yöntem olarak da kullanılabilir. Genel olarak üç sınıfa ilişkin yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

Genel atama probleminde olası birçok rotanın içerisinde uygun rotaların ve bunlara ilişkin zaman periyotlarının seçilmesi süreci özellikle gerçek hayat problemlerinde modelin büyümesine neden olmakta ve geliştirilen karma tamsayılı modelden en iyi değer elde edilmesini çok zor hale getirmektedir. Arama uzayının geniş olduğu bu durumda sezgisellerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Nitekim tez

çalışması kapsamında bir sezgisel ve alt sınır algoritması da geliştirilmiştir. Genel atama problemi bir araca tek bir rotanın atanabildiği ve birden fazla rotanın atanabildiği durumları içeren tek rotalı ve çok rotalı araç olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu sınıflandırma da kendi içerisinde döngüsel sefer trenlerinin farklı zamanlı ve eşit zamanlı olması açısından ikiye ayrılmaktadır. Sayısal örnek üzerindeki sonuçlardan da görüldüğü üzere ele alınan örnek çok büyük olmamasına rağmen, en iyi çözüm elde edilememiştir. Fakat sezgiselden alt sınır değerine yakın iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Tahsisli atama probleminde genel atamadan farklı olarak tahsisli alanlar bilindiği için problemin çözülmesi sadece belirli kısıtlar altında zaman periyodunun belirlenmesine dayanmaktadır. Bu açıdan problem boyutu çok büyük olmadığı müddetçe en iyi değer bulunması kolaydır. Tahsisli atama problemi, araç periyotlarının eşit zamanlı ve farklı zamanlı olmasına göre ikiye ayrılmaktadır. Genel atama probleminden tahsisli atama problemine, uygun tahsisli alanlar belirlenerek geçiş yapılabilir. Tahsisli atamada ilk etapta belirlenen alanlar, problemi çözümsüz bırakabilir. Bu durumda eğer araç sayısı değiştirilmek istenmiyorsa yapılabilecek ilk değişiklik, yeni olası alanların tahsis edilmesi ve bu durumlar için modelin çalıştırılmasıdır. Yapılabilecek diğer bir değişiklik de ilk etapta belirlenen tahsisli alanlara ilişkin modeli geçersiz kılan araç sayısı haricindeki kaynakların değerlerinin arttırılabilme olasılıklarının incelenmesi olabilir. Ya da sayısal örnekte de uygulandığı üzere araç sayısı arttırılarak farklı tahsisli alanlara ilişkin en iyi çözüm üretilmesi mümkün olabilir. Sayısal örnekte ilk etapta üç alan seçilmiş, fakat bu alanlara mevcut kaynaklar kullanarak olurlu bir çözüm elde edilemeyeceği görülmüştür. Bu durumda mevcut kaynaklar iyileştirilerek model olurlu kılınabilirdi veya farklı üç alan seçilerek atama yapılabilirdi. Fakat örnek kapsamında araç sayısı bir arttırılarak dört tahsisli alan belirlenmiş ve en iyi çözüm elde edilmiştir.

Belirli zaman periyotlu atamada ise tahsisli atamanın tersi olarak belirli bir zaman aralığı içinde uygun rotaların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu sınıfta da bilinmeyen sayısı genel atamaya göre azdır. Çok büyük olmayan problemlerde en iyi çözüme ulaşılabilir. Genel atama durumunda belirli zaman periyotlu duruma zaman aralığı veya olası zaman aralıkları belirlenerek geçiş yapılabilir. Belirli zaman periyotlu atama da kendi içinde tek rotalı araç ve çok rotalı araç olarak değerlendirilmiştir. Tek rotalı araçta belirli olan zaman periyodu içerisinde aracın tek

ve sabit bir periyodu bulunmaktadır. Çok rotalı araçta ise ilgili zaman periyodu içerisinde araca birden fazla rota atanabilmektedir. Her iki durumda da temel olarak amaçlanan, en az araçla en az mesafeyi katederek istasyonların gerekli malzemelerini karşılamaktır. Tek rotalı araç daha kolay yönetilebilir olmasına rağmen çok rotalı araç durumunda daha az araçla, araçların daha etkin kullanıldığı çözümler elde edilebilir. Nitekim sayısal örnekte de görüldüğü üzere çok rotalı araç durumunda gerekli araç sayısı, tek rotalı araç durumuna göre daha azdır. Bu durum taşıma maliyetlerinde de önemli düzeyde azalmaya neden olmuştur.

Kurgulanan sayısal örnek üzerinde bütün problem türlerine ilişkin geliştirilen modeller uygulanmıştır. Çizelge 7.18’de çözümlerin özeti gösterilmiştir. Farklı sınıflar arasında kıyaslama yapmak doğru değildir. Çünkü her sınıfın kendine ait farklı özellikleri bulunmaktadır ve bazı sınıflarda bazı parametreler değiştirilmiştir. Özet çözüm tablosundan da görüldüğü üzere özellikle genel atama ve çok rotalı araç durumlarına ilişkin modellerde en iyi çözümü elde etmek her zaman mümkün değildir. Bu durum da problem boyutu büyüdükçe sezgisellere olan ihtiyacın artacağını göstermektedir.

Çizelge 7.18 : Bütün problem sınıflarına ilişkin özet sonuç tablosu.

PROBLEM TÜRÜ	AMAÇ / ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	ELDE EDİLEN SONUÇ
Genel atama tek rotalı farklı periyodik zamanlı	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	226,79 TL
Genel atama tek rotalı eşit periyodik zamanlı	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	225,11 TL
	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Sezgisel.	230,60 TL
	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Alt sınır algoritması.	222,15 TL
Genel atama çok rotalı farklı periyodik zamanlı	Araç sayısının enküçüklenmesi / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	4 araç
Genel atama çok rotalı eşit periyodik zamanlı	Araç sayısının enküçüklenmesi / Eniyileme programı.	Makul bir sürede olurlu bir çözüm elde edilememiştir. (Problem boyutu küçüldüğünde olurlu çözüm elde edilebilmektedir).
Tahsisli atama farklı periyodik zamanlı (3 rotalı tahsis)	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı.	Olurlu değil (Tahsis edilen alanlar model kısıtlarını bozmaktadır).
Tahsisli atama eşit periyodik zamanlı (3 rotalı tahsis)	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı.	Olurlu değil (Tahsis edilen alanlar model kısıtlarını bozmaktadır).
Tahsisli atama farklı periyodik zamanlı (4 rotalı tahsis)	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı (En iyi çözüm).	284,68 TL
Tahsisli atama eşit periyodik zamanlı (4 rotalı tahsis)	Mâliyet enküçüklenmesi (Taşımaya ilişkin mâliyet ve süreç içi stok mâliyeti) / Eniyileme programı (En iyi çözüm).	289,37 TL
Belirli Zaman Periyotlu Tek Rotalı Araç	Rota sayısının enküçüklenmesi / Eniyileme programı (En iyi çözüm).	4 rota ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)
	Mesafenin enküçüklenmesi / Eniyileme programı (En iyi çözüm).	1038 m. ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)
	Taşımaya ilişkin mâliyetin enküçüklenmesi / Eniyileme programı (En iyi çözüm).	244,15 TL. ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)
Belirli Zaman Periyotlu Çok Rotalı Araç	Araç sayısının enküçüklenmesi / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	2 araç ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)
	Mesafenin enküçüklenmesi / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	756 m. ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)
	Taşımaya ilişkin mâliyetin enküçüklenmesi / Eniyileme programı (Olurlu çözüm).	123,14 TL ($t_{\text{sabit}} = 30$ dak.)

7.5 Sayısal Örneğe İlişkin Gelecek Durum Değer Akış Haritası

Önerilen çekme esaslı taşıma sistemin sayısal örnek üzerinde uygulanması durumunda beklenen gelecek değer akış haritası, aşağıda gösterilen şekillerdeki gibi olacaktır. Genel atama eşit zamanlı durum için önerilen sezgiselin çözümünden elde edilen sonuçların uygulandığı farzedilerek değer akış haritası oluşturulmuştur. Burada montaj hattından üç ürün çıktığı ve nihai olarak ürünlerin montaj hattında aşağıdaki stok numaraları verilen parçalardan oluştuğu varsayılmıştır.

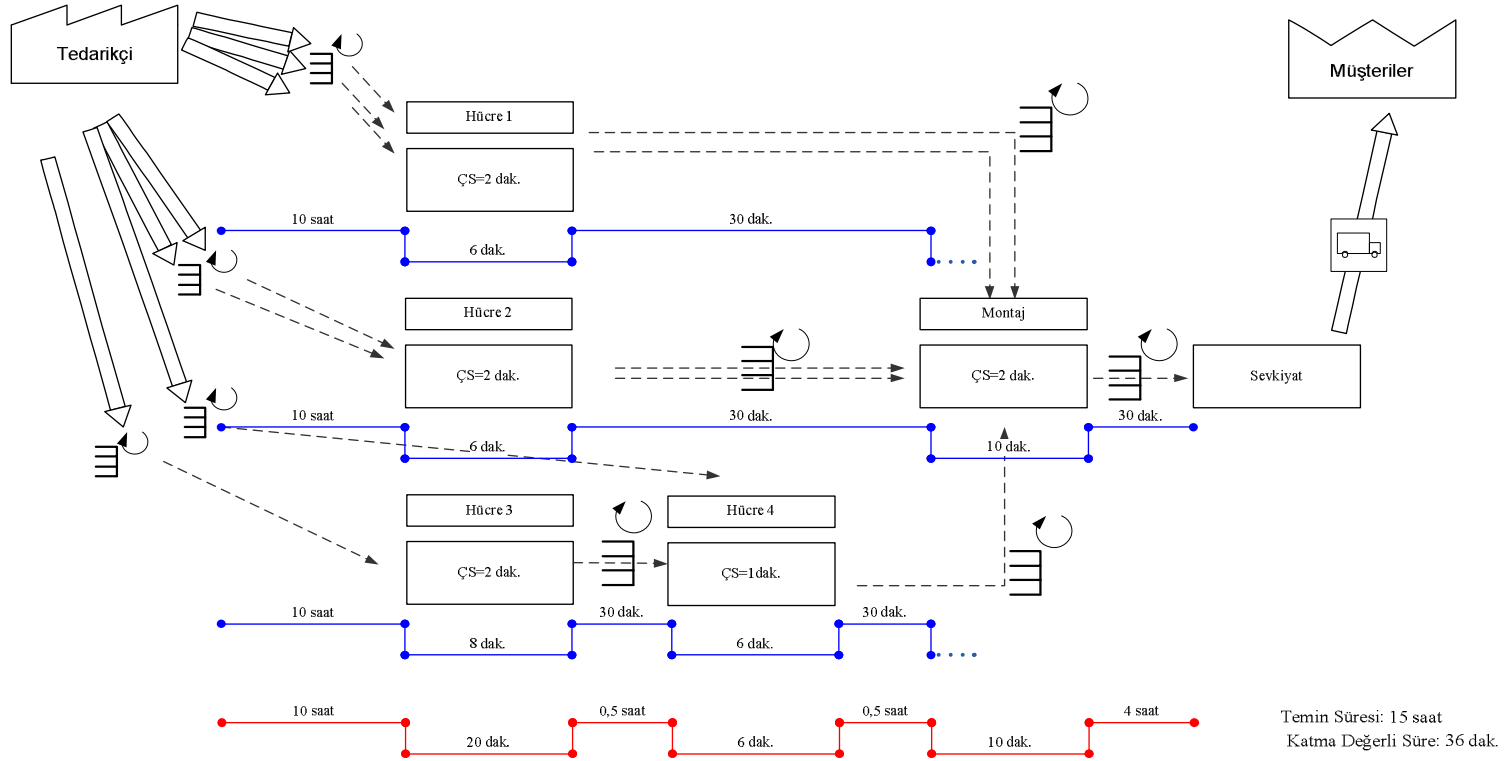
1. ürün: 29, 30, 33, 34, 39

2. ürün: 42, 43, 49, 52, 53, 56, 58

3. ürün: 61, 66, 69, 72, 75

Bu durumda beklenen gelecek değer akış haritası, birinci ürün için Şekil 7.20'deki gibi olacaktır. Diğer ürünlere ilişkin gösterimler Şekil E.1 ve Şekil E.2'de gösterilmiştir. Önemli olan ve dikkat çeken nokta her stok noktasında, hizmet veren aracın çevrim süresinin yarısı ve güvenlik stoku kadarlık bir yarımamul stoku olacağı ve ürün temin sürelerinin makul düzeyde azaltılabilme olanağıdır.

ÜRÜN 1



Şekil 7.20 : Sayısal örnek ürün 1'e ilişkin gelecek durum değer akışı.

7.6 Setleme Sisteminin Döngüsel Sefer Taşıma Sistemiyle Bütünleştirilmesi

Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarlanmasına ilişkin ilk aşamada oluşturulan modelde her bir stok noktasının talebi, ilgili noktaya hizmet veren araç tarafından karşılanmaktadır. İkinci kısım ise bu noktadan sonra başlamaktadır. Bu aşamada başta montaj hattı olmak üzere, büyük çaplı hücrelerde de pratik uygulamalarda gözlemlendiği üzere trenin bıraktığı parçaların ilgili istasyonlara dağıtılması gerekmektedir. Burada literatürde temel olarak geçen iki duruma göre tasarım yapılması mümkün gözükmemektedir. Bunlardan birincisi hat kenarında stoklama, diğeri ise setleme sistemi şeklindedir.

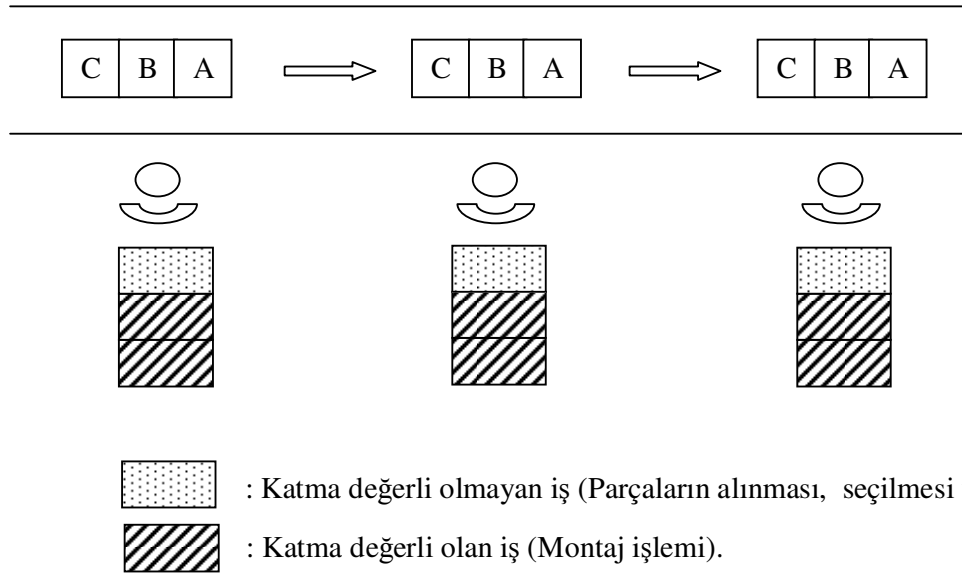
Her iki tasarım şeklinden hangisinin daha iyi olduğu noktasında, daha önce setleme bölümünde detaylı bir şekilde bahsedildiği üzere net bir durum yoktur. Bu nedenden dolayı bu aşamada karar verilmesine yönelik olarak hat kenarında stoklama sistemi veya ona benzer sistemlerden setleme sistemine geçişin nasıl gerçekleştirilebileceğine dair bir algoritma önerilmiş, algoritmanın bir adımı olarak da döngüsel sefer sistemine benzer şekilde setleme işgöreninin belirli zaman dilimlerinde periyodik turlar yapmasına imkân tanıyan bir model geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelde üst zaman limiti olarak ilk aşamada ana döngüsel sefer tasarımından elde edilen zaman periyodu kullanılmıştır. Farklı zaman periyotlarında birden fazla trenin beslemede bulunduğu durumlarda en kısa süreli olan zaman periyodu üst zaman limiti olarak alınmaktadır. Böylece trenin malzemeyi bıraktığı noktada stok artmasının önüne geçilecek, ana akışla bütünleşik bir sistem geliştirilmiş olacaktır.

7.6.1 Setleme Sistemine Geçiş ve Karşılaştırma Algoritması

Setleme sisteminin hat kenarında stoklama sisteminden ayrıldığı temel nokta, katma değerli olmayan işlerin bir noktadan diğer noktaya taşınmasıdır. Katma değerli olmayan işler hat kenarında stoklama sistemlerinde montaj işgörenden tarafından yapılırken bu durum setleme sistemlerinde setlemeden sorumlu işgörende toplanmaktadır. Temelde bu ayrışmaya dayanan farklılığın sistemler üzerinde neden olduğu avantajlar ve dezavantajlar önceki bölümlerde anlatılmıştı.

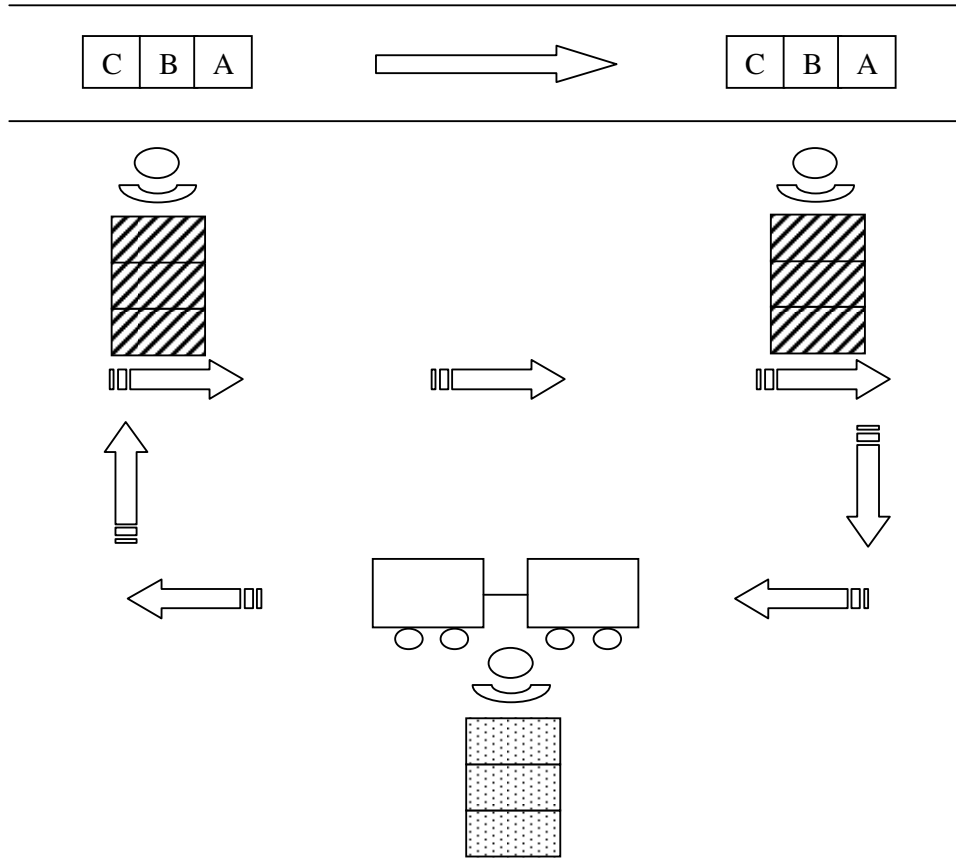
Şekil 7.21 ve Şekil 7.22 setleme ve hat kenarında stoklama sistemleri arasında katma değerli olmayan işlerin nerede bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 7.21 : Hat kenarında stoklama sistemine ilişkin gösterim.

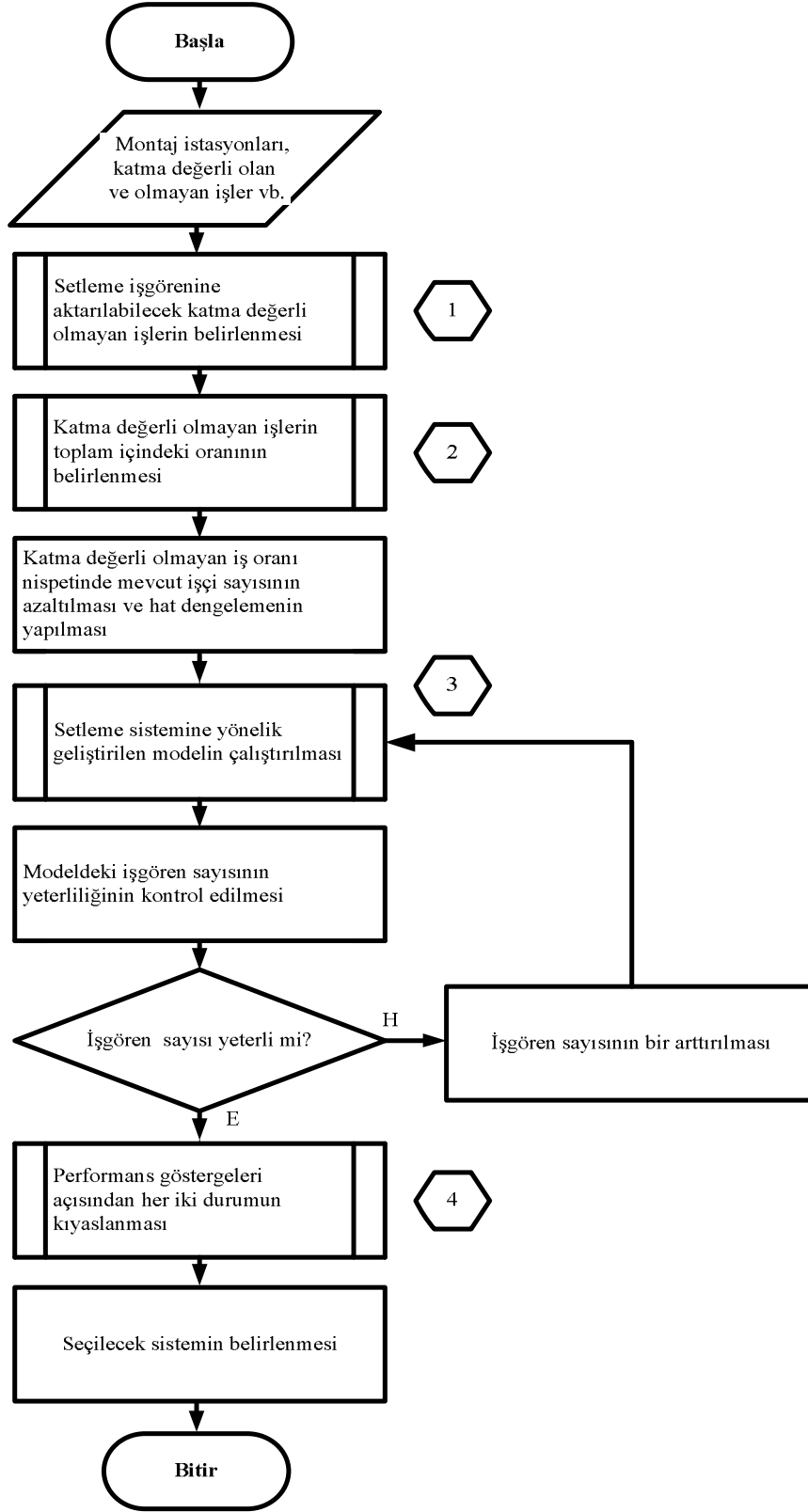
Şekil 7.21’de, montajda kullanılacak parçaların alınmaya gidilmesi, parçaların seçilmesi ve montaj istasyonuna geri dönülmesi gibi katma değerli olmayan bütün işler, montaj işgörenleri tarafından yapılmaktadır. Katma değerli olmayan bu işler yapılan bütün işler içerisinde belirli bir orana sahiptir.

Şekil 7.22’de ise katma değerli olmayan işler, setlemeden sorumlu kişiye aktarılarak montaj işgörenlerinin sadece katma değerli olan işlerle uğraşmaları sağlanmaya çalışılmıştır. Bu durumda, katma değerli olmayan işler belirli bir noktada toplanmıştır. Montaj istasyonlarında kullanılan alan daha yalın, daha az stokla çalışan, daha kontrol edilebilir bir hale dönüşecektir.



Şekil 7.22 : Setleme sistemine ilişkin gösterim.

Gösterimi yapılan her iki durumdan da anlaşıldığı üzere, katma değerli olmayan işlerin taşınması sözkonusudur. Bu noktada hat kenarında stoklama sisteminden setleme sistemine geçilirken, montaj istasyonlarında katma değerli olmayan sürenin oranı nispetinde eleman sayısı mevcut üretim hızını değiştirmeyecek şekilde setleme sistemine aktarılabilir. Örneğin yukarıdaki örnekte teorik olarak katma değerli olmayan süre %33 oranında varsayılır ise, bu durumda setlemeyle birlikte katma değerli olmayan süreler set işgörenine taşınacağı için, aynı tempo önceki durumda montaj istasyonunda çalışan üç işgörenle karşılanırken, yeni durumda iki işgörenle karşılanabilecektir. Elbette setleme alanına kaydırılan işgörenin setleme alanında yeterli olmama durumu olabilir. Bu durumda üretim ortamına özgü olarak setlemede çalışan işgören sayısı ayarlanabilir. Mevcutta hat kenarı stoklama şeklinde olan üretim ortamından setleme sistemine geçilirken izlenmesi gereken adımlar, Şekil 7.23'teki gibi belirlenebilir.



Şekil 7.23 : Setleme sistemine ilişkin geliştirilen algoritma.

Yukarıda verilen algoritmayla montaj besleme sistemleri arasında karşılaştırma yapma imkânı doğacaktır. Algoritmadaki temel mantık, aynı üretim düzeyini her iki sistemin hangi koşullar altında verebildiğidir. Koşullar sistemdeki performans göstergelerini etkilemektedir. Böylece aynı üretim düzeyleri için performans göstergelerine bakılarak seçim yapılma olanağına kavuşulacaktır.

Literatürdeki örneklerin analizinde de açıklandığı gibi, bütün durumlar için ideal olan bir sistem yoktur. Algoritmayla birlikte üretim sisteminin karakteristiğine göre bir karşılaştırma ortamı sağlanacaktır.



Setleme işgörenine aktarılabilecek katma değerli olmayan işlerin belirlenmesi

Montaj istasyonlarında çalışan işgörenlerin katma değerli olmayan işleri, bütün yapılan işler içerisinde belirlenir. Bu işler esas iş olan montaj dışındaki; parçaları almaya gitme, arama ve geri getirme gibi aktivitelerden oluşmaktadır.



Katma değerli olmayan işlere ilişkin standart süreler belirlenerek, bu sürelerin toplam işlem süreleri içerisindeki oranı belirlenir.



Setleme sisteminde çalışacak olan işgören ya da işgörenlerin periyotlarını (gerekli setlerin hazırlanıp hatlara beslemenin yapıldığı zaman dilimi), taşıyacakları setlerin büyüklüklerini çeşitli kısıtlar altında belirleyen model bu aşamada kullanılacaktır. Modele ilişkin detaylı bilgiler sonraki bölümde verilmektedir.



Bu noktada karşılaştırma yapılmadan önce, her iki sistemin birim zamandaki üretim miktarları aynı olacak şekilde süreç tasarlanmış ve aynı üretim miktarının her iki sistem tarafından karşılanması halinde çeşitli performans göstergeleri açısından sistemlerin durumunu izlemek üzere bir altyapı oluşturulmuştur. Ele alınması planlanan temel performans göstergeleri şunlardır:

- Süreç içi stok miktarı
- Toplam gereksinim duyulan alan
- Toplam işgören sayısı

- Hatalı ürün oranı
- Toplam mâliyet

Süreç içi stok miktarı, her iki sistemin anlık stok değerlerinin ortalaması şeklindedir. Bu değer hem setleme hem de hat kenarında stoklama sistemlerinin belirli zaman aralıklarında izlenerek ortalamalarının alınmasıyla elde edilebilir. Maksimum ve minimum stok değerlerinin ortalaması alınarak da ortalama bir değere ulaşılabilir.

Toplam gereksinim duyulan alan, montaj istasyonlarının etrafında gereksinim duyulan alan ile setleme alanı arasında olmaktadır. Ana depo alanı değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu durumda hat kenarında stoklama işi için sadece montaj istasyonu etrafındaki alan değerlendirmeye alınmakta, setleme sistemi için ise montaj istasyonu etrafındaki alan ile setleme alanı toplamı değerlendirmeye alınmaktadır.

Toplam işgören sayısı, hat kenarında stoklama durumu için sadece montaj istasyonundaki işgörenlerden setleme durumu için ise montaj istasyonundakilere ek olarak setleme alanındaki işgörenlerin toplamından oluşmaktadır.

Toplam mâliyet, esasında belirtilen ilk üç maddeyi de içine alan bir fonksiyondur. Fakat sadece toplam mâliyete bakılarak karar verilmesi doğru olmayabilir. Bu nedenle mâliyeti oluşturan diğer maddeler de analiz edilmiştir. Her iki sistem için toplam mâliyet şu şekildedir:

Toplam mâliyet = süreç içi stok mâliyeti + toplam gereksinim duyulan alan mâliyeti + toplam işgören mâliyet

Burada belirlenen performans göstergeleri dışında setleme sistemlerinde daha iyi olması beklenen ürünlerin kalite düzeyi, hat kenarının görsellik kazanması, montaj işgörenlerinin eğitilme süresi de diğer göstergelerdir.

7.6.2 Setleme Sistemine İlişkin Geliştirilen Doğrusal Model

Setleme sistemine ilişkin doğrusal bir model sunulmuştur. Geliştirilen model, birinci aşamada elde edilen tren periyodunu üst zaman limiti olarak kullanmaktadır. Model, setleme sistemine geçiş ve karşılaştırma algoritması içerisinde bir adımda kullanılmaktadır. Böylece setleme sisteminin uygulanması durumundaki minimum mâliyet bulunmuş olacak ve karşılaştırmada kullanılacaktır. Model kısa süre içerisinde en iyi çözümü verebilmektedir. Modele ilişkin indisler, karar değişkenleri, amaç denklemi ve kısıt açıklamaları aşağıdaki şekildedir:

İndisler

s: set

w: istasyon

Karar değişkenleri

D_{sw}: “w” istasyonunda kullanılan “s” set miktarı

H_{sw}: “w” istasyonunda kullanılacak “s” setine ilişkin hazırlık süresi

L_{sw}: “w” istasyonunda kullanılan “s” setine ilişkin yükleme-boşaltma süresi

S_{sw}: “w” istasyonunda kullanılan “s” setinin güvenlik stoku miktarı

setperiot: Setlemeye ilişkin periyot

setcevbos: Setleme çalışanlarının boşta kalabileceği süre

Amaç

Enazla

$$z = \sum_s \sum_w D_{sw} WIP_s R / 2 + \sum_s \sum_w S_{sw} WIP_s R + nw.cw \quad (7.197)$$

Kısıtlar

$$L_{sw} = ((D_{sw} / setkutu_s).atama_{sw}.yukbos_s) \quad \forall s, \forall w \quad (7.198)$$

$$H_{sw} = (shaz_s.atama_{sw} + D_{sw}.dhaz_s.atama_{sw}) / nw \quad \forall s, \forall w \quad (7.199)$$

$$D_{sw} = (\sum_{ss} \sum_{ww} L_{sw} + \sum_{ss} \sum_{ww} H_{sw} + setcevsabit + setcevbos).atama_{sw}.settalep_s \quad \forall s, \forall w \quad (7.200)$$

$$S_{sw} = D_{sw} \cdot p \quad \forall s, \forall w \quad (7.201)$$

$$\sum_s ((D_{sw} / setkutu_s).sethacim_s) + \sum_s ((S_{sw} / setkutu_s).sethacim_s) \leq setalan_w \quad \forall w \quad (7.202)$$

$$setperiot = \sum_s \sum_w L_{sw} + \sum_s \sum_w H_{sw} + setcevsabit + setcevbos \quad \forall t \quad (7.203)$$

$$setperiot \leq makszaman \quad (7.204)$$

$$setcevbos \leq maksboszaman \quad (7.205)$$

$$\sum_s \sum_w ((D_{sw} / setkutu_s).atama_{sw}.sethacim_s) \leq kap \quad (7.206)$$

$$Bütünkarar deg iskenleri \geq 0 \quad (7.207)$$

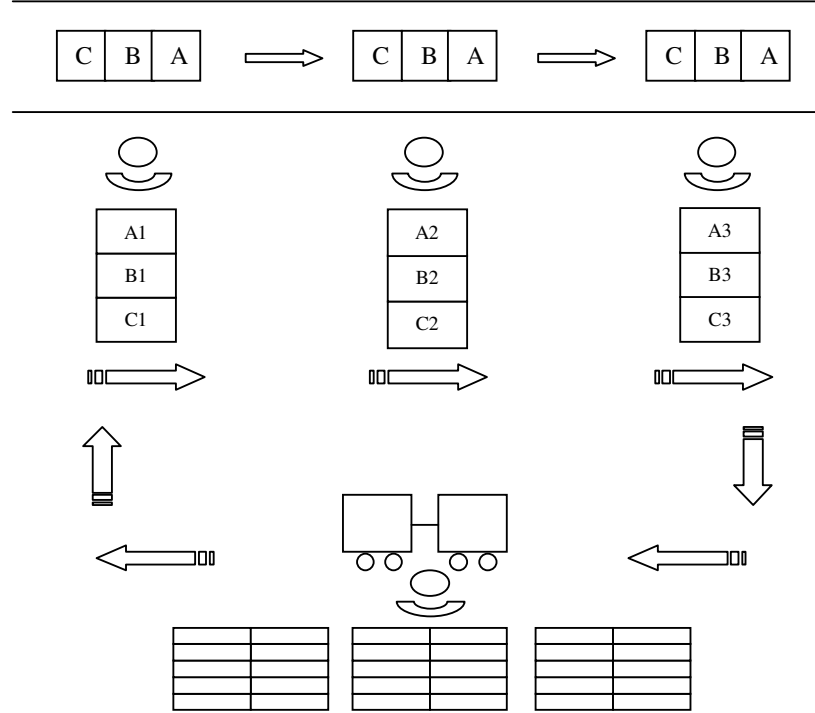
Amaç denklemi (7.197) iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi setlerin hat kenarında oluşturdukları süreç içi stok mâliyeti, diğeri ise setlemede kullanılan çalışanın mâliyetidir. Amaç bunların ilgili kısıtlar altında enküçüklenmesinin sağlanmasıdır.

Kısıt (7.198)'de her bir setin iş istasyonundaki yükleme boşaltma süresine ilişkin bir eşitlik sözkonusudur. Kısıt (7.199), her bir setin hazırlanma süresine ilişkin bir eşitliktir. Kısıt (7.200), istasyonlarda ilgili zamanda ihtiyaç duyulan set miktarlarına ilişkin durumu yansıtmaktadır. Kısıt (7.201), istasyonlarda ilgili zamanda ihtiyaç duyulan güvenlik stokuna ilişkin durumu yansıtmaktadır. Kısıt (7.202), istasyonlarda yer alan set alanlarının aşılmamasını sağlamaktadır. Kısıt (7.203), setleme çalışanın set çevrim süresini belirlemeye yönelik bir kısıttır. Kısıt (7.204), maksimum set çevrim süresine ilişkin bir kısıttır. Kısıt (7.205), setleme çalışanın atıl kalma durumuna ilişkin bir kısıttır. Kısıt (7.206), set arabasının kapasitesinin aşılmamasına ilişkin bir kısıttır. Kısıt (7.207), karar değişkenlerinin 0'dan büyük olmasına ilişkindir.

Geliştirilen doğrusal model sayısal örnek üzerinde de uygulanacaktır. Setleme sistemine geçiş algoritmasının tamamı burada uygulanmayacak, sadece periyodik harekete imkân tanıyan doğrusal model uygulanacaktır. Sayısal örnek kapsamında montaj hattından üç temel ürün çıkmaktadır. Bu ürünlerin her biri, gerek direkt hammadde deposundan gelen parçalarla, gerekse de hücrelerden gelen parçaların montajından oluşmaktadır. Burada kurgulanan sistemde her 10 dakikada bir sistemden her üç ürün türünden birer kasa çıktığı, önceki parametrelerle belirlenmiştir. Her kasada 5 ürün olduğu varsayılırsa, bu durumda her 2 dakikada bir sistemden A, B ve C ürünleri çıkmaktadır. Montaj hattının üç istasyondan oluştuğu ve her istasyonun çevrim süresinin 2 dakika olduğu varsayılmıştır. Üretim düzgünleştirildiği için ürünler belirli sıralar halinde istasyonlarda monte edilmektedir. Montaj hattının önünde, eşit zamanlı periyotlar halinde hareket eden trenlerin getirdiği parçalar bulunmaktadır. Bu noktadan sonra iki durum sözkonusudur. Birinci durumda montaj hattındaki işgörenler kendileri gidip ilgili parçaları almakta, ikinci durumda ise setleme yapılmakta ve bu işle ilgili bir kişi atanarak sadece setleme işiyle uğraşmaktadır. Setleme sisteminin kurulması halinde nasıl bir tasarım yapılması gerektiğine ilişkin bir model sunulmuştur. Sayısal örneğe

ilişkin gösterim Şekil 7.24'teki gibidir. Sistemde 3 ürüne ilişkin toplam 9 set bulunmaktadır. Her set, ilgili ürün için gerekli olan parçalardan oluşmaktadır.

Geliştirilen modeldeki temel varsayımlar, bütün işlemlere ilişkin sürelerin deterministik olduğu, yükleme boşaltmanın istasyonlarda dikkate alındığı, setleme alanındaki yükleme boşaltmanın hazırlık kapsamında değerlendirilmeye alındığıdır.



Şekil 7.24 : Setleme sistemine ilişkin kurgulanan örneğin gösterimi.

Modelde kullanılan parametreler, Çizelge 7.19'da açıklanmış ve kullanılan parametre değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 7.19 : Setleme sistemine ilişkin kurgulanan örneğin parametreleri.

PARAMETRE	GÖSTERİM	DEĞER
İstasyon Sayısı	W	3
Set sayısı	S	9
Setlemede çalışabilecek maksimum işgören sayısı	Nw	2
Setlerin birim parasal değerleri (sırasıyla s=1,...,9) (TL)	wip(s)	165, 345, 600,480, 3120, 1010, 675, 575, 420
Setlerin birim zamandaki kullanım miktarları (set/dak.)	settalep(s)	0,5
Bir s setinin hazırlanması için gereken sabit süre (dak.)	shaz(s)	0,5; 1; 1,5; 0,5; 1; 1,5; 0,5; 1; 1,5
Bir s setinin hazırlanması için gereken değişken süre (dak.)	dhaz(s)	0,1
Setleme çalışanının maksimum çevrim süresi (dak.)	makszaman	20
Setleme çalışanının maksimum atıl kalabileceği süre (dak.)	maksboszaman	1
“s” seti için bir set kutusunun kapasitesi (içine alabileceği maksimum set sayısı)	setkutu _s	1
“s” set kutusunun hacmi (cm ³)	sethacim _s	16000cm ³ (40cm*40cm*10cm)
Bir “s” set kutusunun indirme-bindirme süresi (dak.)	yukbos _s	0,2 dak.
Montaj istasyonlarında setlere ayrılan alan hacimler (cm ³)	setalan(w)	1 000 000 cm ³ (100cm*100cm*100cm)
Setleme işinden sorumlu işgörenin sabit dolaşım süresi (dak.)	Tw	2 dak.
İşçinin günlük mâliyeti (TL)	Cw	50
Setleri taşıyan aracın kapasitesi (cm ³)	Kap	3 000 000 cm ³ 3*(100cm*100cm*100cm)
Büyük bir sayı	M	10000
Kaç çevrimlik kadar güvenlik stoku tutulacağına ilişkin oran	P	1
Günlük yarı mamul tutma mâliyetine ilişkin fırsat mâliyeti oranı	F	0,00055

Modelin Çalıştırılması

İlgili parametreler kapsamında model, setleme çalışan sayısının bir ve setleme çalışan sayısının iki olduğu durumlar için GAMS eniyileme programında çalıştırılmıştır. Setleme çalışan sayısı bir olduğu durum için olurlu bir çözüm elde edilememiştir. Fakat çalışan sayısının iki olduğu durum için en iyi sonuç elde edilmektedir. Eniyileme programından elde edilen sonuçlar, Çizelge 7.20'deki gibidir.

Çizelge 7.20 : Setleme sistemine ilişkin modelden elde edilen sonuçlar.

<u>Gösterge</u>	<u>Değer</u>
Mâliyet	160,97 TL
Set çevrim süresi	20 dak.
Setlemede çalışacak işgören sayısı	2 kişi
<u>Set Büyüklükleri</u>	SA1=10, SB1=10, SC1=10 SA2=10, SB2=10, SC2=10 SA3=10, SB3=10, SC3=10

Sayısal örnekten elde edilen sonuçlara göre setleme sisteminde iki kişi çalışacak ve 20 dakikalık periyotlarda ilgili setler hazırlanarak istasyonlara dağıtılacaktır.

8. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİLERİN GEÇERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Tez kapsamında iç lojistik sisteminin tasarlamasına ilişkin geliştirilen yöntemlerden bir bölümünün geçerliliğinin sınanması açısından gerçek bir üretim ortamında uygulama yapılmıştır. Uygulama yeri olarak, yalın üretimin uygulandığı Mercedes-Benz Türk A.Ş. seçilmiştir.

8.1 Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı

Mercedes-Benz marka araçların üreticisi Daimler-Benz AG, Türkiye’de kendine ortak seçtiği Mengerler Ticaret T.A.Ş. ve Has Otomotiv A.Ş. ile öncelikle Türkiye piyasası için otobüs üretmek üzere 1967 yılında OTOMARSAN Otobüs ve Motorlu Araçlar Ticaret ve Sanayi A.Ş.’yi kurmuştur.

Günümüzde İstanbul’da Hoşdere Fabrikası’nda şehirlerarası ve belediye tipi otobüsler, Aksaray Fabrikası’nda ise hafif, orta ağır ve ağır sınıf kamyonlar ve çekiciler üreten Mercedes-Benz Türk’ün bu tesisleri Daimler AG’nin geliştirme ve üretim ağının önemli parçalarını oluşturmaktadır. Sadece Türkiye’de üretilen modelleri de kapsayan ürünlerinin yurtiçi satışlarını ve ihracatını da yapan şirket, ayrıca Mercedes-Benz marka hafif ticari araç ve Daimler AG çatısı altındaki tüm otomobil markalarının ithalatını ve satışını gerçekleştirmektedir.

Tez çalışması kapsamında uygulamanın yapıldığı Hoşdere otobüs fabrikası 1995 yılında hizmete girmiş ve 2005 yılında ikinci yatırım aşaması tamamlanarak dünyanın en modern fabrikalarından biri olmuştur. Şekil 8.1’de gösterilen fabrika, 360.000 m²’lik bir arazi üzerinde 127.000 m² kapalı alana sahiptir. Yıllık üretim kapasitesi 3.600 otobüs olan Hoşdere Otobüs Fabrikası’nda toplam €150 milyon tutarında yatırım yapılmıştır. Mercedes-Benz Türk otobüs üretiminde yaklaşık 2.400 personel istihdam edilmektedir.

Şehirlerarası otobüsler Travego, Intouro ve Turismo ile şehir içi otobüs, Conecto Hoşdere Fabrikası’nda üretilmektedir. Tüm uluslararası kalite standartlarına uygun olan bu otobüslerin %65’i, başta Batı Avrupa ülkelerine ihraç edilmektedir. Araç

kalitesi açısından büyük önem taşıyan ve paslanmaya karşı üstün koruma sağlayan katodofrez tesisi (KTL) Türkiye’de otobüs üretiminde bir ilk olma özelliğini taşımaktadır.

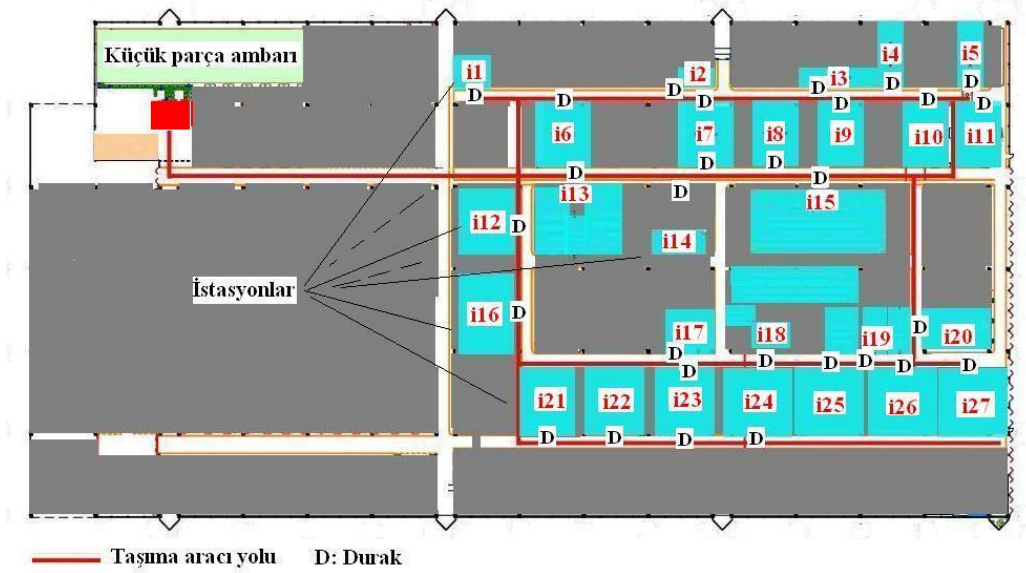


Şekil 8.1 : Hoşdere otobüs fabrikası.

Hoşdere Fabrikası’nda fabrikanın enerji ihtiyacını karşılayan bir kojenerasyon merkezi ve otobüs geliştirme merkezi de bulunmaktadır. Klasik bant üretiminin yerine akan bant ve sabit çalışma istasyonları kombinasyonunun uygulandığı bu fabrikada, aynı anda farklı modellerin üretilmesinde sağlanan esnekliğin yanısıra üretimde bekleme zamanları asgariye indirilebilmekte ve böylece üretim daha ekonomik hale getirilmektedir.

8.2 Uygulamanın Yapıldığı Kısım

Otobüs fabrikasında uygulama; hazırlık (kapı hazırlık ve motor hazırlık) ve montaj istasyonlarında kullanılan küçük parçaların akışına ilişkindir. Toplamda trenin besleyeceği ana istasyon sayısı 27 tanedir. Şekil 8.2’de istasyonların yerleşim planındaki konumları görülmektedir.



Şekil 8.2 : Üretim alanı yerleşim planı.

8.3 Uygulamanın Aşamaları

Hazırlık ve montaj istasyonlarına ilişkin döngüsel sefer sisteminin uygulanmasında izlenecek olan aşamalar, temel olarak şu şekildedir:

- * Uygulamada kullanılacak olan döngüsel sefer model tipinin belirlenerek, uygulama ortamına uygun modellemenin yapılması
- * Modele ilişkin gerekli parametrelerin belirlenmesi
- * Modelin ilgili parametre değerlerine göre çözdürülmesi

8.3.1 Uygulamada Kullanılacak Olan Döngüsel Sefer Modelinin Belirlenmesi

Mevcut durumda uygulama ortamında periyodik olarak istasyonlar, sarf malzemeleri ile ortalama 1,5 saatte bir beslenmektedir. Özel olarak istenen durum, istasyonlara dağıtım sıklığının artırılması durumunda nasıl bir rota ve kaç araçla sistemin işletilebileceğine ilişkindir. Bu duruma binaen belirli zaman periyotlu döngüsel sefer modeli uygulanacak ve model, farklı sabit zaman değerlerini içeren senaryolar için çözdürülerek alternatif çözümler oluşturulacaktır.

Uygulama ortamında genel ve tahsisli atama modelleri de, geçerliliklerinin test edilmesi amacıyla uygulanmıştır. Mali verileri de içeren genel ve tahsisli atama durumlarında işletme gizliliği açısından parasal değerlerde bazı değişiklikler yapılmıştır.

Düşünsel örnekte gerçekte karşılaşılmaması muhtemel birçok durum değerlendirmeye alınarak modelleme yapılmıştır. Düşünsel örnekten farklı olarak ele alınan gerçek uygulamada bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklara bağlı olarak önerilen modellerde bazı küçük değişiklikler yapılmıştır. Gerçek üretim ortamının düşünsel üretim ortamından farklılıkları aşağıdaki şekildedir:

* Üretim ortamında birbirine bağımlı istasyonlar bulunmamaktadır.

* Sistem dağıtım-toplamalı şekilde değildir. Taşıma aracına malzeme yüklenmesi sadece hammadde deposunda yapılmaktadır. Malzeme bırakılan istasyonlardan sadece boş kaplar alınmakta, bu noktada taşıma aracında doluluğunu arttırıcı bir yükleme yapılmamaktadır. Bunun için trenin kapasite kontrolünün her istasyonda yapılmasına gerek yoktur.

*Hammadde deposunda taşınacak gerekli malzemeler otomatik olarak hazırlanmaktadır. Tren kullanıcısı, bu süreçte yer almamaktadır.

*İstasyonlarda sarf malzemelerin konulduğu yerlere ilişkin alan bilgisine işletme gizliliği açısından yer verilmemiş, sarf malzemelerin hacimlerinin genelde küçük olması ve stok alanlarının yeterli derecede büyük olduğu bilgisine dayanarak, alan kısıtı modelden çıkartılmıştır.

*Uygulama yapılan sistemde sarf malzemelerin dağıtımı yapıldığı için parça çeşitliliği çok sayıdadır. Bunun için her bir parça, tek bir stok noktası olarak değerlendirilmemekte, istasyonlar bütünsel olarak ele alınmaktadır.

Uygulamada kullanılan bütün modellerde varsayımlar genel olarak sayısal örnektekilerle aynıdır. Fakat yukarıdaki farklılıklarla da ilişkili olarak hammadde deposunda taşıma aracı kullanıcısı, yükleme-boşaltma yapmamaktadır. Malzeme ihtiyaçları barkodlu kanbanlarla otomatik depolama ve geri getirme sistemiyle sağlanmaktadır. Tren tura çıktıktan sonra otomatik depolama ve geri getirme sisteminin önündeki boş bir vagona, trenin hareketiyle eşzamanlı olarak ilgili malzemeler hazırlanmakta ve konulmaktadır. Tren istasyonlara malzeme dağıtımını bitirip depoya geldikten sonra, boş kasaları içeren vagonun trenden çıkartılması, dolu olan vagonun trene bağlanması ve otomatik depolama ve geri getirme sistemindeki bitmemiş olup devam eden bazı işlemlere (ürünlere ilişkin bilgilerin sisteme girilmesi, tren turdan geldiğinde halen hazırlanmakta olan malzemeler) ilişkin gereken süreler de düşünülerek sabit bir süre belirlenmiştir.

Ayrıca tren bazı istasyonlarda iç kısımlara da girerek malzeme beslemesinde bulunmaktadır. Bu durum için de modele bu süreyi yansıtan ilgili parametre eklenmiştir.

Belirli Zaman Periyotlu Modelleme

Uygulama kapsamında belirli zaman periyotlu tek rotalı ve çok rotalı araç durumlarına özgü dört farklı zaman periyodu için modelleme yapılarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Sayısal örnekte belirtilen modeller uygulanmıştır. Fakat sayısal örnek ve gerçek üretim ortamındaki farklılıklardan dolayı, modelde bazı modifikasyonlar yapılmıştır.

Belirli Zaman Periyotlu Tek Rotalı Araç İçin Modelleme

Belirli sabit zaman aralıklarında hareket eden, her bir aracın tek bir rotasının olduğu bu modelleme türünde, sayısal örnekten farklı olarak uygulamaya özgü bazı yeni tanımlamalar yapılmakla birlikte, genelde sayısal örnekte kullanılanlara benzer ifadeler kullanılmıştır. Model indisleri, parametreler, karar değişkenleri, amaç ve kısıtlar aşağıdaki şekildedir:

Model indisleri

i: istasyon numarası

r: rota

Parametreler

sure_r: “r” rotasını katetmek için aracın hiç bir istasyona uğramaksızın yolda geçirdiği sabit süre (dak.)

stoktalep_i: “i” istasyonunun birim zamandaki talep miktarı (kasa/dak.)

yukbos: Bir kasanın yükleme-boşaltma süresi (dak./kasa)

kap: aracın kapasitesi

mesafe_r: “r” rotasının toplam uzunluğu (m.)

t_{sabit}: Sabit periyot süresi (dak.)

arachaz: Aracın hammadde deposunda hazırlanması ve otomatik depolama sistemindeki işlemlere ilişkin süre

maksarac: Sistemde bulunan maksimum araç sayısı

aracmâliyet: Bir taşıma aracının ve kullanıcısının mâliyeti

B_i: “i” istasyonunda aracın durduktan sonra daha içerdeki kısımlara gitmek için harcadığı süre

M: Çok büyük bir sayı

Karar değişkenleri

X_{ir}: “i” istasyonu rota “r”ye atanmış ya da atanmamış (0 ya da 1)

D_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” istasyonunun bir çevrimlik talep miktarı

L_{ir}: “r” rotasına atanmış “i” istasyonunun bir çevrimlik yükleme-boşaltma süresi

rota_r: “r” rotası seçilmiş ya da seçilmemiş (0 ya da 1)

araccev_r: “r” rotasının boşta bekleme süresi hariç çevrim süresi

Model araç sayısının enküçüklenmesi ve toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesi olmak üzere iki amaca göre çözdürülmüştür.

Amaç 1: (Toplam araç sayısının enküçüklenmesi)

$$z = \sum_r rota_r \quad (8.1)$$

Amaç 2: (Toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesi)

$$z = \sum_r (rota_r . mesafe_r) \quad (8.2)$$

Kısıtlar

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (8.3)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ir} = 0 \quad \forall r \quad (8.4)$$

$$M . rota_r \geq \sum_i X_{ir} \quad \forall r \quad (8.5)$$

$$M . rota_r \geq D_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (8.6)$$

$$M . rota_r \geq L_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (8.7)$$

$$\sum_r rota_r \leq maksarac \quad (8.8)$$

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.9)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.10)$$

$$D_{ir} = t_{sabit} . stoktalep_i . X_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.11)$$

$$L_{ir} = D_{ir} . yukbos \quad \forall i, \forall r \quad (8.12)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + sure_r . rota_r + arachaz . rota_r + \sum_i (X_{ir} . B_i) \quad \forall r \quad (8.13)$$

$$araccev_r \leq t_{sabit} \quad \forall r \quad (8.14)$$

$$\sum_i D_{ir} \leq kap \quad \forall r \quad (8.15)$$

$$X_{ir}, rota_r \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall r \quad (8.16)$$

Kısıt (8.3), her istasyonun bir rotaya atanmasını sağlar. Kısıt (8.4), “r” rotası üzerinde olmayan istasyonların rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (8.5) ile, seçilmeyen rotaya istasyon ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.6) ile, seçilmeyen rotada her bir istasyonun toplam talebi sıfır olur. Kısıt (8.7) ile, seçilmeyen rotada her bir istasyonun toplam yükleme boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (8.8) ile, seçilecek araç sayısı sınırlandırılır. Kısıt (8.9), istasyon “i” nin atanmadığı rotanın toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.10), istasyon “i” nin atanmadığı rotada toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.11), her “r” rotasında “i” istasyonuna ilişkin toplam talebi verir. Kısıt (8.12), her “r” rotasındaki “i” istasyonunun toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (8.13), araç çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (8.14) ile, araç çevrim süresinin belirli olan zaman periyodunu aşmaması sağlanır. Kısıt (8.15), seçilen aracın kapasitesinin aşılmaması sağlanır. Kısıt (8.16), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçekte sayı olarak tanımlar.

Belirli Zaman Periyotlu Çok Rotalı Araç İçin Modelleme

Uygulamaya ilişkin modelde tek rotalı araçta olduğu gibi sayısal örnekte kullanılanlardan bazı parametre ve karar değişkenlerinde farklılaştırmalar yapılmıştır. Modeldeki indisler, parametreler, karar değişkenleri, amaçlar ve kısıtlar aşağıdaki şekildedir:

Model indisleri

i: istasyon numarası

r: rota

v: araç

Parametreler

sure_r: “r” rotasını katetmek için aracın hiç bir istasyona uğramaksızın yolda geçirdiği sabit süre (dak.)

stoktalep_i: “i” istasyonunun birim zamandaki talep miktarı (kasa/dak.)

yukbos: Bir kasanın yükleme-boşaltma süresi (dak./kasa)

mesafe_r: “r” rotasının toplam uzunluğu (m.)

t_{sabit}: Sabit periyot süresi (dak.)

arachaz: Aracın hammadde deposunda hazırlanması ve otomatik depolama sistemindeki işlemlere ilişkin süre

maksarac: Sistemde bulunan maksimum araç sayısı

kap: Aracın kapasitesi

aracmâliyet: Bir taşıma aracının ve kullanıcısının mâliyeti

B_i: “i” istasyonunda aracın durduktan sonra daha içerdeki kısımlara gitmek için harcadığı süre

M: Çok büyük bir sayı

Karar değişkenleri

X_{ivr}: “i” istasyonunun “v” aracının “r” rotasına atanıp atanmadığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

D_{ivr}: “v” aracının “r” rotasına atanmış “i” istasyonunun bir çevrimlik talep miktarı

L_{ivr}: “v” aracının “r” rotasına atanmış “i” istasyonunun bir çevrimlik yükleme-boşaltma süresi

arac_v: “v” aracının seçilip seçilmediğini belirleyen değişken (0 ya da 1)

aracrota_{vr}: “v” aracına “r” rotasının atanıp atanmadığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

aracrotacev_{vr} : “v” aracının “r” rotasının boşta bekleme süresi hariç çevrim süresini belirleyen değişken

Amaç 1: (Toplam araç sayısının enküçüklenmesi)

$$z = \sum_v arac_v \quad (8.17)$$

Amaç 2: (Toplam kat edilen mesafenin enküçüklenmesi)

$$z = \sum_v \sum_r (aracrotav_r . mesafe_r) \quad (8.18)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad \forall i \quad (8.19)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (8.20)$$

$$M . aracrotav_r \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.21)$$

$$M . aracrotav_r \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.22)$$

$$M . aracrotav_r \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.23)$$

$$M . X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.24)$$

$$M . X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.25)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr} . yukbos \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.26)$$

$$D_{ivr} = t_{sabit} . stoktalep_i . X_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.27)$$

$$M . arac_v \geq aracrotav_r \quad \forall v, \forall r \quad (8.28)$$

$$\sum_v arac_v \leq maksarac \quad (8.29)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + aracrotav_r . (sure_r + arachaz) + \dots$$

$$\dots \sum_i (X_{ivr} . B_i) \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.30)$$

$$\sum_r (aracrotacev_{vr}) \leq t_{sabit} \quad \forall v \quad (8.31)$$

$$\sum_i D_{ivr} \leq kap \quad \forall v, \forall r \quad (8.32)$$

$$X_{ivr}, arac_v, aracota_{vr} \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.33)$$

Kısıt (8.19), her istasyonun bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (8.20) “r” rotası üzerinde olmayan istasyonların rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (8.21) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına istasyon ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.22) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir istasyonun toplam talebi sıfır olur. Kısıt (8.23) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir istasyonun toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (8.24), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.25), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.26), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonunun toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (8.27), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonuna ilişkin toplam talebini verir. Kısıt (8.28) ile, seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmaz. Kısıt (8.29) ile, seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (8.30), “v” aracının “r” rotası üzerindeki çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (8.31) ile, seçilen her “v” aracına atanan bütün rotaların toplam çevrim sürelerinin belirli olan zaman periyodunu aşmaması sağlanır. Kısıt (8.32) ile, her aracın ataması yapılan rotalar boyunca kapasitesinin aşılmaması sağlanır. Kısıt (8.33), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

Genel Atama Durumuna İlişkin Modelleme

Düşünsel örnekten farklı olarak uygulama ortamındaki durum daha önce de bahsedildiği üzere özellikle dağıtım-toplama yapısının olmaması ve bağımlı istasyon durumunun olmamasından ötürü daha kolay çözülebilir hale gelmiştir. Bu durumda düşünsel örnekte yapılan model sadeleştirilerek, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Amaç

Enazla

$$z = \sum_r \sum_i D_{ir} W_i f / 2 + \sum_r \sum_i S_{ir} W_i f + [\sum_i \sum_r C_r Z_{ir} (8.60 / (tt_r . 2))] + \sum_r aracmaliye t.rota_r \quad (8.34)$$

$$\sum_r X_{ir} = 1 \quad \forall i \quad (8.35)$$

$$M.rota_r \geq \sum_i X_{ir} \quad \forall r \quad (8.36)$$

$$rota_r = \sum_t Z_{tr} \quad \forall r \quad (8.37)$$

$$M.rota_r \geq D_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (8.38)$$

$$M.rota_r \geq S_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (8.39)$$

$$M.rota_r \geq L_{ir} \quad \forall r, \forall i \quad (8.40)$$

$$\sum_r rota_r \leq aracsayi \quad (8.41)$$

$$\sum_{i \in Nr} X_{ir} = 0 \quad \forall r \quad (8.42)$$

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.43)$$

$$M.X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.44)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.45)$$

$$L_{ir} = D_{ir}.l_i \quad \forall i, \forall r \quad (8.46)$$

$$D_{ir} + M(1 - X_{ir}) \geq araccev_r.stoktalep_i \quad \forall i, \forall r \quad (8.47)$$

$$S_{ir} = D_{ir}.P \quad \forall i, \forall r \quad (8.48)$$

$$[2tt_t - M(1 - Z_{tr})] \leq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (8.49)$$

$$[2(tt_t + 1) + M(1 - Z_{tr})] \geq araccev_r \quad \forall r, \forall k \quad (8.50)$$

$$\sum_t Z_{tr} \leq 1 \quad \forall r \quad (8.51)$$

$$\sum_r rota_r = \sum_r \sum_t Z_{tr} \quad (8.52)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + rota_r.sure_r + arachaz.rota_r + \dots$$

$$\dots \sum_i (X_{ir}.B_i) + arabos_r \quad \forall r \quad (8.53)$$

$$aracbos_r \leq maksaracbos \quad \forall r \quad (8.54)$$

$$M.rota_r \geq Z_{tr} \quad \forall r, \forall t \quad (8.55)$$

$$M.rota_r \geq aracbos_r \quad \forall r \quad (8.56)$$

$$\sum_i D_{ir} \leq kap \quad \forall r \quad (8.57)$$

$$X_{ir}, Z_{tr}, rota_r \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall r, \forall t \quad (8.58)$$

Kısıt (8.35) ile, her istasyonun bir rotaya atanması sağlanır. Kısıt (8.36), seçilmeyen bir rotaya istasyon atanmasını engeller. Kısıt (8.37), seçilen rotaya bir zaman aralığının atanmasını, seçilmeyen rotaya hiç bir zaman aralığının atanmamasını sağlar. Kısıt (8.38) ile, seçilmeyen rotaya talep ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.39) ile, seçilmeyen rotaya güvenlik stoku ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.40) ile, seçilmeyen rotaya yükleme boşaltma süresi ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.41) ile, seçilebilecek maksimum araç sayısı belirlenir. Kısıt (8.42), ilgili rotaya atanamayacak olan istasyonların atanmamasını sağlar. Kısıt (8.43), “r” rotasına atanmayan istasyonların toplam talebinin sıfıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.44), “r” rotasına atanmayan istasyonların güvenlik stokunun sıfıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.45), “r” rotasına atanmayan istasyonların toplam yükleme boşaltma süresinin sıfıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.46), her istasyon için toplam indirim-bindirme süresinin belirlenmesini sağlar. Kısıt (8.47) ile, “r” rotasının atanmış “i” istasyonundaki toplam talebin, “r” rotasının çevrim süresi ile “i” istasyonun birim zamandaki talep miktarının çarpımından büyük olması sağlanır. Kısıt (8.48), bir istasyondaki güvenlik stoku miktarını, ilgili istasyondaki toplam talebi istenen güvenlik stoku katsayısıyla çarparak belirler. Kısıt (8.49) ve kısıt (8.50), araca ilişkin çevrim süresinin hangi iki dakikalık zaman aralığına düştüğünü belirler. Kısıt (8.51), her bir rotanın en fazla bir zaman aralığına atanmasını sağlar. Kısıt (8.52) ile, seçilen rota sayısı ile atanan zaman aralıklarının eşit olması sağlanır. Kısıt (8.53), seçilen rotanın çevrim süresini belirler. Kısıt (8.54) ile, araçların boşa kalma süresi sınırlandırılır. Kısıt (8.55) ile, zaman aralığı atanan bir rota seçilir, zaman aralığı atanmayan bir rota seçilmez. Kısıt (8.56) ile, seçilmeyen araca boş süre ataması yapılmaması sağlanmaktadır. Kısıt (8.57) ile, aracın kapasitesinin aşılmaması sağlanmaktadır. Kısıt (8.58), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

Düşünsel örneğe benzer şekilde aşağıdaki kısıt (8.59) ve kısıt (8.60) de eklenerek, eşit zamanlı rotalar için de modelleme yapılmış olur:

$$\sum_r Z_{tr} \leq M.vv_t \quad \forall_t \quad (8.59)$$

$$\sum_r rota_r - \sum_r Z_{tr} \leq M.(1 - vv_t) \quad \forall_t \quad (8.60)$$

Genel Atama, Çok Rotalı, Farklı Zaman Periyotlu Durum İçin Modelleme

Düşünsel örnekte verilen model, uygulamanın yapısına uygun olarak sadeleştirildikten sonra, aşağıdaki şekilde modellenmiştir.

Amaç

Enazla

$$z = \sum_v aracc_v \quad (8.61)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad (8.62)$$

$$M.aracrotav_r \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.63)$$

$$M.aracrotav_r \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.64)$$

$$M.aracrotav_r \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.65)$$

$$\sum_v aracc_v \leq maksarac \quad (8.66)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (8.67)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.68)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.69)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr}.l_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.70)$$

$$D_{ivr} + M.(1 - X_{ivr}) \geq \sum_z (aracrotacev_{vz}).stoktalep_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.71)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + sure_r.aracrotav_r + arabos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.72)$$

$$aracbos_{vr} \leq aracbosmaks \quad \forall v, \forall r \quad (8.73)$$

$$M.aracrotav_r \geq aracbos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.74)$$

$$M.arac_v \geq aracrotav_r \quad \forall v, \forall r \quad (8.75)$$

$$araccev_v = \sum_r aracrotacev_{vr} \quad \forall v \quad (8.76)$$

$$araccev_v \leq maksaracce vrim \quad \forall v \quad (8.77)$$

$$M.araccev_v \geq \sum_r aracrotav_r \quad \forall v \quad (8.78)$$

$$\sum_i D_{ivr} \leq kap \quad (8.79)$$

$$X_{ivr}, arac_v, aracrotav_r \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall i, \forall r, \forall v \quad (8.80)$$

Amaç (8.61) araç sayısının enküçüklenmesidir. Kısıt (8.62), her istasyonun, bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (8.63), seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına, istasyon ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.64), seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında, her bir istasyonun toplam talebi sıfır olur. Kısıt (8.65) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir istasyonun toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (8.66) ile, seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (8.67), “r” rotası üzerinde olmayan istasyonların rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (8.68), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.69), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.70), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonunun toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (8.71), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonuna ilişkin toplam talebini verir. Kısıt (8.72), “v” aracının “r” rotasının çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (8.73), “v” aracına atanan “r” rotasının boşta kalma süresini sınırlandırır. Kısıt (8.74) ile, seçilmeyen bir “v” aracının “r” rotasına boş süre ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.75) ile, seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmaz. Kısıt (8.76) ile, “v” aracının çevrim süresinin, kendisine atanan rotaların çevrim süreleri toplamına eşit olması sağlanır. Kısıt (8.77), araç çevrim süresini sınırlandırır. Kısıt (8.78) ile, rota ataması yapılmamış aracın çevrim süresi sıfır olur. Kısıt (8.79) ile, her aracın ataması yapılan rotalar boyunca

kapasitesinin aşılmaması sağlanır. Kısıt (8.80), karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçekteki sayı olarak tanımlar.

Genel Atama, Çok Rotalı, Eşit Zaman Periyotlu Durum İçin Modelleme

Zaman periyotları eşit olan araçlardan oluşan ve bir araca birden fazla rotanın atanabildiği bu durum için, uygulamaya yönelik olarak sayısal örnekteki model aşağıdaki şekilde modifiye edilmiştir. Genel atama, çok rotalı, farklı zaman periyotlu durumdaki tanımlananlara ek olarak tanımlanan indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıdaki şekildedir.

Model indisleri

t: zaman dilimi

Parametreler

tt: “t” zaman diliminin içerdiği 2 dakikalık zaman dilimi sayısı

Karar değişkenleri

Z_{tv}: “v” aracının “r” rotasının hangi zaman dilimine atandığını belirleyen değişken (0 ya da 1)

ww_{tv}: “v” aracının atandığı “t” zaman dilimi (0 ya da 1)

ve: Eşit zamanlı atama için karar değişkeni (0 ya da 1)

Amaç

Enazla

$$z = \sum_v arac_v \quad (8.81)$$

Kısıtlar

$$\sum_v \sum_r X_{ivr} = 1 \quad (8.82)$$

$$M.aracrotav_r \geq \sum_i X_{ivr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.83)$$

$$aracrotav_r = \sum_t z_{tvr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.84)$$

$$M.aracrotav_r \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.85)$$

$$M.aracrotav_r \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.86)$$

$$\sum_v arac_v \leq maksarac \quad (8.87)$$

$$\sum_{i \notin Nr} X_{ivr} = 0 \quad \forall v, \forall r \quad (8.88)$$

$$M.X_{ivr} \geq D_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.89)$$

$$M.X_{ivr} \geq L_{ivr} \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.90)$$

$$L_{ivr} = D_{ivr}.I_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.91)$$

$$D_{ivr} + M.(1 - X_{ivr}) \geq \sum_z (aracrotacev_{vz}).stoktalep_i \quad \forall i, \forall v, \forall r \quad (8.92)$$

$$[2tt_t - M(1 - z_{ivr})] \leq aracrotacev_{vr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (8.93)$$

$$[2tt_t + M(1 - z_{ivr})] \geq aracrotacev_{vr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (8.94)$$

$$\sum_t z_{ivr} \leq 1 \quad \forall v, \forall r \quad (8.95)$$

$$\sum_v \sum_r aracrotav_r = \sum_t \sum_v \sum_r z_{ivr} \quad (8.96)$$

$$aracrotacev_{vr} = \sum_i L_{ivr} + aracrotav_r.(sure_r + arachaz) + \dots$$

$$\dots \sum_i (X_{ivr}.B_i) + arabos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.97)$$

$$arabos_{vr} \leq arabosmaks \quad \forall v, \forall r \quad (8.98)$$

$$M.aracrotav_r \geq z_{ivr} \quad \forall v, \forall r, \forall t \quad (8.99)$$

$$M.aracrotav_r \geq arabos_{vr} \quad \forall v, \forall r \quad (8.100)$$

$$M.arac_v \geq aracrotav_r \quad \forall v, \forall r \quad (8.101)$$

$$araccev_v \leq maksaraccevrim \quad \forall v \quad (8.102)$$

$$\sum_v ww_{iv} \leq M.ve_t \quad \forall t \quad (8.103)$$

$$\sum_v arac_v - \sum_v ww_{iv} \leq M.(1 - ve_t) \quad \forall t \quad (8.104)$$

$$araccev_v = \sum_r aracrotacev_{vr} \quad \forall v \quad (8.105)$$

$$[2tt_t - M(1 - ww_{tv})] \leq araccev_v \quad \forall v, \forall t \quad (8.106)$$

$$[2tt_{t+1} + M(1 - ww_{tv})] \geq araccev_v \quad \forall v, \forall t \quad (8.107)$$

$$\sum_t \sum_v ww_{tv} = \sum_v arac_v \quad (8.108)$$

$$\sum_t ww_{tv} \leq 1 \quad \forall v \quad (8.109)$$

$$M * araccev_v \geq \sum_r aracrotav_r \quad \forall v \quad (8.110)$$

$$\sum_i D_{ivr} \leq kap \quad (8.111)$$

$$X_{ivr}, z_{ivr}, ww_{tv}, ve_t, arac_v, aracrotav_r \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall v, \forall r, \forall t \quad (8.112)$$

digerleri ≥ 0

Amaç (8.81) araç sayısının enküçüklenmesidir. Kısıt (8.82), her istasyonun bir aracın bir rotasına atanmasını sağlar. Kısıt (8.83) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına istasyon ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.84) ile, seçilmeyen “v” aracının “r” rotasına zaman dilimi ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.85) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir istasyonun toplam talebi sıfır olur. Kısıt (8.86) ile, seçilmeyen her “v” aracının her “r” rotasında her bir istasyonun toplam yükleme-boşaltma süresi sıfır olur. Kısıt (8.87) ile, seçilen araç sayısının maksimum araç sayısını aşmaması sağlanır. Kısıt (8.88), “r” rotası üzerinde olmayan istasyonların rotaya atanmamasını sağlar. Kısıt (8.89), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.90), istasyon “i” nin atanmadığı “v” aracının “r” rotasının toplam yükleme boşaltma süresinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.91), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonunun toplam yükleme boşaltma süresini verir. Kısıt (8.92), her “v” aracının “r” rotasındaki “i” istasyonuna ilişkin toplam talebi verir. Kısıt (8.93) ve kısıt (8.94), “v” aracının “r” rotasının zaman aralığını belirler. Kısıt (8.95), “v” aracının “r” rotasının en fazla bir zaman aralığına atanmasını sağlar. Kısıt (8.96), seçilen bütün araçlara ilişkin rota sayısının toplam seçilen zaman aralıklarına eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.97), “v” aracının “r” rotasının çevrim süresine ilişkin eşitliği verir. Kısıt (8.98), “v” aracına atanan “r” rotasının boşta kalma süresini sınırlandırır. Kısıt (8.99) ile, seçilmeyen “v”

aracının “r” rotasına zaman aralığı atanmaz. Kısıt (8.100) ile, seçilmeyen bir “v” aracının “r” rotasına boş süre ataması yapılmaması sağlanır. Kısıt (8.101) ile, seçilmeyen “v” aracına rota ataması yapılmaz. Kısıt (8.102) ile, “v” aracının belirtilen çevrim süresini aşmaması sağlanır. Kısıt (8.103) ve kısıt (8.104), bütün araçların aynı zaman aralığına atanmasını sağlar. Kısıt (8.105) ile, “v” aracının çevrim süresinin kendisine atanan rotaların çevrim süreleri toplamına eşit olması sağlanır. Kısıt (8.106) ve kısıt (8.107), “v” aracının atanacağı “t” zaman aralığını belirler. Kısıt (8.108), seçilen toplam araç sayısı ile araçların atandıkları toplam zaman aralıklarının eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.109) ile, her aracın en fazla bir zaman dilimine atanmasını sağlar. Kısıt (8.110) ile, rota ataması yapılmamış aracın çevrim süresi sıfır olur. Kısıt (8.111) ile, her aracın kapasitesinin aşılması sağlanır. Kısıt (8.112) ile, karar değişkenlerini 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayı olarak tanımlar.

Tahsisli Atama Durumu İçin Modelleme

Tahsisli atama durumu da gerçek uygulamaya uygun olarak bazı küçük değişikliklere uğratarak, aşağıdaki şekilde modellenmiştir.

Amaç

Enazla

$$z = \sum_r \sum_i D_{ir} W_i f / 2 + \sum_r \sum_i S_{ir} W_i f + [\sum_t \sum_r C_r Z_{tr} (8.60 / (tt_t . 2))] + \dots$$

...aracmaliyet.N(r) (8.113)

Kısıtlar

$$M.X_{ir} \geq D_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.114)$$

$$M.X_{ir} \geq S_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.115)$$

$$M.X_{ir} \geq L_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.116)$$

$$L_{ir} = D_{ir} . l_i \quad \forall i, \forall r \quad (8.117)$$

$$D_{ir} = araccev_r . stoktalep_i . X_{ir} \quad \forall i, \forall r \quad (8.118)$$

$$S_{ir} = D_{ir} . P \quad \forall i, \forall r \quad (8.119)$$

$$[2tt_t - M(1 - Z_{tr})] \leq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (8.120)$$

$$[2(tt_t + 1) + M(1 - Z_{tr})] \geq araccev_r \quad \forall r, \forall t \quad (8.121)$$

$$\sum_t Z_{tr} = 1 \quad \forall r \quad (8.122)$$

$$araccev_r = \sum_j L_{jr} + sure_r + arachaz + \sum_i (X_{ir} \cdot B_i) + arabos_r \quad \forall r \quad (8.123)$$

$$arabos_r \leq maksarabos_r \quad \forall r \quad (8.124)$$

$$\sum_i D_{ir} \leq kap \quad \forall r \quad (8.125)$$

$$Z_{tr} \in \{0,1\}, digerleri \geq 0 \quad \forall r, \forall t \quad (8.126)$$

Tahsisli atamada eşit zamanlı durum için kısıt (8.127) eklenerek eşit zamanlı rotalar elde edilebilmektedir.

$$z(t, "r1") = z(t, "r2") \quad (8.127)$$

Kısıt (8.114), “r” rotasına atanmayan istasyonların o rotadaki talebinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.115), “r” rotasına atanmayan istasyonun o rotadaki güvenlik stoku değerinin sıfır olmasını sağlar. Kısıt (8.116), “r” rotasına atanmayan istasyonun o rotadaki toplam yükleme-boşaltma süresinin sıfıra eşit olmasını sağlar. Kısıt (8.117), “r” rotasına atanmış her bir “i” istasyonu için toplam yükleme-boşaltma süresini belirler. Kısıt (8.118), her “r” rotasına atanmış “i” istasyonundaki toplam talebi verir. Kısıt (8.119), her bir istasyondaki güvenlik stokunun ilgili istasyondaki talebin belirli bir “p” oranında olmasını sağlar. Kısıt (8.120) ve kısıt (8.121), seçilen rotanın zaman aralığını belirler. Kısıt (8.122) ile, her rota bir zaman dilimine atanır. Kısıt (8.123), rota “r” nin çevrim süresini verir. Kısıt (8.124), her “r” rotasının en fazla boşta kalabileceği süreyi sınırlandırır. Kısıt (8.125) ile, aracın kapasitesinin aşılmaması sağlanmaktadır. Kısıt (8.126)’da, belirli karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı veya pozitif gerçek sayılar olması sağlanır.

8.3.2 Modele İlişkin Gerekli Parametrelerin Belirlenmesi

Uygulama kapsamında yapılan gözlemler, yerinde incelemeler ve ilgili kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda parametreler belirlenmiştir. Belirli zaman periyotlu modellemede kullanılacak olan gerçek üretim ortamından elde edilen parametreler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

**Olası Rotaların Belirlenmesi*

Üretim ortamında fiziksel yerleşime ve üretimin genel akışına ters olmayacak şekilde ve daha önce belirtilen rota oluşturma prosedürüne uygun olarak on olası rota oluşturulmuştur. İlk dört olası rota Şekil 8.3'te gösterilmiştir. Diğer olası rotalar **EK F'**de yer alan Şekil F.1 ve Şekil F.2'de gösterilmiştir. Koyu bir çizgi ile gösterilen yerler yolları, "D" ile gösterilen yerler ise durakları belirtmektedir.

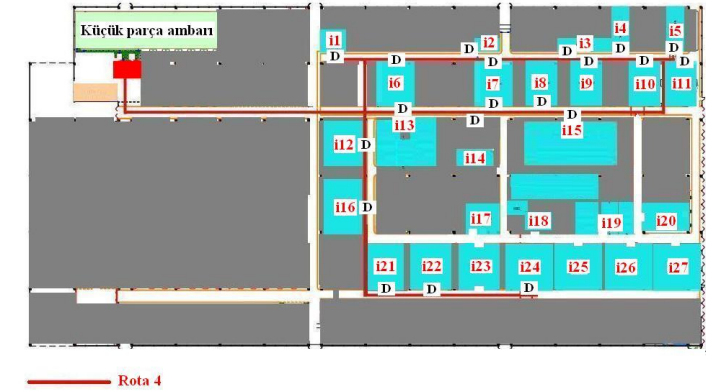
İstasyonlarda çok fazla türde sarf malzemesi kullanılmaktadır. Temel olarak kullanılan bazı parça türleri; hortum, civata, somun, rakor, boru, vana, muy, pim, segman, elektrik tesisatı, kondansatör, yol sensörü, adaptör, bağlantı kelepçesi, adaptör gibi parçalardır. Hangi istasyonda hangi malzemelerin kullanıldığına ilişkin detaylı liste **EK G'**de sunulmuştur.

** Rotaların geçebileceği istasyonlar*

Oluşturulan on rotaya, yerleşim planı üzerindeki güzergâhlarına göre atanabilecek istasyonlar belirlenmiş ve Çizelge 8.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 : Uygulamadaki olası rotalara atanabilecek istasyonlar.

Rota no	Rotaya atanabilecek istasyonlar
1	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i14, i15.
2	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i9, i10, i11, i12, i16, i17, i18, i19, i20, i25, i26, i27.
3	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i9, i10, i11, i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27.
4	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i12, i13, i14, i15, i16, i21, i22, i24.
5	i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i25, i26, i27.
6	i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27.
7	i1, i2, i3, i4, i5, i6, i9, i10, i11.
8	i5, i8, i11, i13, i14, i15.
9	i12, i16, i17, i18, i19, i25, i26, i27.
10	i12, i16, i21, i22, i24.



Şekil 8.3 : Olası rotalar rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4'e ilişkin gösterim.

** Araçlar için yolda geçen süreler*

Araçların fabrika içerisindeki ortalama hızı 1,39 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu durumda aşağıda rotaların uzunlukları ve herhangi bir istasyonda durmaksızın rotaları tamamlama süreleri belirtilmiştir. Fakat aracın sürekli aynı hızda gidememesi, dönemeçlerde, duruş ve kalkışlarda yavaşlaması gibi çeşitli nedenlerden ötürü düzeltilmiş süre olarak normal sürenin %20 fazlası baz alınarak, Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2 : Uygulamadaki olası rotaların uzunlukları ve süreleri.

Rota no	Rotaların uzunlukları (metre)	Süre (dak.)	Düzeltilmiş süre (dak.)
1	430,5 m.	5,16 dak.	6,19 dak.
2	539,9 m.	6,47 dak.	7,76 dak.
3	717,3 m.	8,60 dak.	10,32 dak.
4	684,7 m.	8,21 dak.	9,85 dak.
5	468,9 m.	5,62 dak.	6,74 dak.
6	646,3 m.	7,75 dak.	9,30 dak.
7	430,5 m.	5,16 dak.	6,20 dak.
8	446,8 m.	5,36 dak.	6,43 dak.
9	468,9 m.	5,62 dak.	6,74 dak.
10	425,8 m.	5,11 dak.	6,13 dak.

** Birim indirme-bindirme süresi*

Sistemde 4 tip kasa vardır. Fakat kullanılan kasaların büyük çoğunluğu ortalama %70’i K0 tipi kasadır. K0 tipi kasa küçük olduğu için içindeki malzemeye de bağlı olarak yükleme-boşaltmada birden fazla taşınabilmektedir. Bu durum da değerlendirmeye alınarak, bir kasa için ortalama yükleme-boşaltma süresi 0,10 dak. olarak belirlenmiştir. Süreyi oluşturan temel bileşenler, kasanın trenden alınması, raflara yerleştirilmesi ve boşalan kasanın raftan alınması şeklindedir.

**Kısa tren kapasitesi, kasa tipleri*

Tren, 2 vagon dan oluşmaktadır ve trenin kapasitesi taşıma yaptığı 4 tip kasa cinsinden çizelge 8.3’teki gibi belirlenmiştir. Fakat işlem kolaylığı açısından uygulamada bütün kasalar K0 türüne çevrilmiştir.

Çizelge 8.3 : Uygulamada kullanılan kasa özellikleri.

Kasa adı	Boyut (cmxcmxcm)	Vagon Kapasitesi (Kasa/vagon)
K0	30x20x14	90
K1	40x30x14	44
K2	40x30x28	26
K3	60x40x28	12

**İstasyonların talep miktarları*

İstasyonların dakikalık ortalama talep miktarları, birimi kasa (K0) olarak Çizelge 8.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 8.4 : İstasyonların birim zamandaki talep miktarları (kasa/dak.).

İstasyon No	Talep (kasa/dak.)	İstasyon No	Talep (kasa/dak.)	İstasyon No	Talep (kasa/dak.)
i1	0,0010	i11	0,0831	i21	0,4978
i2	0,1184	i12	0,1720	i22	0,0476
i3	0,2056	i13	0,3769	i23	0,1289
i4	0,2397	i14	0,0578	i24	0,1091
i5	0,0990	i15	0,0336	i25	0,1207
i6	0,1653	i16	0,2147	i26	0,0469
i7	0,2990	i17	0,0519	i27	0,0083
i8	0,1537	i18	0,2382		
i9	0,1362	i19	0,1450		
i10	0,1018	i20	0,0031		

Genel atamada ve tahsisli atamada kullanılmak üzere, aşağıdaki parasal değerleri içeren parametreler de, işletme gizliliği açısından belirli oranlarda değiştirilerek kullanılmıştır.

**İstasyonlarda kullanılan bir kasa parçanın ortalama parasal değeri (TL)*

İstasyonlarda kullanılan farklı malzemelerin parasal değerlerinin ağırlıklı ortalamaları alınarak, birim kasa parasal değeri, Çizelge 8.5'teki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 8.5 : İstasyonlarda kullanılan kasaların ortalama parasal değerleri.

İstasyon No	P. değer (TL/kasa)	İstasyon No	P. değer (TL/kasa)	İstasyon No	P. değer (TL/kasa)
i1	134,98	i11	29,63	i21	10,96
i2	34,78	i12	12,34	i22	23,19
i3	52,20	i13	34,86	i23	28,81
i4	29,62	i14	31,53	i24	13,22
i5	13,65	i15	109,30	i25	70,97
i6	22,81	i16	20,83	i26	23,96
i7	27,05	i17	29,56	i27	40,80
i8	28,29	i18	35,91		
i9	21,40	i19	48,26		
i10	18,44	i20	48,73		

**Araç mâliyeti*

Aracın mâliyetini, yıpranma payı ve işçilik mâliyeti oluşturmaktadır. Günlük yıpranma payı mâliyeti 10 TL ve işgören mâliyeti de günlük 50 TL olmak üzere, günde 2 vardiyanın toplam mâliyet 110 TL olarak belirlenmiştir.

**Aracın enerji mâliyeti*

Aracın enerji mâliyeti 0,25 TL/km olarak belirlenmiştir. Bu durumda her rotanın bir araç tarafından bir defa katedilmesi için gerekli olan enerji mâliyetleri Çizelge 8.6'daki gibidir.

Çizelge 8.6 : Rotaların katedilmesi için gerekli olan enerji mâliyeti.

Rota no	Enerji mâliyeti (TL/sefer)	Rota no	Enerji mâliyeti (TL/sefer)
1	0,108 TL.	6	0,162 TL.
2	0,135 TL.	7	0,108 TL.
3	0,179 TL.	8	0,112 TL.
4	0,171 TL.	9	0,117 TL.
5	0,117 TL.	10	0,106 TL.

**Araç Hazırlık süresi*

Araç hazırlık süresi 10 dakika olarak alınmıştır. Bu süre kapsamında; trenin istasyonlara malzeme dağıtımını bitirip depoya geldikten sonra boş kasaları içeren vagonun trenden çıkartılması, dolu olan vagonun trene bağlanması ve otomatik depolama ve geri getirme sistemindeki bitmemiş olup devam eden bazı işlemlere (ürünlere ilişkin bilgilerin sisteme girilmesi, tren turdan geldiğinde halen

hazırlanmakta olan malzemeler) ilişkin gereken süreler ve beklenmedik durumlar değerlendirmeye alınmıştır.

**İstasyonların iç kısımlarına girmek için gereken süre*

Bazı istasyonlarda, malzeme dağıtımı için iç kısımlara girme gereksinimi duyulmaktadır. Bu süre, ilgili istasyonlar için bir dakika olarak belirlenmiştir.

**Yarı mamul tutma mâliyeti oranı*

Günlük yarımamul tutma mâliyeti oranı, faiz oranı ve malzemenin işgal ettiği alan da değerlendirmeye alınarak yıllık %20, günlük ise 0,00055 olarak belirlenmiştir.

8.3.3 Modelin İlgili Parametre Değerlerine Göre Çözdürülmesi

Uygulamadaki problemin yapısına uygun olan belirli zaman periyotlu atama sınıfına ilaveten geliştirilen modellerin geçerliliklerini test etmek amacıyla, diğer sınıflar olan genel atama ve tahsisli atama durumları için de uygulamadaki verilerden faydalanarak modellemeler yapılmış ve çözümler elde edilmiştir.

Belirli Zaman Periyotlu Durum

Model dört farklı senaryo için çözdürülmüştür. Senaryolardaki sabit zaman değerleri sırasıyla 45 dakika, 60 dakika, 75 dakika ve 90 dakikadır. Senaryodaki sabit zaman değerleri, fabrikadaki ilgili süreçten sorumlu çalışanlarla beraber değerlendirilerek belirlenmiştir. Amaçlanan, istasyonların beslenme sıklığının artırılması durumunda hangi rotalarla ve kaç araçla, sistemin belirtilen performans ölçütlerini eniyileyecek şekilde çalıştırılması gerektiğini bulmaktır. İlgili performans ölçütleri, araç sayısı ve katedilen mesafedir. Mevcutta 90 dakikada bir beslenen istasyonların mevcut zaman dilimini de içerecek şekilde beslenme sıklıklarının düşürülmesi durumunda, ilgili senaryolar için çözümler bulunmuştur.

Tek rotalı ve çok rotalı araca ilişkin bütün modeller, parasal değerlerin kullanılmadığı araç sayısı ve katedilen mesafenin enküçüklenmesi temel alınarak çözdürülmüştür. İstenen, her iki amacın da aynı anda gerçekleşmesidir. Araca ilişkin sabit mâliyetin ve taşıma mâliyetinin bilinmediği durumda, her iki amaca göre model çözdürüldükten sonra tek rotalı araç ve çok rotalı araç durumları için önceki bölümde tanımlanan **TRK1** ve **ÇRK1** uygulanmalıdır.

45 dakika sabit zamanlı ve tek rotalı araç modeline ilişkin çözümler

En düşük zaman dilimi olan 45 dakikalık periyot için araç sayısının enküçüklenmesi ve toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model, eniyileme programında kodlanarak çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.7'deki gibidir.

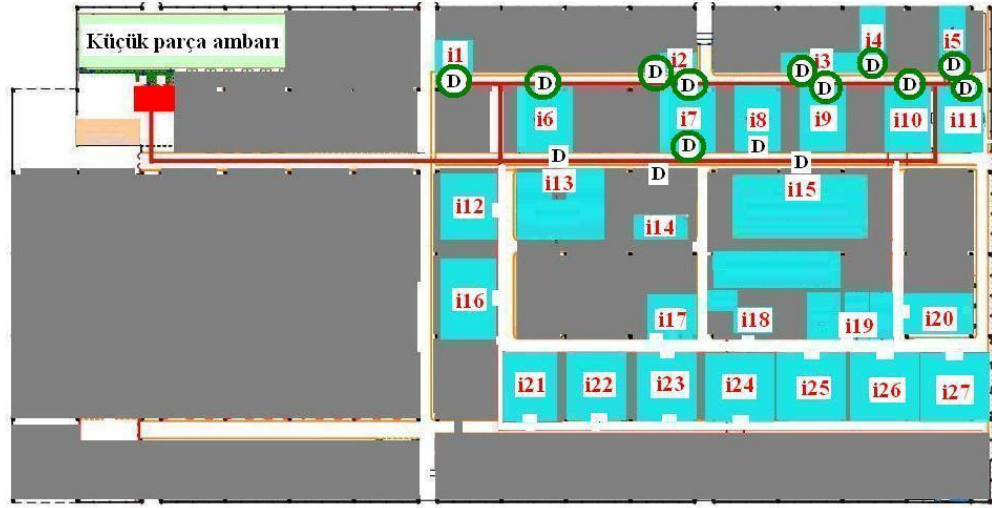
Çizelge 8.7 : 45 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota	Rota sayısı: 2 (r1, r3) Mesafe: 1147,8 m. Tur periyodu: 45 dak. r1 (22,33 dak.) r3 (35,52 dak.)	r1 (i7, i8, i13, i14, i15). r3 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i9, i10, i11, i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Minimum katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 45 dak. r1 (22,71 dak.) r6 (34,13 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Tek rotalı araç, 45 dakikalık sabit zaman periyotlu durumda, her iki amaca göre çözüm elde edilmiştir. Tekli rota kural 1 (TRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.8'deki gibidir. Çözüme ilişkin seçilen rotaların yerleşim planındaki gösterimi ise Şekil 8.4'teki gibidir.

Çizelge 8.8 : 45 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota ve katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 45 dak. r1 (22,71 dak.) r6 (34,13 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



— Rota 1



— Rota 6

Şekil 8.4 : 45 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar ve rotalara atanan istasyonlar.

45 dakika sabit zamanlı ve çok rotalı araç model çözümleri

Tek rotalı araçta olduğu gibi araç sayısının enküçüklenmesi ve katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.9’da gösterilmiştir.

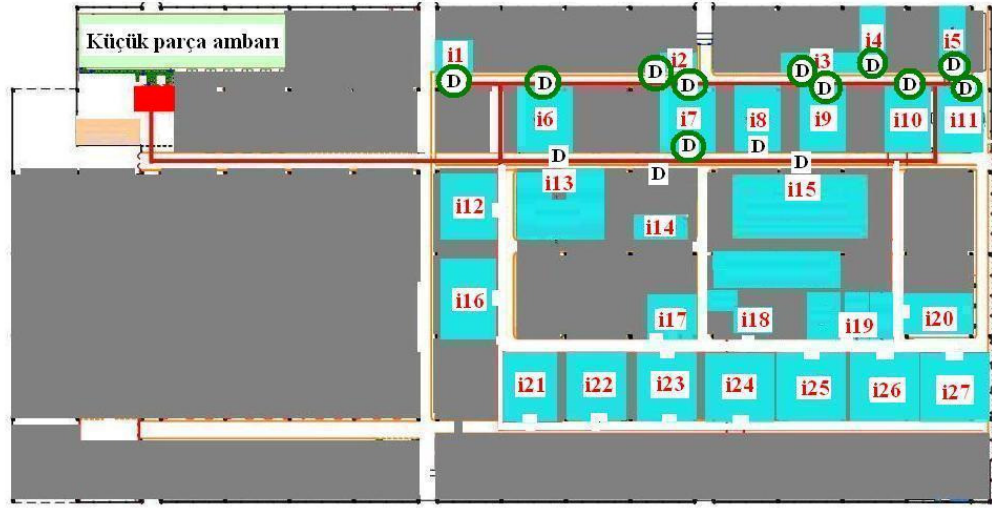
Çizelge 8.9 : 45 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1761,5 m. Tur periyodu: 45 dak. 1.araç: r4 (35,40 dak.) 2. araç: r1 (16,65 dak.), r6 (24,64 dak.)	1.araç: r4 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i11, i12, i13, i14, i15, i16, i21, i22, i24). 2.araç: r1 (i10), r6 (i17, i18, i19, i20, i23, i25, i26, i27).
Minimum katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 45 dak. 1.araç: r1 (22,71 dak.) 2.araç: r6 (34,13 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). 2.araç: r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Çok rotalı araç, 45 dakikalık sabit zaman periyotlu durumda her iki amaca göre çözüm elde edilmiştir. Çoklu rota kural 1 (ÇRK1)’nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.10’daki gibidir. Çözüme ilişkin seçilen rotalar, Şekil 8.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 8.10 : 45 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç ve katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 45 dak. 1.araç: r1 (22,71 dak.) 2.araç: r6 (34,13 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). 2.araç: r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



— Rota 1



— Rota 6

Şekil 8.5 : 45 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

60 dakika sabit zamanlı ve tek rotalı araç modeline ilişkin çözümler

Araç sayısının enküçüklenmesi ve toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.11'deki gibidir.

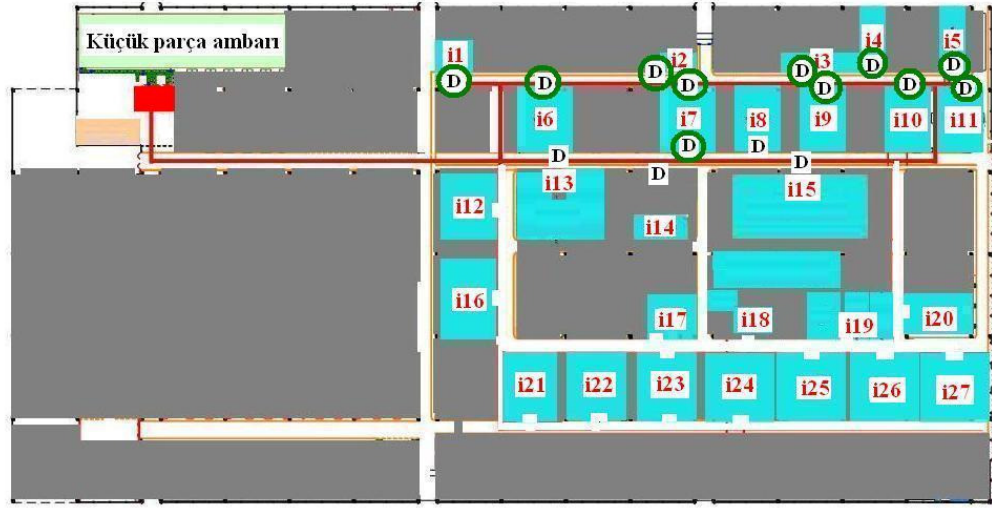
Çizelge 8.11 : 60 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota	Rota sayısı: 2 (r1, r3) Mesafe: 1147,8 m. Tur periyodu: 45 dak. r1 (23,72 dak.) r3 (39,93 dak.)	r1 (i7, i8, i13, i14, i15). r3 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i9, i10, i11, i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Minimum kat edilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 60 dak. r1 (24,89 dak.) r6 (37,74 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Tekli rota kural 1 (TRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.12'deki gibi belirlenmiştir. Çözüme ilişkin seçilen rotaların gösterimleri Şekil 8.6'daki gibidir.

Çizelge 8.12 : 60 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota ve katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 60 dak. r1 (24,89 dak.) r6 (37,74 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11). r6 (i8, i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



— Rota 1



— Rota 6

Şekil 8.6 : 60 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

60 dakika sabit zamanlı ve çok rotalı araç model çözümleri

Tek rotalı araçta olduğu gibi araç sayısının enküçüklenmesi ve katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar Çizelge 8.13'teki gibidir.

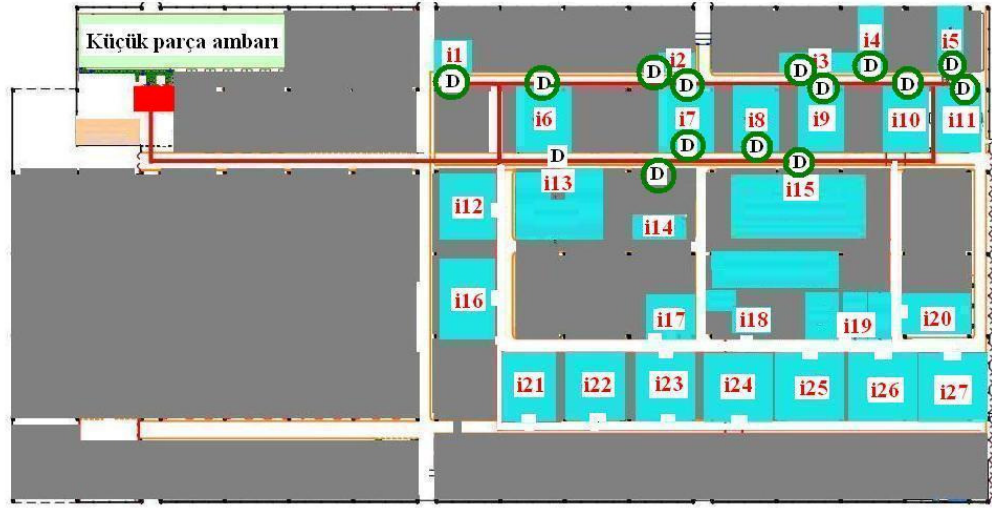
Çizelge 8.13 : 60 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç	Araç sayısı: 2 Mesafe: 2650,4 m. Tur periyodu: 60 dak. 1.araç: r1 (27,85 dak.), r3 (28,68 dak.) 2.araç: r1(16,39 dak.), r6(24,92 dak.), r10(17,42 dak.)	1.araç: r1 (i4, i5, i6, i7, i8, i9, i11, i13, i14), r3(i1, i2, i3, i10, i12, i20, i21, i22, i23, i24, i27). 2. araç: r1 (i15), r6(i17, i18, i19, i25, i26), r10 (i16).
Minimum katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 60 dak. 1.araç: r1 (27,36 dak.) 2.araç: r6 (35,27 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i14, i15). 2.araç: r6 (i12, i13, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Çoklu rota kural 1 (ÇRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.14'te gösterilmiştir. Çözüme ilişkin seçilen rotaların gösterimleri Şekil 8.7'deki gibidir.

Çizelge 8.14 : 60 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç ve katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 60 dak. 1.araç: r1 (27,36 dak.) 2.araç: r6 (35,27 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i14, i15). 2.araç: r6 (i12, i13, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



— Rota 1



— Rota 6

Şekil 8.7 : 60 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

75 dakika sabit zamanlı ve tek rotalı araç modeline ilişkin çözümler

Araç sayısının enküçüklenmesi ve toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model eniyileme programında çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.15'teki gibidir.

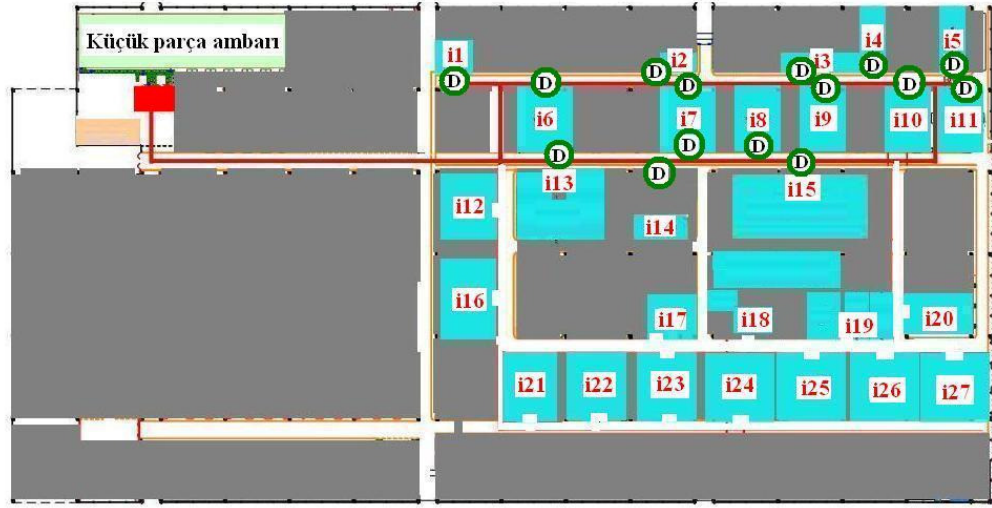
Çizelge 8.15 : 75 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota	Rota sayısı: 2 (r4, r6) Mesafe: 1331 m. Tur periyodu: 75 dak. r4 (37,65 dak.) r6 (34,42 dak.)	r4 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i14, i15, i21, i22). r6 (i12, i13, i16, i17, i18, i19, i20, i23, i24, i25, i26, i27).
Minimum katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 75 dak. r1 (33,72 dak.) r6 (34,68 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i14, i15). r6 (i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Tekli rota kural 1 (TRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.16'da gösterilmiştir. Çözüme ilişkin seçilen rotaların gösterimleri, Şekil 8.8'deki gibidir.

Çizelge 8.16 : 75 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota ve katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 75 dak. r1 (33,72 dak.) r6 (34,68 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i14, i15). r6 (i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



— Rota 1



— Rota 6

Şekil 8.8 : 75 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

75 dakika sabit zamanlı ve çok rotalı araç model çözümleri

Tek rotalı araçta olduğu gibi araç sayısının enküçüklenmesi ve katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.17'deki gibidir.

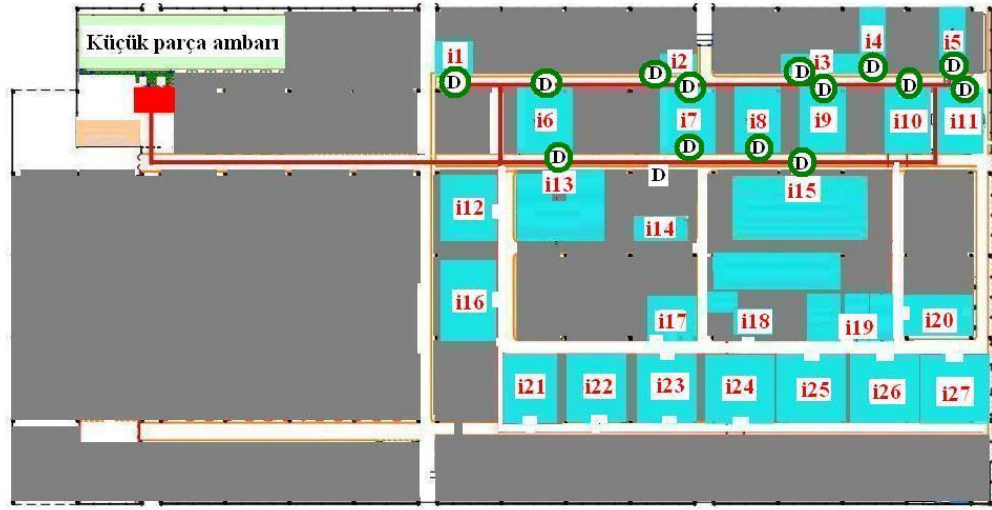
Çizelge 8.17 : 75 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç	Araç sayısı: 1 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 75 dak. 1.araç: r1 (28,21 dak.), r6 (40,19 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11). r6 (i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Minimum katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 75 dak. 1.araç: r1 (32,29 dak.) 2.araç: r6 (36,11 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i15). 2.araç: r6 (i12, i14, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Çoklu rota kural 1 (ÇRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.18'de gösterilmiştir. Elde edilen çözüme ilişkin rotaların gösterimleri, Şekil 8.9'daki gibidir.

Çizelge 8.18 : 75 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç ve katedilen mesafe	Araç sayısı: 1 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 75 dak. 1.araç: r1 (32,29 dak.), r6 (36,11 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i15), r6 (i12, i14, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



Şekil 8.9 : 75 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

90 dakika sabit zamanlı ve tek rotalı araç modeline ilişkin çözümler

Araç sayısının enküçüklenmesi ve toplam katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model eniyileme programında kodlanarak çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.19’da gösterilmiştir.

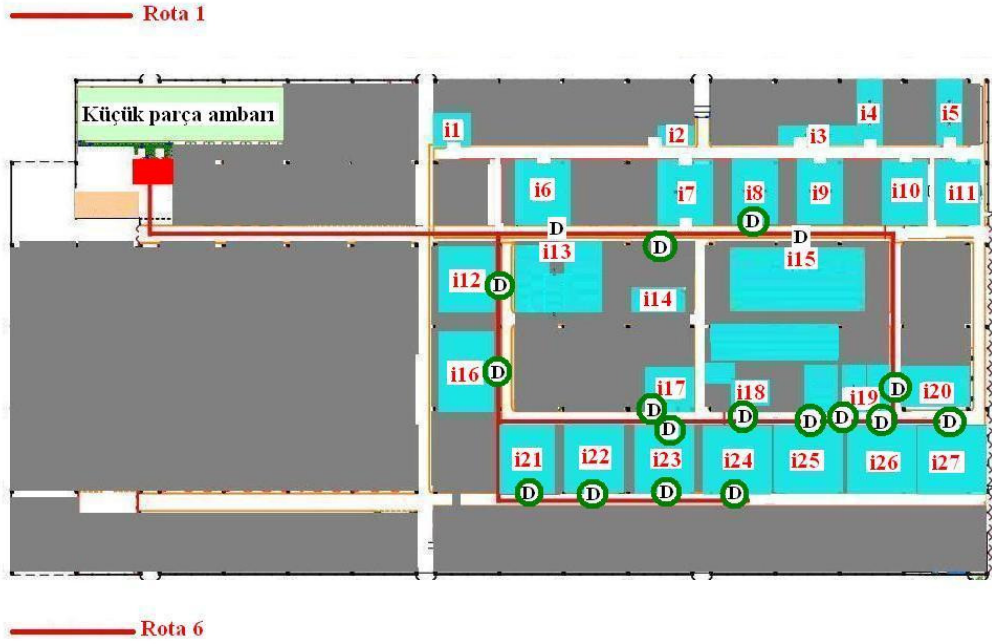
Çizelge 8.19 : 90 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota	Rota sayısı: 2 (r4, r6) Mesafe: 1331 m. Tur periyodu: 90 dak. r4 (37,49 dak.) r6 (40,36 dak.)	r4 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i15, i16, i24). r6 (i12, i13, i14, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i25, i26, i27).
Minimum kat edilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 90 dak. r1 (33,93 dak.) r6 (40,26 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i15). r6 (i8, i12, i14, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Tekli rota kural 1 (TRK1)’nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.20’deki gibi belirlenmiştir. Elde edilen çözüme ilişkin rotaların gösterimleri, Şekil 8.10’daki gibidir.

Çizelge 8.20 : 90 dakika sabit zamanlı, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum rota ve katedilen mesafe	Rota sayısı: 2 (r1, r6) Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 90 dak. r1 (33,93 dak.) r6 (40,26 dak.)	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i15). r6 (i8, i12, i14, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



Şekil 8.10 : 90 dakika sabit zaman periyotlu, tek rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

90 dakika sabit zamanlı ve çok rotalı araç model çözümleri

Tek rotalı araçta olduğu gibi araç sayısının enküçüklenmesi ve katedilen mesafenin enküçüklenmesine göre model çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar, Çizelge 8.21'deki gibidir.

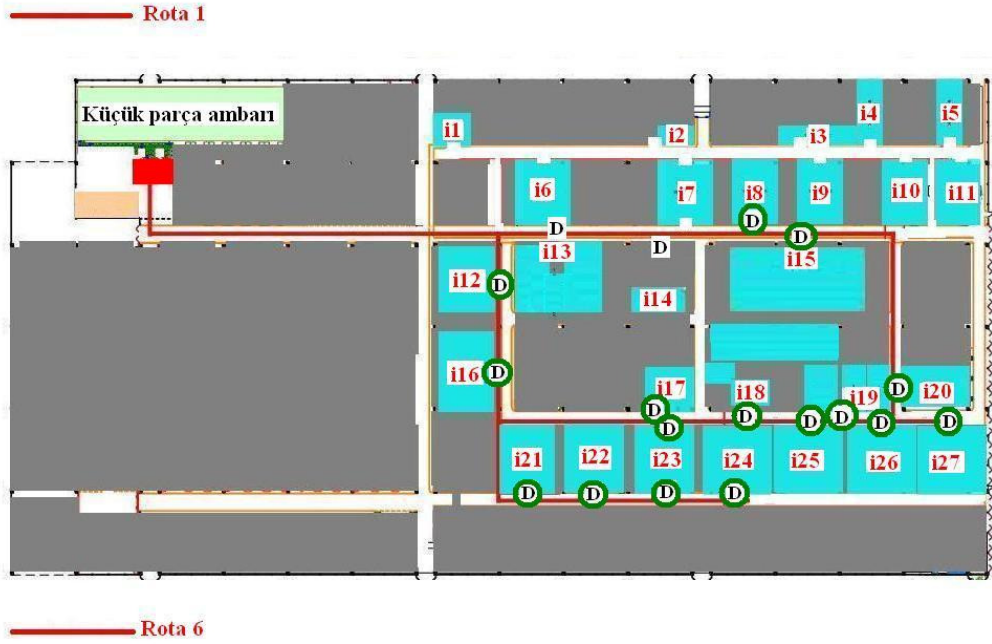
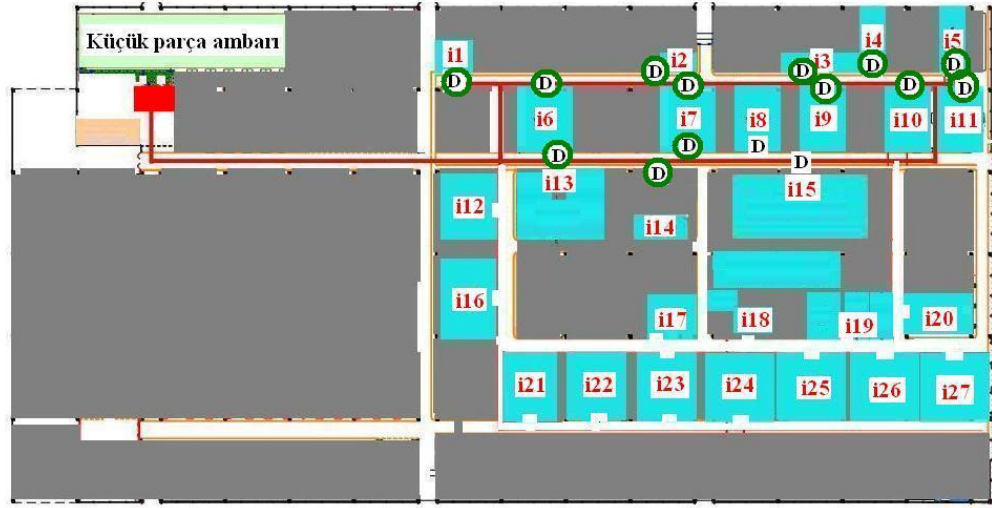
Çizelge 8.21 : 90 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin çözümler.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç	Araç sayısı: 1 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 90 dak. 1.araç: r1 (35,14 dak.), r6 (39,04 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i14). r6 (i8, i12, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Minimum katedilen mesafe	Araç sayısı: 2 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 90 dak. 1.araç: r1 (35,14 dak.) 2.araç: r6 (39,04 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i14). 2.araç: r6 (i8, i12, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Çoklu rota kural 1 (ÇRK1)'nin uygulanması sonucu elde edilen çözüm, Çizelge 8.22'deki gibi belirlenmiştir. Elde edilen çözüme ilişkin rotaların gösterimleri, Şekil 8.11'deki gibidir.

Çizelge 8.22 : 90 dakika sabit zamanlı, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen çözüm.

Amaç	Özellikler	Rotalara atanan istasyonlar
Minimum araç ve katedilen mesafe	Araç sayısı: 1 Mesafe: 1076,8 m. Tur periyodu: 90 dak. 1.araç: r1 (35,14 dak.), r6 (39,04 dak.)	1.araç: r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i14). r6 (i8, i12, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).



Şekil 8.11 : 90 dakika sabit zaman periyotlu, çok rotalı araç durumuna ilişkin önerilen rotalar.

Genel Atama Durumu İçin Çözümler

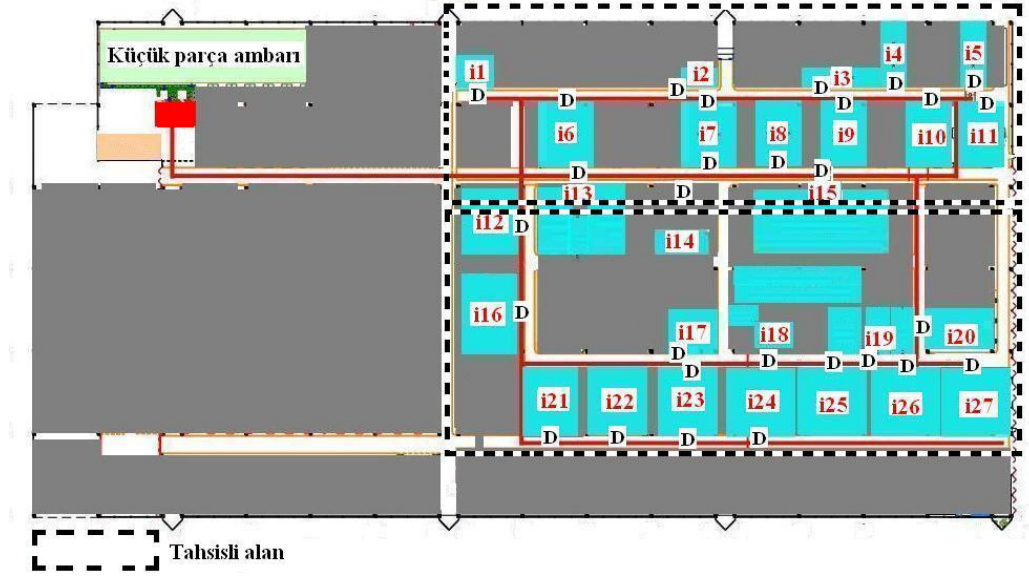
Genel atama durumu, uygulamada tek rotalı ve çok rotalı aracın farklı zamanlı ve eşit zamanlı durumları için çözdürülmüş ve gerçek sistemin düşünsel örnekteki duruma göre daha yalın olmasından dolayı, en iyi çözümler, ilgili parametrik değerlere göre elde edilmiştir. Elde edilen çözümler, özet halinde Çizelge 8.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 8.23 : Genel atama durumuna ilişkin özet çözümler.

Tür	Amaç/Çözüm	Rotalara atanan istasyonlar
Tek rotalı, farklı zamanlı	Mâliyet enküçüklenmesi / 229,27 TL.; r1 (42 dak.), r6 (62 dak.).	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i14, i15). r6 (i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Tek rotalı, eşit zamanlı (GAMS eniyileme programı)	Mâliyet enküçüklemesi / 229,44 TL.; r1 (52 dak.), r6 (52 dak.).	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13). r6 (i8, i12, i14, i15, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Tek rotalı, eşit zamanlı (Sezgisel)	Mâliyet enküçüklemesi / 229,44 TL.; r1 (52 dak.), r6 (52 dak.).	r1 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i9, i10, i11, i13, i14, i15). r6 (i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).
Çok rotalı, farklı zamanlı	Araç sayısı enküçüklemesi / Araç sayısı: 1 Tur periyodu: 79,15 dak. Seçilen rotalar: r4 (38,85 dak.), r6 (40,30 dak.)	r4 (i1, i2, i3, i4, i5, i6, i7, i9, i10, i11, i13, i15, i16, i24) r6 (i8, i12, i14, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i25, i26, i27).
Çok rotalı, eşit zamanlı	Araç sayısı enküçüklemesi / Araç sayısı: 1 Tur periyodu: 88 dak. Seçilen rotalar: r1 (36 dak.), r3 (52 dak.)	r1 (i1, i3, i4, i5, i6, i7, i8, i10, i11, i13, i14, i15) r3 (i2, i9, i12, i16, i17, i18, i19, i20, i21, i22, i23, i24, i25, i26, i27).

Tahsisli Atama Durumu İçin Elde Edilen Çözümler

Tahsisli atamanın da uygulanabilirliğinin gösterilmesi açısından uygulamadaki istasyonlar, fiziksel şartlar ve üretim akışına da bağlı olarak iki bölgeye ayrılmış ve bu alanlar için model çözdürülmüştür. Farklı alanlar için de deneme yapılabilir. Fakat uygulanabilirliğin gösterilmesi açısından bir örnek yeterli görülmüştür. İlgili tahsisli alanlar, Şekil 8.12'de gösterilmiştir. Tahsisli durumdaki rotalarla genel atamadaki rotalar aynı olduğu için sonuç, Çizelge 8.24'te görüldüğü üzere benzer çıkmıştır.



Şekil 8.12 : Tahsis edilmiş istasyonlar.

Çizelge 8.24 : Tahsisli atama durumuna ilişkin çözüm tablosu.

Tür	Amaç/Çözüm	Zaman periyodu
Tahsisli atama (Farklı zamanlı)	Mâliyet enküçüklemesi / 229,27 TL.	r1 (42dak.), r2 (62 dak.).
Tahsisli atama (Eşit zamanlı)	Mâliyet enküçüklemesi / 229,44 TL.	r1 (52 dak.), r2 (52 dak.).

8.4 Uygulamanın Genel Sonuçları

Uygulama kapsamında farklı senaryolar için çözümler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bütün çözümlerde baskın olan iki rota bulunmaktadır. Bunlar rota 1 ve rota 6'dır. Fakat farklı senaryo durumlarına göre her ne kadar seçilen rotalar aynı olsa da, rotalara atanan istasyonlar farklı olabilmektedir.

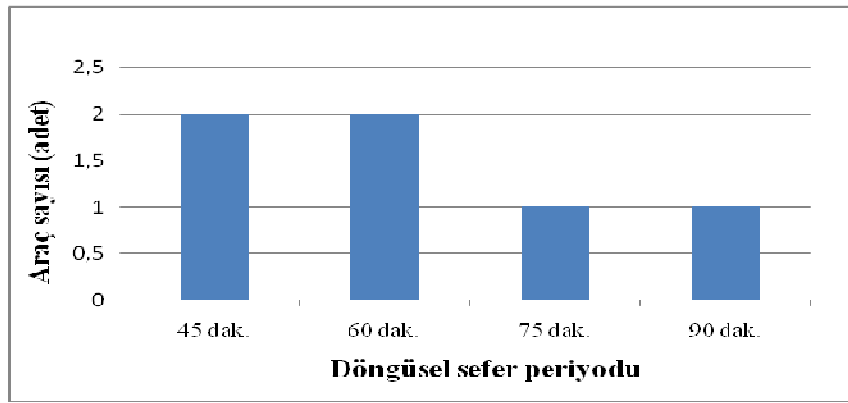
Zaman periyodunun kısa olduğu 45 dak. ile 60 dakikalık periyotlarda tek bir aracın yeterli olmadığı, bir araca birden fazla rota atanamadığı gözlemlenmiştir. Fakat zaman periyodunun arttırılmasıyla 75 dakikalık ve 90 dakikalık periyotlarda bir araca birden fazla rota atanabilmektedir.

Değerlendirmeye alınan 45 dak., 60 dak., 75 dak. ve 90 dakikalık sabit zaman periyotlarında kullanılması gereken araç sayıları ve her istasyondaki beklenen süreç içi stok miktarı (Bir periyotta taşınan miktarın yarısı + bir çevrimlik güvenlik stoku) değerleri, Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'te gösterilmiştir. İşletme, süreç içi stok miktarını düşürmek istediği durumda araç sayısının artacağı gözükmemektedir. Böyle bir karar

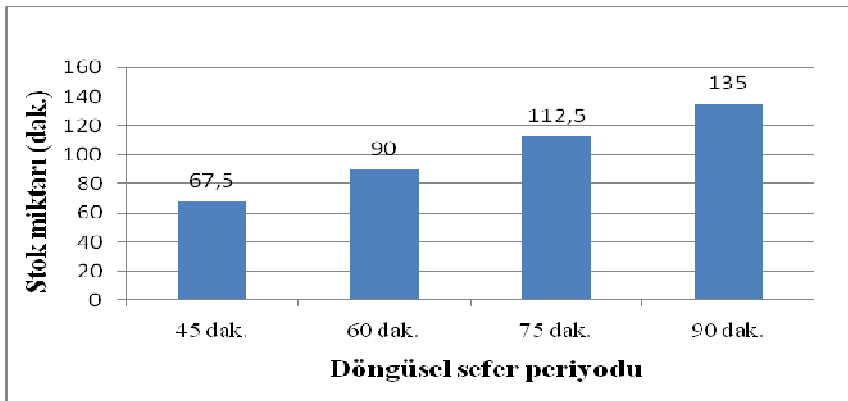
alınması halinde izlenecek rotalar belirlidir. Fakat mevcut durumda modelden elde edilen rotalarla araç sayısı artırılmadan, süreç içi stok miktarının 75 dakikalık zaman periyoduna düşürülebileceği gözükmemektedir.

Mevcutta işletmede yaklaşık üç yıldır uygulanmakta olan bu sistemde farklı rotalar ve araç sayıları denenmiştir. Nihai noktada hali hazırda ortalama 90 dakikalık periyotlarla hareket eden trenin izlediği rota ile modelden çıkan sonuç benzerlik göstermektedir. Bu da modelden çıkan sonuçların uygulanabilirliğinin gösterilmesi açısından önemlidir.

Tez kapsamında geliştirilen diğer modellerin de uygulanabilirliklerinin gösterilmesi açısından işletmeye özgü olarak önerilen modeller modifiye edilmiş ve işletme gizliliği de gözönünde bulundurularak, parasal değerler değiştirilerek, modellerin uygulanabilirlikleri ortaya konulmuştur.



Şekil 8.13 : Farklı zaman periyotlarında, sistemde gerekli olan araç sayıları.



Şekil 8.14 : Farklı zaman periyotlarında, istasyonlardaki süreç içi stok miktarı.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim sistemlerinin sürekli iyileştirilmesini esas alan ve bu noktada israfların azaltılmasına yönelik yöntemlerin geliştirildiği yalın üretim yaklaşımında en önemli israf kaynaklarından biri de iç lojistiğe ilişkin yanlış uygulamalardır. Üretimle bütünleşememiş, planlanması ve yönetilmesi zor, standardize olmayan bir iç lojistik yapısı, direkt olarak temin süresini ve süreç içi stok miktarını arttırabilmekte, dolaylı yönden de işgücü ve enerji kayıplarına neden olabilmektedir.

Yalın üretim sistemlerinin düzgünleştirilmiş ve talep kadar arz edilmesi üzerine kurulmuş üretim yapısı, bu yapıya özgü bir iç lojistik sistemi tasarımını gerektirmektedir.

İç lojistik, lojistiğin diğer bölümleri olan tedârik lojistiği ve dağıtım lojistiğine nazaran üzerinde daha az durulmuş ve yöntemler geliştirilmiş bir alandır. Üretim lojistiği olarak da geçen iç lojistikte ana konu, üretim ortamındaki parçaların üretim ve tüketim noktaları arasındaki akışının tam zamanında, istenilen miktarda ve şekilde, minimum mâliyetle yerine getirilmesidir. Üretim lojistiği bu bağlamda depolar ve yerleşim düzenin tasarlanmasıyla da yakından ilişkilidir ve kapsamı genişleyebilmektedir.

Yalın üretim yapısının özellikle düzgünleştirilmiş üretim yapısına özgü olarak son zamanlarda ortaya çıkan ve uygulama alanı bulan, periyodik hareketler yapan kısa trenlerdir. Belirli bir rotada ve belirli bir zaman diliminde çalışma süresi boyunca periyodik hareketler yapan kısa tren, bir diğer ifadeyle döngüsel sefer trenine ilişkin çalışma sayısı oldukça azdır. Tez çalışması bu noktada yoğunlaşmıştır.

Üretim ortamının kendine özgü yapısı, döngüsel sefer trenine ilişkin problemi tedârik ve dağıtım lojistiğinde varolan mevcut araç rotalama problemlerinden büyük oranda ayırmaktadır. Bu durumda iç lojistik yapısına özgü modeller geliştirilmesi ve çözümler bulunması ihtiyacı doğmaktadır.

Döngüsel sefer sisteminin uygulandığı iç lojistik sisteminde istasyonlarda kullanılan parçaların bir set haline getirildiği ve işgörenin bulunduğu istasyonu terk etmeden gerekli parçaları sağladığı setleme yapısı, döngüsel sefer sistemiyle beraber düşünülmesi gereken bir konudur. Özellikle montaj hatlarının veya büyük hücrelerdeki istasyonların beslenmesinde kullanılan setleme yapısının döngüsel sefer yapısıyla bütünleştirilmesi ihtiyacı, üretim ortamlarında yapılan saha çalışmalarında gözlemlenmiştir.

Yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalar, kısa tren döngüsel sefer uygulamasının yaygın olarak kullanılan forklift veya diğer malzeme taşıma araçlarıyla yapılan taşımalara nazaran büyük tasarruflar sağladığını göstermiştir. Bu noktada çok az sayıda model sunulmuştur, ancak üretim ortamındaki diğer yapılarla bütünleşmiş, farklı üretim ortamlarını ve ihtiyaçlarını gözönünde bulunduran sistematik bir çalışma mevcut değildir.

Tez çalışması kapsamında kısmen literatür ve özellikle üretim ortamlarında yapılan gözlemler sonucunda üretim içi döngüsel sefer problemi; genel atama, tahsisli atama ve belirli zaman periyotlu atama olarak üç ana sınıf şeklinde sınıflandırılmış, bazı ana sınıflar için alt sınıflar tanımlanmış ve her sınıfa ilişkin modellemeler sunulmuştur. Özellikle belirli bir problem sınıfı için sezgisel algoritma ve alt sınır algoritması geliştirilmiştir. Her üretim tipinin kendine özgü bir yapısı olduğu için farklı olası durumları bir arada barındıran bir sayısal örnek üzerinde sunulan modeller denenmiştir. Ana döngüsel sefer modeline ilişkin yapılan bu çalışmalar, çalışmanın birinci kısmını oluşturmaktadır. Çalışmanın ikinci kısmında setleme yapısı üzerinde durulmuş ve döngüsel sefer yapısıyla bütünleştirilmesinde kullanılacak bir model sunulmuştur. Ayrıca diğer sistemlerden setleme sistemine geçişte kullanılabilecek bir karşılaştırma algoritması da sunulmuştur.

Geliştirilen modellerin test edilmesi için, yalın üretimi esas alan bir otomotiv firmasında, varolan bir döngüsel sefer yapısının farklı senaryolar altında nasıl çalışması gerektiğine ilişkin çözüm önerileri geliştirilmiştir. Mevcut sınıflardan işletmedeki problemin yapısına uygun olanı belirlenmiş ve işletmeye özgü olarak model modifiye edilmiştir. Sunulan çözüm önerileriyle sistemin hangi rotalarla, kaç araçla ve ne kadarlık bir süreç içi stokla çalışabileceği bulunmuştur.

Uygulama kapsamında değerlendirmeye alınan dört senaryodan düşük periyotlu olan 45 dakikalık ve 60 dakikalık durumlar için iki araç, 75 dakikalık ve 90 dakikalık

durumlarda ise bir araçla döngüsel sefer sisteminin belirlenmiş olan rotalarda işletilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca geliştirilen bütün modeller, uygulanabilirliklerinin gösterilmesi açısından işletmede denenmiştir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde, ortaya konulan tez çalışmasının literatüre katkısı ve orijinal olduğu noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- İç lojistik sisteminde döngüsel sefer problemine ilişkin bir sınıflandırma yapılması ve her sınıf için modellemelerin yapılması
- Belirli bir sınıf için sezgisel ve alt sınır algoritması geliştirilmesi
- Setleme sisteminin döngüsel sefer yapısıyla bütünleşmesinin sağlanması ve buna yönelik bir model sunulması

Yapılan çalışmayla bilime gerek üretim ortamında uygulanabilirliği olan, pratik, gerekse de sunulan modellerle teorik bir katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Fakat üretim ortamlarının çeşitliliği ve kendine özgü dinamik yapıları, bu noktada iyileştirmeye açık birçok alan bırakmaktadır.

İç lojistik sistemlerinde özellikle döngüsel sefer yapılarına özgü çalışmaların azlığı, bu noktada daha çok çalışma yapılabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda gelecekte yapılması düşünülen veya yapılabilecek çalışmalar aşağıda belirtilmiştir:

- Hangi üretim sisteminde nasıl bir döngüsel sefer yapısı kurulması gerektiğine ilişkin uzman sistem geliştirilmesi
- Stokastik bir yapı altında döngüsel sefer sisteminin işletilmesi
- Vagon türlerinin farklı olduğu durumlar için döngüsel sefer yapısının oluşturulması
- Tesis içi yerleşim planının döngüsel sefer sistemiyle bütünleşik şekilde yapılması
- Aksiyomlarla tasarımla yalın üretim ortamında iç lojistik yapısının oluşturulması

KAYNAKLAR

- Ahi, A., Aryanezhad, M. B., Ashtiani, B. and Makui, A.,** 2008. A novel approach to determine cell formation, intracellular machine layout and cell layout in the CMS problem based on TOPSIS method, *Computers & Operations Research*, Article In Press.
- Ai, T. J. and Kachitvichyanukul, V.,** 2009. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers & Operations Research*, **36**, 1693-1702.
- Akılhoğlu, A.H., Baydoğan, M. G., Bolatlı, Y., Canbaz, D., Halıcı, A., Sezgin, Ö., Özdemirel, N. E. ve Türkcan, A.,** 2006. Dizel Enjektör Üretimi Yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistemi Tasarımı, *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **17 (3)**, 2-15.
- Amato, F., Basile, F., Carbone, C. and Chiacchio, P.,** 2005. An approach to control automated warehouse systems, *Control Engineering Practice*, **13**, 1223-1241.
- Ariafar, S. and Ismail, N.,** 2009. An improved algorithm for layout design in cellular manufacturing systems, *Journal of Manufacturing Systems*, **28**, 132-139.
- Arora, K. C. and Shinde V. V.,** 2007. *Aspects of Materials Handling*, Laxmi Publications, New Delhi.
- Babiceanu, R.F. and Chen, F. F.,** 2008. Distributed and centralised material handling scheduling: Comparison and results of simulation study, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Article in Press.
- Baker, P. and Canessa, M.,** 2009. Warehouse design: A structured approach, *European Journal of Operational Research*, **193**, 425-436.
- Baudin, M.,** 2004. *Lean logistics: The Nuts And Bolts of Delivering Materials and Goods*, Productivity Press, New York.
- Barbarosoğlu, G. and Özgür, D.,** 1999. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **26**, 255-270.
- Barnhart, C., Laporte, G.,** 2007. *Trasnsportation, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. **14**, North Holland.
- Bayou, M.E. and Korvin A. de.,** 2008. Measuring the leanness of manufacturing systems-A case study of Ford Motor Company and General Motors, *Journal of Engineering and Technology Management*, **25**, 287-304.
- Berg, J.P. and Zijm, W.H.M.,** 1999. Models for warehouse management: Classification and examples, *International Journal of Production Economics*, **59**, 519-528.

- Bilici, G., Çolak, Ö., İnaltekin, F., Küçük, T. C., Yetimoğlu, S., Köksalan, M. ve Savaşaneril, S.,** 2007. Fabrika içi çekme esaslı taşıma sistemi tasarımı, *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **18 (3)**, 31-42.
- Bin, Y., Zen, Y. Z. and Baozhen, Y.,** 2009. An improved ant colony optimization for vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, **196**, 171-176.
- Bolduc, M. C., Laporte, G., Renaud, J. and Boctor, F. F.,** 2010. A tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem with production and demand calendars, *European Journal of Operational Research*, **202**, 122-130.
- Boysen, N. and Bock, S.,** 2011. Scheduling just-in-time part supply for mixed-model assembly lines, *European Journal of Operational Research*, **211**, 15-25.
- Bozer, Y. A. and McGinnis, L. F.,** 1992. Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model, *International Journal of Production Economics*, **28**, 1-19.
- Braglia, M., Gabbrielli, R. and Miconi, D.,** 2001. Material Handling Device Selection in Cellular Manufacturing, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, **10**, 303-315.
- Brandao, J.,** 2011. A deterministic tabu search algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, **195**, 716-728.
- Brauner, N. and Finke, G.** 2001. Optimal moves of the material handling system in a robotic cell, *International Journal Production Economics*, **74**, 269-277.
- Brynzer, H. and Johansson, M. I.,** 1995. Design and performance of kitting and order picking systems, *International Journal of Production Economics*, **41**, 115-125.
- Browne, J., Harhen, J. and Shivnan, J.,** 1996. *Production Management Systems*, Addison-Wesley Publishing, Singapore.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A. and Savelsbergh, 1998.** *Fleet management and logistics* (Editors: Teodor Gabriel Crainic, Gilbert Laporte), Kluwer, Boston.
- Caricato, P., Ghiani, G., Grieco, A. and Musmanno, R.,** 2007. Improved formulation, branch and cut and tabu search heuristic for single loop material flow system design, *European Journal of Operational Research*, **178**, 85-91.
- Chan, F. T. S., Lau, K.W., Chan, P.L.Y. and Choy, K.L.,** 2006. Two-stage approach for machine-part grouping and cell layout problems, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, **22**, 217-238.
- Chan, Y., Carter, W. B. and Burnes, M. D.,** 2001. A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands, *Computers & Operations Research*, **28**, 803-826.

- Chase, R.B., Aquilano, N. J. and Jacobs, F. R.,** 1998. *Production and Operations Management-Manufacturing and Services*, Irwin McGraw-Hill, USA.
- Chen, H. K., Hsueh, C. F. and Chang, M. S.,** 2009. Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products, *Computers & Operations Research*, **36**, 2311-2319.
- Chen, J. F. and Wilhelm, W. E.,** 1993. An evaluation of heuristics for allocating components to kits in small-lot, multi-echelon assembly systems, *International Journal of Production Research*, Vol. **31**, No. 12, 2835-2856.
- Chew, E. P. and Tang, L.C.,** 1999. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse, *European Journal of Operational Research*, **112**, 582-597.
- Chiang, C. P. and Lee, S. D.,** 2004. Joint determination of machine cells and linear intercell layout, *Computers & Operations Research*, **31**, 1603-1619.
- Christmansson, M., Medbo, L., Hansson, G.A., Ohlsson, K., Unge, J., Byström, Möller, T. and Forsman, M.,** 2002. A case study of a principally new way of materials kitting- an evaluation of time consumption and physical workload, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **30**, 49-65.
- Claassen, G.D.H. and Hendriks, T.H.B.,** 2007. An application of special ordered sets to a periodic milk collection problem, *European Journal of Operational Research*, **180**, 754-769.
- Correa, A.I., Langevin, A. and Rousseau L.M.,** 2007. Scheduling and routing of automated guided vehicles: A hybrid approach, *Computers & Operations Research*, **34**, 1688-1707.
- Costa, B., Dias, L. S., Oliveira, J. A. and Pereira G.,** 2008. Simulation as a tool for planning a material delivery system to manufacturing lines, *IEEE*.
- Çatay, B.,** 2010. A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Expert Systems with Applications*, **37**, 6809-6817.
- Çorakçı, M. A.,** 2008. An evaluation of Kitting Systems in Lean Production, *MSc Thesis*, University of Boras, School of Engineering, Boras.
- Daniels, R. L., Rummel, J.L. and Schantz, R.,** 1998. A model for warehouse order picking, *European Journal of Operational Research*, **105**, 1-17.
- Ding, F. Y.,** 1992. Kitting in JIT production: A kitting project at a tractor plant (just-in-time manufacturing at case IH cargo plant), *Institute of Industrial Engineers, IEE*.
- Domingo, R.,** 2007. Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study, *Assembly Automation*, **27/2**, 141-147.
- Dondo, R. G. and Cerda, J.,** 2009. A hybrid local improvement algorithm for large-scale multi-depot vehicle routing problems with time windows, *Computers and Chemical Engineering*, **33**, 513-530.
- Du, T., Wang, F. K. and Lu, P. Y.,** 2007. A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs, *Transportation Research*, **43**, 565-577.

- Drira, A., Pierreval, H. and Hajri-Gabouj, S.,** 2007. Facility Layout Problems: A Survey, *Annual Reviews in Control*, **31**, 255-267.
- Ekşioğlu, B., Vural, A. V. and Reisman, A.,** 2009. The vehicle routing problem: A taxonomic review, *Computers & Industrial Engineering*, **57**, 1472-1483.
- El-Baz, M. A.,** 2004. A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments, *Computers & Industrial Engineering*, **47**, 233-246.
- Erbao, C. and Mingyong, L.,** 2010. The open vehicle routing problem with fuzzy demands, *Expert Systems with Applications*, **37**, 2405-2411.
- Fa-Liang, C., Zeng-xiao, L., Zheng, X. and Dong-dong, L.,** 2007. Research on Order Picking Optimization Problem of Automated Warehouse, *Systems Engineering-Theory&Practice*, **27(2)**, 139-143.
- Filho, E.V.G. and Tiberti, A. J.,** 2006. A group genetic algorithm for the machine cell formation problem, *International Journal of Production Economics*, **102**, 1-21.
- Fonseca, D.J., Uppal, G. and Greene, T.J.,** 2004. A knowledge-based system for conveyor equipment selection, *Expert Systems with Applications*, **26**, 615-623.
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F. and Iori, M.,** 2010. Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints, *European Journal of Operational Research*, **201**, 751-759.
- Frazelle, E.,** 2002. *World-Class Warehousing and Material Handling*, McGraw-Hill, USA, p.148.
- Gajpal, Y. and Abad, P. L.,** 2009. Multi-ant colony system (MACS) for a vehicle routing problem with backhauls, *European Journal of Operational Research*, **196**, 102-117.
- Garcia-Diaz, A. and Smith, J. MacGregor.,** 2008. *Facilities planning and design*, Pearson Prentice Hall, United States of America.
- Gayialis, S. P. and Tatsiopoulos, I. P.,** 2004. Design of an IT driven decision support system for vehicle routing and scheduling, *European Journal of Operational Research*, **152**, 382-398.
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G. and Musmanno, R.,** 2003. Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies, *European Journal of Operational Research*, **151**, 1-11.
- Ghiani, G., Laporte, G. and Musmanno, R.,** 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, John Wiley & Sons, England.
- Ghoseiri, K. and Ghannadpour, S. F.,** 2010. Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm, *Applied Soft Computing*, **10**, 1096-1107.
- Green, J. C., Lee, J. and Kozman T. A.,** 2010. Managing lean manufacturing in material handling operations, *International Journal of Production Research*, **48**, 2975-2993.

- Gu, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L.F.,** 2007. Research on warehouse operation: A comprehensive review, *European Journal of Operational Research*, **177**, 1-21.
- Günther, H. O., Gronalt, M. and Piller F.,** 1996. Component kitting in semi-automated printed circuit board assembly, *International Journal of Production Economics*, **43**, 213-226.
- Hao, Q. and Shen, W.,** 2008. Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, **24**, 635-646.
- Hay, E.J.,** 1988. *The Just In Time Breakthrough, Implementing The New Manufacturing Basics*, John Wiley & Sons Publishing, USA.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F. and Hartl, R. F.,** 2009. A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems, *European Journal of Operational Research*, **195**, 791-802.
- Henderson, R. and Kiran, A. S.,** 1993. Kitting elimination supports Just-In-Time principles.(Study comparing IMED Corp's kitting assembly with simulated direct assembly method), *Institute of Industrial Engineers, IIE*.
- Heragu, S. S.,** 2008. *Facilities Design*, CRC Pressing, USA.
- Hiregoudar, C. and Reddy, B. R.,** 2007. *Facility Planning & Layout Design: An industrial perspective*, Technical Publications Pune, India.
- Hua, S. Y. and Johnson, D. J.,** 2010. Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking, *International Journal of Production Research*, Vol. **48**, No. 3, 779-800.
- Hua, W. and Zhou, C.,** 2008. Clusters and filling-curve-based storage assignment in a circuit board assembly kitting area, *IIE Transactions*, **40**, 569-585.
- Hwang, H. S.,** 2004. Heuristic transporter routing model for manufacturing facility design, *Computers & Industrial Engineering*, **46**, 243-251.
- Hwang, H.S. and Cho, G.S.,** 2006. A performance evaluation model for order picking warehouse design, *Computers & Industrial Engineering*, **51**, 335-342.
- Im, K., Kim, K., Park, T. and Lee, S.,** 2009. Effective vehicle dispatching method minimising the blocking and delivery times in automatic material handling systems of 300 mm semiconductor fabrication, *International Journal of Production Research*, **47**, 3997-4011.
- Ioannou, G.,** 2007. An integrated model and a decomposition-based approach for concurrent layout and material handling system design, *Computers & Industrial Engineering*, **52**, 459-485.
- Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E. G.,** 2009. An evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with route balancing, *European Journal of Operational Research*, **195**, 761-769.
- Jina, J., Bhattacharya A. K. and Walton A. D.,** 1997. Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions, *Logistics Information Management*, **10**, 5-13.

- Joshi, A., Phadnis, S. S., Srihari, K. and Seeniraj, R.,** 2002. Use of simulation to improve the kitting process at an EMS provider's facility, *IEEE*.
- Kalfakakou, R., Katsavounis, S. and Tsouros, K.,** 2003. Minimum number of warehouses for storing simultaneously compatible products, *International Journal of Production Economics*, **81-82**, 559-564.
- Kang, K. H., Lee, B. K. and Lee, Y. H.,** 2008. A heuristic for the vehicle routing problem with due times, *Computers & Industrial Engineering*, **54**, 421-431.
- Kasilingam, R. G.,** 1998. *Logistics and transportation: Design and planning*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Khayat, G.E., Langevin, A. and Riopel, D.,** 2006. Integrated production and material handling scheduling using mathematical programming and constraint programming, *European Journal of Operational Research*, **175**, 1818-1832.
- Kim, K. H. and Kim, H.B.,** 2002. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers, *Transportation Research*, **36**, 821-835.
- Koster, R., Le-Duc, T. and Roodbergen, K.J.,** 2007. Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research*, **182**, 481-501.
- Kulak, O.,** 2005. A decision support system for fuzzy multi attribute selection of material handling equipments, *Expert Systems with Applications*, **29**, 310-319.
- Kulwiec, R. A.,** 1985. *Materials Handling Handbook*, John Wiley & Sons.
- Lai, K. and Cheng, T.C.E.,** 2009. *Just-in-Time Logistics*, Gower Publishing Limited, England.
- Langevin, A. and Riopel, D.,** 2005. *Logistics Systems: Design and Optimization(Edited)*, (Jean-François Cordeau, Michel Gendreau, Alain Hertz, Gilbert Laporte, Jean-Sylvain Sormany), Springer, United States of America, 279-297.
- Lashkari, R.S., Boparai, R. and Paulo, J.,** 2004. Towards an integrated model of operation allocation and material handling selection in cellular manufacturing systems, *International Journal of Production Economics*, **87**, 115-139.
- Lao, H.C., Sim, M. and Teo, K.M.,** 2003. Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles, *European Journal of Operational Research*, **148**, 559-569.
- Le-Duc, T. and Koster, R.M.B.M.,** 2007. Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse, *European Journal of Operational Research*, **176**, 374-388.
- Lee, C.G., Epelman, M.A., White III, C. C. and Bozer, Y.A.,** 2006. A shortest path approach to the multiple-vehicle routing problem with split pick-ups, *Transportation Research*, **40**, 265-284.

- Liker, J. K.**, 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, McGraw-Hill, USA.
- Lu, D. J.**, 1989. *Kanban Just In Time At Toyota*, Çeviren: David J. Lu, Productivity Press, USA.
- Makris, P. A. and Giakoumakis, I. G.**, 2003. k-Interchange heuristic as an optimization procedure for material handling applications, *Applied Mathematical Modelling*, **27**, 345-358.
- Marinakis, Y., Marinaki, M. and Dounias, G.**, 2010. A hybrid particle swarm optimization algorithm for the vehicle routing problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **23**, 463-472.
- Mirhosseyni, S. H. L. and Webb, P.**, 2009. A hybrid fuzzy knowledge-based expert system and genetic algorithm for efficient selection and assignment of material handling equipment, *Expert Systems With Applications*, **36**, 11875-11887.
- Nagy, G. and Salhi, S.**, 2005. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, *European Journal of Operational Research*, **162**, 126-141.
- Nahmias, S.**, 1993. *Production And Operations Analysis*, Irwin Publishing, USA.
- Nishi, T. and Konishi, M.**, 2010. An optimisation model and its effective beam search heuristics for floor-storage warehousing systems, *International Journal of Production Research*, **48**, 1947-1966.
- Ohno, T.**, 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Cambridge MA.
- Önü, S., Tuzkaya, U.R. and Doğaç, B.**, 2008. A particle swarm optimization algorithm for the multiple level warehouse layout design problem, *Computers & Industrial Engineering*, **54**, 783-799.
- Rajagopalan, S. and Heragu, S. S.**, 1997. *Advances In Discrete Material Handling System Design*, Decision Sciences and Engineering Systems Department, USA.
- Ramachandran, S. and Delen, D.**, 2005. Performance analysis of a kitting process in stochastic assembly systems, *Computers & Operations Research*, **32**, 449-463.
- Raman, D., Nagalingam, S.V., Gurd, B.W. and Lin, G.C.I.**, 2008. Quantity of material handling equipment-A queuing theory based approach, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*.
- Rao, A.K. and Rao, M.R.**, 1998. Solution Procedures for sizing of warehouses, *European Journal of Operational Research*, **108**, 16-25.
- Ren, Y., Dessouky, M. and Ordonez, F.**, 2010. The Multi-shift vehicle routing problem with overtime, *Computers & Operations Research*, **37**, 1987-1998.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Houtum, G.J., Mantel, R.J. and Zijm, W.H.M.**, 2000. Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research*, **122**, 515-533.

- Roodbergen, K.J. and Koster, R.,** 2001. Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle, *European Journal of Operational Research*, **133**, 32-43.
- Ruiz, R., Maroto, C. and Alcaraz, J.,** 2004. A decision support system for a real vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, **153**, 593-606.
- Safaei, N., Saidi-Mehrabad, M. and Jabal-Ameli, M.S.,** 2008. A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system, *European Journal of Operational Research*, **185**, 563-592.
- Satoğlu, Ş. I., Durmuşoğlu, M. B. and Doğan, İ.,** 2006. Evaluation of the conversion from central storage to decentralized storages in cellular manufacturing environments using activity based costing, *International Journal of Production Economics*, **103**, 616-632.
- Sayarshad, H. R.,** 2010. Using bees algorithm for material handling equipment planning in manufacturing systems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, **48**, 1009-1018.
- Shirazi, B., Fazlollahtabar, H. and Mahdavi, I.,** 2010. A six sigma based multi-objective optimization for machine grouping control in flexible cellular manufacturing systems with guide-path flexibility, *Advances in Engineering Software*, **41**, 865-873.
- Sinriech, D. and Samakh, E.,** 1999. A genetic approach to the pickup/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems, *Journal of Manufacturing Systems*, **18**, 2, 81-99.
- Sobanski, E. B.,** 2009. Assessing lean warehousing : Development and validation of a lean assessment tool, *Phd. Thesis*, Oklahoma State University.
- Som, P., Wilhelm, W. E. and Disney, R. L.,** 1994. Kitting process in a stochastic assembly system, *Queueing Systems*, **17**, 471-490.
- Stephens, M.P. and Meyers, F.E.,** 2010. *Manufacturing Facilities: Design & Material Handling*, Pearson, USA, page: 274.
- Sujono, S. and Lashkari, R. S.,** 2007. A multi-objective model of operation allocation and material handling system selection in FMS design, *International Journal Production Economics*, **105**, 116-133.
- Sule, D. R.,** 1994. *Manufacturing Facilities*, PWS Publishing Company, Boston.
- Tan, K. C., Lee, L.H., Zhu, Q.L. and Qu, K.,** 2001. Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. *Artificial Intelligence in Engineering*, **15**, 281-295.
- Tang, L.C. and Chew, E.P.,** 1997. Order Picking Systems: Batching and Storage Assignment Strategies, *Computers Industrial Engineering*, **33**, 817-820.
- Tarantilis, C.D., Ioannou, G. and Prastacos, G.,** 2005. Advanced vehicle routing algorithms for complex operations management problems, *Journal of Food Engineering*, **70**, 455-471.

- Tompkins, J. A. and White, J. A.,** 1984. *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, United States of America.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. and Tanchoco, J. M.A.,** 2010. *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, United States of America.
- Toth, P and Vigo, D.,** 2002. *The Vehicle Routing Problem*, SIAM monographs on discrete mathematics and applications, Philadelphia.
- Tuzkaya, G., Gülsün, B., Kahraman, C. and Özgen, D.,** 2010. An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application, *Expert Systems with Applications*, **37**, 2853-2863.
- Url-1** < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Lojistik>>, alındığı tarih 05.06.2010.
- Url-2** <<http://www.businessdictionary.com/definition/milk-run.html>>, alındığı tarih 28.09.2010.
- Url-3** < <http://www.mhia.org/learning/glossary>>, alındığı tarih 04.10.2010.
- Url-4** < <http://konveyor.net/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-5** < <http://www.vinc.com.tr/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-6** < <http://www.atakistif.com.tr/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-7** < <http://www.yaleforklift.org/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-8** < <http://www.automaticguidedvehicle.info/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-9** < <http://www.handling-network.com/tow-tractors-drive-ahead/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Url-10** < <http://www.kamasan.com/>>, alındığı tarih 13.10.2010.
- Url-11** <<http://www.leaninstituut.nl/publications/1106/ToyotaNewMaterialHandlingSystem.pdf>>, alındığı tarih 19.10.2010.
- Vaidyanathan, B. S., Matson, J. O., Miller, D. M. and Matson, J. E.,** 1999. A capacitated vehicle routing problem for just in time delivery, *IIE Transactions*, **31**, 1083-1092.
- Vaziri, A. A. and Laporte, G.,** 2005. Loop Based Facility Planning and material handling, *European Journal of Operational Research*, **164**, 1-11.
- Vaziri, A. A., Laporte, G. and Ortiz, R.,** 2007. Exact and heuristic procedures for the material handling circular flow path design problem, *European Journal of Operational Research*, **176**, 707-726.
- Wu, T. H., Low, C. and Bai, J. W.,** 2002. Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems, *Computers & Operations Research*, **29**, 1393-1415.
- Xiao, J. and Zheng, L.,** 2010. A correlated storage location assignment problem in a single-block-multi aisles warehouse considering BOM information, *International Journal of Production Research*, **48**, 1321-1338.
- Yang, T., Peters, B. A. and Tu, M.,** 2005. Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns, *European Journal of Operational Research*, **164**, 440-455.

- Yu, B., Yang, Z. Z. and Yao, B.Z.,** 2011. A hybrid algorithm for vehicle routing problem with time Windows, *Expert Systems with Applications*, **38**, 435-441.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D. and Kiranoudis, C. T.,** 2009. A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service, *Expert System with Applications*, **36**, 1070-1081.
- Zhang, G.Q. and Lai, K.K.,** 2006. Combining path relinking and genetic algorithms for the multiple level warehouse layout problem, *European Journal of Operational Research*, **169**, 413-425.
- Zhang, M., Savaş, S., Batta, R. and Nagi, R.** 2008. Facility placement with sub-aisle design in an existing layout, *European Journal of Operational Research*, Article in Press.
- Zhao, F., Li, S., Sun, J. and Mei, D.,** 2009. Genetic algorithm for the one-commodity pickup-and-delivery traveling salesman problem, *Computers & Industrial Engineering*, **56**, 1642-1648.
- Zhao, Q. H., Chen, S. and Zang, C. X.,** 2008. Model and algorithm for inventory/routing decision in a three-echelon logistics system. *European Journal of Operational Research*, **191**, 623-635.

EKLER

EK A : İç Lojistik Bileşenlerine İlişkin Genel Literatür Araştırması Sonuçları

EK B : Araç Rotalama Makalelerinin Sınıflandırılması

EK C : Setlemeye İlişkin Makalelerin Sınıflandırılması

EK D : Sezgisele İlişkin Çözüm Tabloları

EK E : Sayısal Örnek Ürün 2 ve Ürün 3'e İlişkin Değer Akış Haritaları

EK F : Uygulama Kapsamında Oluşturulan Olası Rotalar

EK G : Uygulama Ortamında Kullanılan Malzeme Listeleri

EK H : GAMS Optimizasyon Programı Kodları

EK A : İç Lojistik Bileşenlerine İlişkin Genel Literatür Araştırması Sonuçları.

Çizelge A.1 : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- Hücreler arası hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Tang ve Chew (1997)	☑			Büyük miktarlardaki siparişlere ilişkin küçük parçaların manüel olarak toplanmasına ilişkin yığılma ve depo atama stratejilerinin ortaya konulması	Simülasyon
Daniels ve diğ. (1998)	☑			Depo sipariş toplama sistemlerinde eşzamanlı olarak atamalara karar veren ve kararların sıralamasını yapan bir modelin oluşturulması	Gezgin satıcı sezgiseli ve tabu araştırma algoritması
Rao ve Rao (1998)	☑			Depo ekonomik boyutunun belirlenmesi	Dinamik programlama
Berg ve Zijm (1999)	☑			Depolama sistemlerinin tartışılması ve depo yönetim problemlerine ilişkin bir sınıflandırma sunulması.	Kavramsal modelleme
Chew ve Tang (1999)	☑			Dikdörtgen depolama sisteminde genel nesne yerleşim atamalı gezgin zaman modeli sunularak sipariş toplama ve depo atama stratejilerinin analizinin yapılması	Kuyruk modeli ve benzetim
Rouwenhorst ve diğ. (2000)	☑			Depo tasarımı ve kontrol problemlerine ilişkin referans bir sınıflandırma sunulması	Kavramsal modelleme
Braglia ve diğ. (2001)		☑		Hücrel üretim ortamında en uygun malzeme taşıma araçlarının seçilmesi	Analitik hiyerarşi süreci ile nihai tamsayılı doğrusal programlama

Çizelge A.1 (devam) : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- Hücreler arası Hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Brauner ve Finke (2001)		☑		Verilen bir ürünün üretim hızını optimize eden robot hareketlerinin tanımlanması	Önermelerden yola çıkılarak yapılan ispatlamalar
Roodbergen ve Koster (2001)	☑			Paralel koridorlu bir depoda sipariş toplama süresinin enküçüklenmesi	Simülasyon
Kim ve Kim (2002)	☑	☑		Konteynerlerin taşınmasında kullanılacak en iyi transfer vinci sayısı ile en iyi depolama alanı miktarının belirlenmesinde kullanılacak bir metot geliştirilmesi	Deterministik ve stokastik model
Kalfakakou ve diğ. (2003)	☑			Belirli kısıtlar altında farklı ürünlerin eşzamanlı olarak aynı alanda depolanması için gerekli olan minimum depo sayısının belirlenmesi	Grafik teorisi temelli sezgisel
Makris ve Giakoumakis (2003)	☑			Dikdörtgen raflı depo çevrelerinde sipariş toplama prosedürü için bir metot uygulanması	k-değişim sezgiseli
Chiang ve Lee (2004)			☑	Hücre boyutu kısıtı altında hücreler arası akış maliyetinin enküçüklenmesi	Tavlama benzetimi yaklaşımı
El-Baz (2004)			☑	Malzeme taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi	Genetik algoritma
Fonseca ve diğ. (2004)		☑		En uygun konveyörün seçilmesi	Uzman sistem
Lashkari ve diğ. (2004)		☑	☑	Hücresel üretim yapan sistemlerde operasyon atama ve malzeme taşıma sistemleri seçimine ilişkin bütünsel bir yaklaşım sunulması	3 adımdan oluşan bir iteratif yaklaşım

Çizelge A.1 (devam) : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- hücreler arası hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Amato ve diğ.(2005)	☑			Otomatik depolama sisteminin yönetilmesine ilişkin kontrol algoritmaları geliştirilmesi	Renkli zamanlı petri ağ yapısı ve benzetim
Kulak (2005)		☑		En uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi	Aksiyomlarla tasarım ve bulanık mantık tabanlı uzman sistem
Vaziri ve Laporte (2005)	☑			Döngüsel tabanlı tesis planlama ve malzeme taşımaya ilişkin bilgi vermek, değerlendirmelerde bulunmak ve diğer çalışmalara ilham kaynağı olmak	Kavramsal modelleme
Yang ve diğ. (2005)			☑	Malzeme akış yolu tasarımı ve etkin bir yerleşim planına yapılarak malzeme taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi	İki adımlı sezgisel yöntem (Tavlama benzetimi)
Chan ve diğ. (2006)			☑	Hücre içi ve hücreler arası parça hareketlerinin enküçüklenmesi.	Genetik algoritma
Filho ve Tiberti (2006)			☑	Hücre oluşturulmasına yönelik olarak bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.	Grup genetik algoritma
Hwang ve Cho (2006)	☑			Bir depo sisteminden sipariş toplama işleminde taşıyıcıların taşıma mesafesini azaltan bir performans değerlendirme modeli sunulması	Matematiksel model ve benzetim
Khayat ve diğ. (2006)		☑		Birleştirilmiş üretim ve malzeme taşıma çizelgeleme problemlerine ilişkin bütünleşik bir formül sunulması	Kısıt programlama modeli
Satoğlu ve diğ. (2006)	☑			Hücreyel üretim ortamında merkezi depo ile merkezi olmayan deponun karşılaştırılması	Faaliyet tabanlı maliyetlendirme
Zhang ve Lai (2006)	☑			Çoklu seviyeli depo yerleşim problemlerine ilişkin dikey ulaştırma maliyetlerinin enküçüklenmesi	Melez sezgisel

Çizelge A.1 (devam) : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- hücreler arası hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Caricato ve diğ. (2007)		☑		Hücreler arasında malzeme akışını en kısa sürede yerine getirmek için tek döngülü malzeme akış sistem tasarımı yapılması	Dal ve kesme
Correa ve diğ. (2007)		☑		Bir esnek üretim sisteminde otomatik yönlendirmeli araçlara ilişkin dağıtma ve serbest rotalama işlerine yönelik melez bir metot geliştirilmesi	Melez algoritma
Drira ve diğ. (2007)	☑			Tesis yerleşimi konusunda literatürün incelenerek gerekli analizlerin yapılması ve çıkarımlarda bulunulması	Kavramsal modelleme
Fa-Liang ve diğ. (2007)	☑			Otomatik bir depolama sisteminde kapasite sınırları ve çoklu amaca uygun olarak sipariş toplamının optimize edilmesi	Genetik algoritma
Gu ve diğ. (2007)	☑			Akademik çalışanlarla pratik uygulama yapanlar arasında bir köprü oluşturulması amacıyla depo operasyon planlama problemlerine ilişkin geniş bir literatür taraması sunulması.	Kavramsal modelleme
Ioannou (2007)		☑	☑	Malzeme taşıma sisteminin tasarımıyla birlikte atölyedeki kaynak gruplarının yerleşimini ilgilendiren kararlarının alınmasını bütünleştiren bir yöntem geliştirilmesi	Tamsayılı programlama
Koster ve diğ. (2007)	☑			Depo tasarımında yer alan sipariş toplamaya ilişkin literatürdeki çalışmaları inceleyerek mevcut durumu tanımlamak ve araştırmaya açık olan konuların belirlenmesi	Kavramsal modelleme
Le-Duc ve Koster (2007)	☑			Sipariş toplama çalışmalarında parti miktarının bulunması	S şekilli sezgisel
Sujono ve Lashkari (2007)		☑		Esnek üretim ortamında çoklu performans amaçlarıyla operasyon atama ve malzeme taşıma sistemi seçimini eşzamanlı olarak yapan bir metot geliştirilmesi	Çok amaçlı bir model ve e-kısıtı

Çizelge A.1 (devam) : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- hücreler arası hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Vaziri ve diğ. (2007)			☑	Malzeme taşıma problemlerinde yüklü ve boş olan araçların dolaşım sürelerinin enküçüklenmesi	İkili tamsayılı programlama ve çeşitli sezgiseller
Ahi ve diğ. (2008)			☑	Hücreyel üretim ortamında hücre içi makine yerleşimi ve hücre yerleşiminin en iyi şekilde yapılması	TOPSIS
Babiceanu ve Chen (2008)		☑		Dağınık ve merkezi taşıma sistemlerin karşılaştırılması	Simülasyon
Hao ve Shen (2008)		☑	☑	Kanban tabanlı bir malzeme taşıma sisteminde melez benzetim modeli oluşturulması	Melez benzetim modelleme
Raman ve diğ. (2008)		☑		Birimler arasında etkin bir taşıma için malzeme taşıma aracının miktarının belirlenmesi	İki adımlı analitik bir yaklaşım
Önüt ve diğ. (2008)	☑			Yıllık taşıma mâliyetlerini enküçükleyen çoklu seviyeli depo raf yapılandırması tasarlanması	Parçacık sürü eniyilemesi
Safaei ve diğ. (2008)			☑	Dinamik bir çevre içinde hücreyel üretim sistemlerinde hücre içi ve hücreler arası taşıma ve yeniden tasarlanma mâliyetleri, makinenin sabit ve değişken mâliyetlerinin enküçüklenmesi	Melez meta-sezgisel ve tavlama benzetimi
Zhang ve diğ. (2008)			☑	Mevcutta varolan bir yerleşim planına sınırlı boyutlu bir birimin en iyi bir şekilde yerleştirilmesi	Analitik bir algoritma
Ariaifar ve İsmail (2009)			☑	Gerek hücre içi gerekse de hücre dışı malzeme taşıma hareketlerinin enküçüklenmesi	Modifiye edilmiş tavlama benzetimi

Çizelge A.1 (devam) : İç lojistik bileşenlerine ilişkin genel literatür araştırması sonuçları.

Yazarlar	Depo fonksiyonları	Malzeme taşıma aracı	Hücre yerleşimi- hücreler arası hareketler	Amaç	Çözüm yöntemi
Baker ve Canessa (2009)	☑			Depo yeri tasarımına ilişkin bütünsel yöntemlerin irdelenmesi ve alternatif bir tasarım çerçevesi önerilmesi	Kavramsal modelleme
Im ve diğ. (2009)		☑		Malzeme taşıma araçlarının bloklanması ve dağıtım sürelerinin enküçüklenmesi	Modifiye edilmiş Macar Yöntemi.
Mirhosseyni ve Webb (2009)		☑		En uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi	Bulanık uzman sistem ve genetik algoritmadan oluşan iki adımlı yöntem.
Nishi ve Konishi (2010)	☑			Yeniden taşıma gerektiren operasyonların enküçüklenmesi	Işın demeti araştırma metoduna dayalı sezgisel
Sayarshad (2010)		☑		Üretim ortamında gerekli olan malzeme taşıma aracı sayısının belirlenmesi	Arı algoritması
Shirazi ve diğ. (2010)			☑	Döngü içi, döngüler arası malzeme akışı ve hücreler arası taşınan maksimum miktarın enküçüklenmesi	Modifiye edilmiş karınca kolonisi metodu
Tuzkaya ve diğ. (2010)		☑		En uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi	Bulanık analitik ağ süreci ve bulanık öncelik sıralama metodundan oluşan iki adımlı bir yöntem
Xiao ve Zheng (2010)	☑			Depolama raflarına en uygun parça atamasının yapılması	Matematiksel bir model ile çok aşamalı bir sezgisel
Boysen ve Bock (2011)		☑	☑	Karma modellenli montaj hatlarının ihtiyaç duydukları parçaların merkezi bir depodan istasyonlardaki stok miktarını enküçükleyecek şekilde kutu sırası belirlenerek forklifte yüklenmesi	Dinamik programlama ve tavlama benzetimi
TOPLAM	24	19	15		

EK B : Araç Rotalama Makalelerinin Sınıflandırılması.

Çizelge B.1 : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi									Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması	
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Rajagopalan ve Heragu (1997)	☑						Üretim sistemi tasarımı alanındaki literatür eğiliminin gözlemlenmesi ve bu alandaki gelecek araştırmaları tahmin edilmesi. Tesis tasarımı ile malzeme ağ akış tasarımı arasındaki ilişkili alanların belirlenmeye çalışılması										Kavramsal modelleme	☑		
Barbarosoğlu ve Özgür (1999)	☑						Bir elektronik ev eşyası üreticisinin farklı fabrikalarından distribütörlerine yapılan dağıtıma ilişkin bir sezgisel geliştirilmesi					☑							☑	☑
Sinriech ve Samakh (1999)					☑		Segmentlere ayrılmış malzeme taşıma sistemlerinde toplama ve dağıtım istasyonları için etkin bir sezgisel geliştirilmesi.					☑						☑		

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi												
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Vaidyanathan ve diğ. (1999)				☒	☒	Çekme esaslı taşıma	Toplam dolaşım süresinin enküçüklenmesi								☒		☒			
Chan ve diğerleri (2001)			☒				Çok depo, çok araç ortamında stokastik olarak işlenen talepler ile konum rotalama probleminin formüle edilmesi									Formül oluşturulması		☒		
Tan ve diğerleri (2001)		☒					Zaman pencereli araç rotalama problemlerine ilişkin literatürde geçen sezgisellerin detaylarıyla ortaya konulması				☒	☒	☒			Kavramsal modelleme		☒		
Wu ve diğerleri (2002)	☒						Çok depolu yerleşim rotalama problemine ilişkin bir metot sunulması.						☒					☒		

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Ghiani ve diğerleri (2003)			☑				Gerçek zamanlı rotalamaya ilişkin literatürün gözden geçirilmesi ve dikkat çekmeyen bazı konular üzerinde durularak gelecek çalışmalara ışık tutulması									Kavramsal modelleme		☑		
Lau ve diğerleri (2003)		☑					Sınırlı sayıda aracın verildiği zaman pencereli araç rotalama problemine ilişkin bir türün tanıtılması					☑						☑		
Gayialis ve Tatsiopoulos (2004)	☑						Dağıtım ağ kaynaklarının en iyi şekilde kullanılması, taşıma mâliyet indirimi ve müşteri hizmet gelişimi			☑								☑	☑	
Hwang (2004)	☑						Taşıma aracı sayısının enküçüklenmesi							☑		☑				
Ruiz ve diğerleri (2004)	☑						Toplam taşıma mesafesi ve operasyonel mâliyetlerin enküçüklenmesi		☑									☑	☑	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencere li araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer		DİĞER			
Tarantilis ve diğerleri (2005)	☑						Güncel standart ve yaygın olarak kullanılan araç rotalama problemlerine ilişkin meta-sezgisellerin araştırılması										Kavramsal modelleme		☑	
Akıllıoğlu ve diğ. (2006)				☑	☑	Çekme esaslı taşıma	Süreç içi stok miktarı ve taşıma mâliyetlerinin enküçüklenmesi		☑									☑		☑
Lee ve diğerleri (2006)	☑					Ayrıık toplamalı klasik araç rotalama	Her bir araç için hangi tedârikçilerin ziyaret edileceği ile toplanacak yükün boyutunun belirlenerek toplama taşıma mâliyetinin enküçüklenmesi.	☑											☑	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencere li araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Bilici ve diğerleri (2007)				☒	☒	Çekme esaslı taşıma	Toplam çevrim süresinin enküçüklenmesi		☒									☒		☒
Claassen ve Hendriks (2007)						Periyodik araç rotalama	Süt endüstrisine ilişkin olarak süt toplama probleminde yöneylem araştırması tabanlı bir yaklaşım sunulması			☒									☒	
Domingo (2007)						Çekme esaslı taşıma	Süreç içi stok miktarı ve temin sürelerinde azalma									Analitik yöntemler	☒		☒	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi												
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Du ve diğerleri (2007)						Dinamik araç rotalama	Döngüsel seferleri konsolide eden gerçek zamanlı araç dağıtım sistemine ilişkin parametre ayarlamalarının araştırılması									Deneysel tasarım		☒		
Costa ve diğerleri (2008)	☒						Malzeme taşıma için gerekli olan araç sayısının belirlenmesi									Simülasyon	☒		☒	
Kang ve diğerleri (2008)		☒					Araçların ağırlıklı dolaşım süresinin ve aldıkları hizmetteki gecikmenin enküçüklenmesi		☒			☒						☒		

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencere li araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer		DİĞER			
Zhao Q. ve diğerleri (2008)				☑			Depolama ve rotalama probleminin bütünleştirilerek mâliyet enküçükl enmesinin sağlanması									☑			☑	
Ai (2009)					☑		Eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümünde parçacık sürü eniyilemesinin mekanizmasının açıklanması ve önerilen metodun etkinliğinin gösterilmesi									☑			☑	
Bin ve diğerleri (2009)	☑						Araç rotalama problemi için geliştirilmiş bir karınca kolonisi eniyilemesinin uygulanması									☑			☑	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencere li araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer				
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					
Brandao (2009)	☒					☒	Filo büyüklüğü ve karışık araç rotalama problemleri için toplam mâliyetin enküçüklenmesi					☒							☒	
Chen ve diğerleri (2009)		☒					En iyi üretim miktarları, üretime başlama zamanı ve araç rotalarının eşzamanlı olarak belirlenerek tedârikçinin toplam kârının en büyüklenmesi							☒					☒	
Dondo ve Cerda (2009)		☒					Bir araç filosu için önceden belirlenen zaman pencereleri ve bilinen talepler için minimum mâliyetli rotalar oluşturulması		☒					☒					☒	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi										Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller				Diğer					
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez						
Gajpal ve Abad (2009)					☒		Araçlar için toplam dolaşım mesafesinin enküçüklendiği rotaların tasarlanması								☒			☒		
Hemmelmayr ve diğerleri (2009)						Periyodik araç rotalama	Zaman penceresiz periyodik araç rotalama problemleri için yeni bir sezgisel önerilmesi								☒			☒		
Jozefowicz ve diğerleri (2009)	☒						Rotaların toplam uzunluğunun enküçüklenmesi ve rota dengesinin sağlanması								☒			☒		

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi									Fabrika içi	Fabrika dışı	Gerçek sistem uygulaması		
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer					
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer					Diğer	
Zachariadis ve diğerleri (2009)					☒		Müşteri popülasyonunun hem dağıtım hem de toplama ihtiyaçlarını karşılayacak en iyi rota kümelerinin belirlenmesi					☒		☒						☒	
Zhao F. ve diğerleri (2009)					☒		Toplama taşımanın enküçüklenmesi				☒									☒	
Bolduc ve diğerleri (2010)	☒					Ayrı dağıtımli klasik araç rotalama	Üretim ve talep takvimli bölünmüş dağıtımli araç rotalama problemi için tabu arama sezgiseli önerilmesi		☒			☒								☒	
Çatay (2010)					☒		Toplam ulaşım mesafesinin enküçüklenmesi								☒					☒	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi												
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller									
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez		Diğer	DiĞER			
Erbao ve Mingyong (2010)						Açık araç rotalama	Toplam mesafenin düşürülmesi								☒				☒	
Fuellerer ve diğerleri (2010)	☒					Yüklemeyle bütünleşik	Uygun yükleme ve rotalama yapılarak toplam taşıma mâliyetlerinin enküçüklenmesi									Karınca kolonisi			☒	
Ghoseiri ve Ghannadpour (2010)		☒					Araç sayısının azaltılması ve toplam dolaşım mesafesinin kısaltılması					☒			☒				☒	
Marinakis ve diğerleri (2010)	☒						Toplam taşıma mâliyetinin enküçüklenmesi								☒				☒	

Çizelge B.1 (devam) : Araç rotalama makalelerinin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı						Amaç	Çözüm Yöntemi											
	Klasik araç rotalama	Zaman pencereli araç rotalama	Stokastik araç rotalama	Envanter rotalama	Dağıtım toplamalı araç rotalama	Diğer		En iyi			Sezgiseller					Diğer			
								Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer				
Ren ve diğerleri (2010)		☑				Çok vardiyalı ve fazla mesaili	Araç sayısının ve toplam mâliyetin enküçüklenmesi								☑			☑	☑
Brandao (2011)	☑					Heterojen yapıda araçların olması	Farklı türdeki araçlara müşterilerin atanması ve dolaşım sırasının belirlenerek toplam mâliyetin enküçüklenmesi					☑						☑	
Yu ve diğerleri (2011)		☑					Toplam taşıma mesafesinin enküçüklenmesi					☑		☑				☑	
TOPLAM	16	8	2	4	9	14		1	6	-	4	9	2	7	12	8	8	33	8

EK C : Setlemeye İlişkin Makalelerin Sınıflandırılması.

Çizelge C.1 : Setlemeye ilişkin makalelerin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı		Amaç	Çözüm Yöntemi										Uygulama	
	Hat kenarında stok ile montaj	Set kullanılarak montaj		En iyi			Sezgiseller					Diğer	Gerçek uygulama	Sayısal örnek	
				Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer				
Bozer ve McGinnis (1992)	☑	☑	Setleme ile hat kenarında stoklama arasında tercih edilme aşamasında kullanılabilecek performans göstergelerinin belirlenmesi bunlara ilişkin bir model oluşturulması										Karşılaştırma modeli		☑
Ding (1992)		☑	Bir traktör fabrikasında setleme sistemi uygulayarak üretkenlik, alan kullanımı ve süreç içi stok miktarı açısından iyileştirmeler sağlanması										Kavramsal modelleme	☑	
Chen ve Wilhelm (1993)		☑	Küçük partili, çok aşamalı montaj sistemlerinde işin erken yapılması, işin geciktirilmesi ve süreç içi stok bulundurma maliyetinin enküçüklenmesine yönelik bileşenleri setlere atayan bir sezgisel geliştirilmesi.									☑			☑
Henderson ve Kiran (1993)	☑	☑	Hat kenarında yükleme sisteminin stok düzeyi, yayılım, malzeme konteynerleri ve toplama ve dağıtımdaki işgücü açısından setleme sistemiyle karşılaştırılması.										Simülasyonla karşılaştırma	☑	

Çizelge C.1 (devam) : Setlemeye ilişkin makalelerin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı		Amaç	Çözüm Yöntemi									Uygulama		
	Hat kenarında stok ile montaj	Set kullanılarak montaj		En iyi			Sezgiseller						Diğer	Gerçek uygulama	Sayısal örnek
				Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer				
Som ve diğerleri (1994)		☑	Setleme sistemini stokastik montaj sistemi şeklinde ele alınması ve montaj modellerindeki kuyruk teorisi kapsamında analizlerde bulunulması									Kuyruk teorisi		☑	
Brynzer ve Johansson (1995)		☑	Setleme sistemlerinin tasarımının sipariş toplama aktivitesinin yeri, iş organizasyonu, toplama metodu, bilgi sistemi ve donanım açısından analiz edilmesi ve çıkarımlarda bulunulması.									Kavramsal modelleme		☑	
Günther ve diğerleri (1996)		☑	Set bileşenlerinin çeşitli kısıtlar altında en iyi bir şekilde atanarak, kullanılan montaj istasyon sayısının enküçüklenmesine yönelik bir sezgisel geliştirilmesi		☑						☑			☑	
Christmansson ve diğerleri (2002)		☑	Zaman tüketimi ve fiziksel iş yükü açısından klasik olan toplayıcının malzemeye gittiği sistem ile malzemenin toplayıcıya gittiği sistemin karşılaştırılması									Karşılaştırmalı analiz	☑		

Çizelge C.1 (devam) : Setlemeye ilişkin makalelerin sınıflandırılması.

Yazarlar (Yıl)	Problem Sınıfı		Amaç	Çözüm Yöntemi										Uygulama	
	Hat kenarında stok ile montaj	Set kullanarak montaj		En iyi			Sezgiseller						Diğer	Gerçek uygulama	Sayısal örnek
				Dinamik programlama	Tamsayılı programlama	Diğer	Genetik algoritma	Tabu araştırması	Tavlama benzetimi	Melez	Diğer	Diğer			
Joshi ve diğerleri (2002)		☑	Setleme sürecinde iyileştirmeler yapılması										6 sigma ve simülasyon	☑	
Ramachandran ve Delen (2005)		☑	Stokastik koşullar altında çalışan montaj sistemlerinin performansına setleme operasyonlarının etkilerinin ölçülmesi										Kuyruk teorisi		☑
Hua ve Zhou (2008)		☑	Set oluşturulmadan önce seti oluşturan bileşenlerin stok alanından toplanmasında kümelendirme ve eğri tabanlı depo atama kullanarak dolaşım mesafelerinin kısaltılması.				☑					☑			☑
Hua ve Johnson (2010)	☑	☑	Hat kenarında stoklama ile setleme arasında tercih yapılmasında etkin olan ölçütlerin belirlenmesi										Kavramsal modelleme	☑	
TOPLAM	3	12	-	-	1	-	1	-	-	-	3	9	5	7	

EK D : Sezgisel İlişkin Çözüm Tabloları.

Çizelge D.1 : t=8 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1				1					1						8
2																					
3	1						1	1			1										8
4	1		1	1	1								1	1							7,94
5	1											1				1	1	1	1		7,62
6																				1	4,68
7																					
8																					
9	1	1							1												7,84
TOPLAM MALİYET = 401,93 TL																					

Çizelge D.2 : t=10 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1													9,5
2																					
3																					
4	1			1	1					1	1		1	1							9,8
5	1		1						1						1			1			9,9
6	1																			1	4,8
7																					
8																					
9	1	1										1				1	1		1		9,85
TOPLAM MALİYET = 338,42 TL																					

Çizelge D.3 : t=12 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1			1							1			11,99
2																					
3																					
4	1			1	1					1			1	1	1				1		11,99
5	1											1				1	1			1	8,61
6																					
7																					
8																					
9	1	1	1						1												11,53
TOPLAM MALİYET = 277,91 TL																					

Çizelge D.4 : t=14 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1		1											13,835
2																					
3																					
4	1			1	1				1				1	1	1						13,73
5	1	1	1								1	1						1	1		13,65
6																					
7																					
8																					
9	1															1	1			1	7,375
TOPLAM MALİYET = 281,02 TL																					

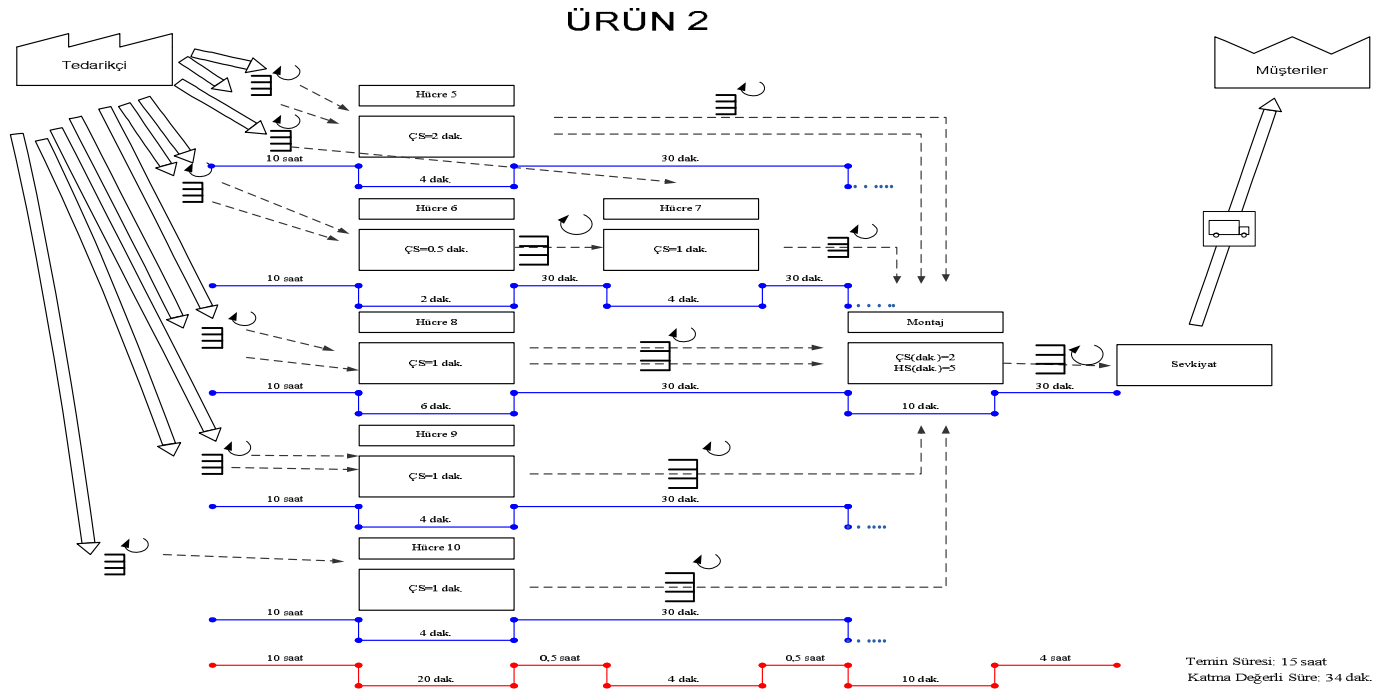
Çizelge D.5 : t=16 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1		1											15,14
2																					
3																					
4	1			1	1				1				1	1	1			1			15,98
5	1	1	1								1	1							1	1	15
6																					
7																					
8																					
9	1															1	1				6,94
TOPLAM MALİYET = 284,49 TL																					

Çizelge D.6 : t=18 zaman dilimi için elde edilen çözüm.

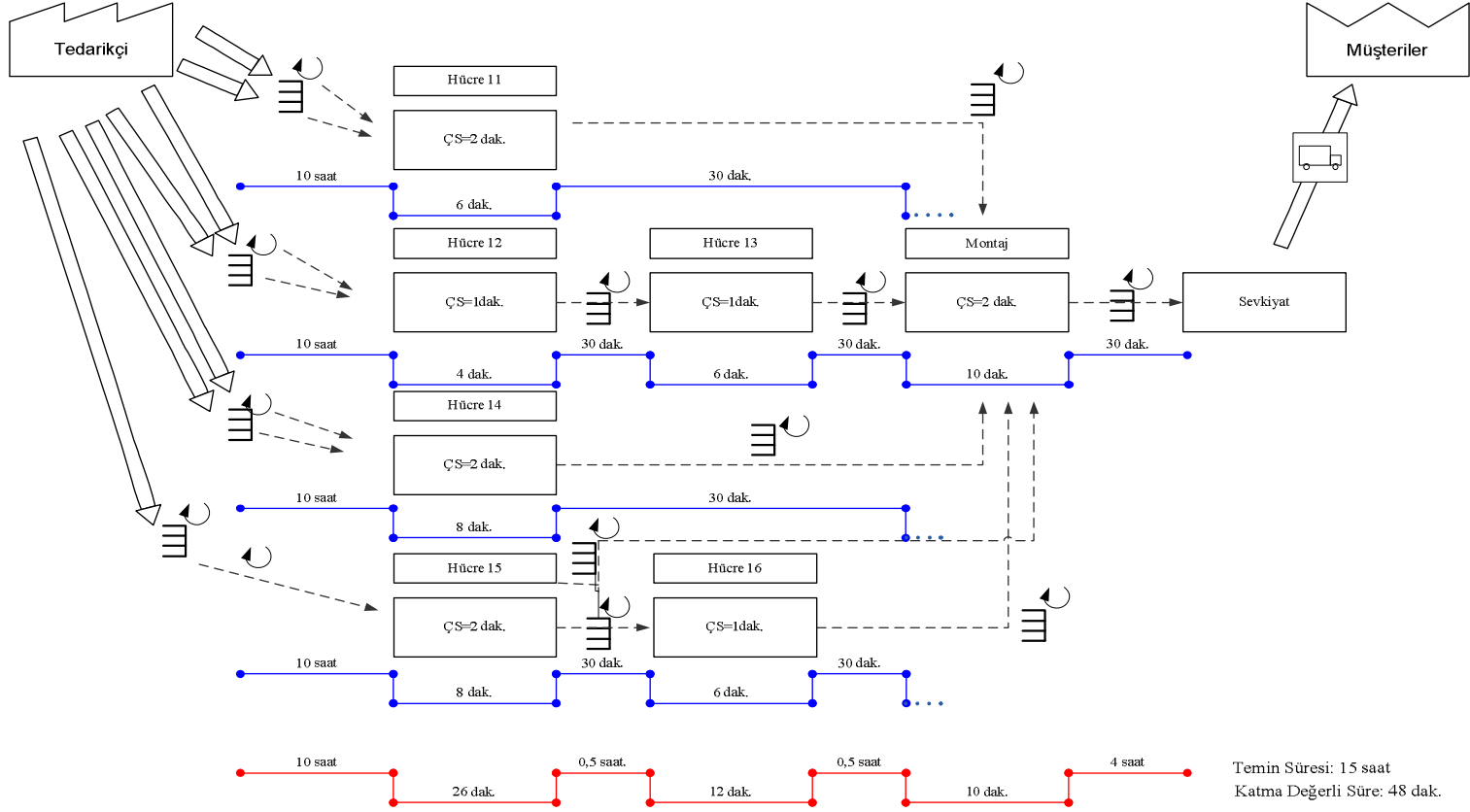
ROTA	Ham.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	Ü1	Ü2	Ü3	Süre
1	1					1	1	1		1	1										17,66
2																					
3																					
4	1			1	1				1				1	1	1			1			17,39
5	1																			1	5,28
6																					
7																					
8																					
9	1	1	1									1				1	1		1		17,2
TOPLAM MALİYET = 288,22 TL																					

EK E : Sayısal Örnek Ürün 2 ve Ürün 3'e İlişkin Değer Akış Haritaları.



Şekil E.1 : Sayısal örnek ürün 2'ye ilişkin gelecek durum değer akışı.

ÜRÜN 3

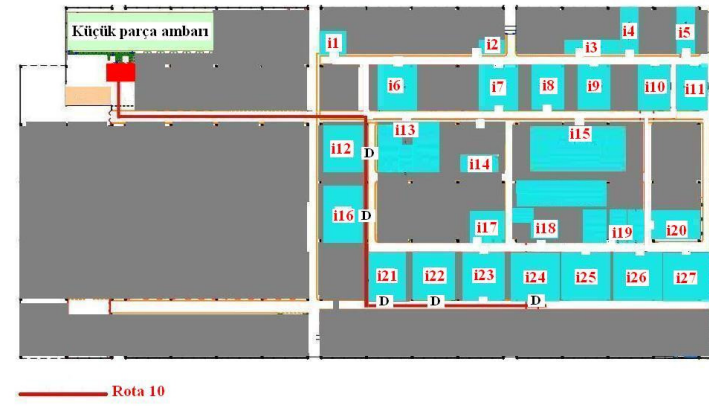


Şekil E.2 : Sayısal örnek ürün 3'e ilişkin gelecek durum değer akışı.

EK F : Uygulama Kapsamında Oluşturulan Olası Rotalar.



Şekil F.1 : Olası rotalar rota 5, rota 6, rota 7 ve rota 8'e ilişkin gösterim.



Şekil F.2 : Olası rotalar rota 9 ve rota 10'a ilişkin gösterim.

EK G : Uygulama Ortamında Kullanılan Malzeme Listeleri.

Çizelge G.1 : Uygulama ortamında istasyonlarda kullanılan sarf malzemeleri.

No	İstasyon	Kullanılan parçalar
1	İstasyon 1	Balans ağırlığı, köşe ventil.
2	İstasyon 2	Hortum, içi boş cıvata, kelepçe, somun, rakor düz boru, dağıtıcı ventil, lastik bant, mesafe burcu, kamalı muy, pim, dengeleme kabı, pul, boru kelepçesi, yapıştırıcı, test bağlantısı, debriyaj verici silindiri, çubuk, dayama takozu, geri çekme yayı, vidalı rakor, izolasyon bandı, segman, vana, basınç vericisi, basınç şalteri, contalama yüksüğü.
3	İstasyon 3	Yapışkan bandı, anten kablosu, elektrik tesisatı, ZB diyot modül, bağlantı çerçevesi, sigorta modülü, yavaşlatma diyonu, akü ayırma şalteri, sabitleme çerçevesi, ara kablo, dübel, plaka, tutucu köşebent, kablo bağı, iç aydınlatma, hoparlör, kablo demeti, ısı makaron, elektronik röle, priz gövdesi, soket gövdesi, dişi fiş yuvası, dişi fiş soketi, koruyucu kapak, erkek fiş soketi, lastik gromet, izolasyon hortumu, mühür teli, kılıf, kondansatör, direnç, arıza bilgi kayıt cihazı, motor odası lambası, kumanda cihazı, üstlük, klemens, şarj prizi, balata ikaz rölesi, transformatör, elektrik kablosu, mikrofon, sigorta yuvası.
4	İstasyon 4	Yol sensörü, tutucu, lastik yatak, aşırı akım vanası, açma kapama ventili, rakor, hava filtresi, çek valf, mesafe sensörü, rakorlu boru, tapa, izolasyon, mesafe burcu, pnömatik ventil, conta, titreşim takozu, su tahliye ventili, nozul, hortum, basınç şalteri, kontra somun.
5	İstasyon 5	Somun, takviye burç, adaptör, vida sabitleştirici boya, kelepçe, silindir başlı cıvata, bağlantı rakoru, izolasyon hortumu, kablo bağı, mesafe burcu, yatak kulağı.
6	İstasyon 6	Somun, vida sabitleştirici boya, baskı yüksüğü, zb yaklaşım şalteri, ayar pulu, tutucu yay, gupilya, mesafe burcu, hortum, lastik yatak, yağ borusu sacı, lastik dirsek, yatak plakası, bağlantı kelepçesi, flanşlı conta, siper sacı.
7	İstasyon 7	Basıncılı hava hortumu, römork şildi, cıvata, gerdirme bandı, vida sabitleştirici boya, Lu mafsalsal, contalama profili, yakıt hortumu, kelepçe, tutucu plaka, emniyet somunu, hava tüpü, yaylı somun, kol, gergi bandı, kaplama sacı, takoz.

Çizelge G.1 (dev.) : Uygulama ortamında istasyonlarda kullanılan sarf malzemeleri.

No	İstasyon	Kullanılan parçalar
8	İstasyon 8	Vida sabitleştirici boya, elektrik kablosu, plaka/ayna tespit, lastik gromet, yaylı somun, fiş başlığı, segman, uçluk, ampul, kılavuz parça, gerdirmе parçası, hareketli makara, aku ayırma şalteri, elektrikli korna, anten kablosu, pim sıkıştırma çitası, sinyal lambası, sensör, sıcaklık vericisi, kelepçe, ikaz düdüğü, bağlantı rakoru, silecek su pompası, izolasyon şeriti, izole bant, toz kapağı, elektrikli kumanda cihazı.
9	İstasyon 9	Kelepçe, cıvata, yapışkan bant, tapa, tutucu, burç, vana, lastik yatak, yaylı somun, titreşim takozu, kablo geçiş grometi, rakor, test bağlantısı, gerdirmе pulu.
10	İstasyon 10	Profil, gerdirmе pulu, klipsli somun, yaylı somun, ayar pulu, kilit dili, köşebent, kılıf, izolasyon maddesi, tutucu/amortisör, sabitleme plakası, segman, diş açılmış plaka, tutucu yay, mesafe parçası, kapak, perçin, plastik profil.
11	İstasyon 11	Tutucu, bugi bağlantısı, gromet, koltuk altı ısıtma, fren hortumu, conta, magnet ventil, koruyucu kafes, rakor, kelepçe, küre bas, emniyet sacı, pul, manşon.
12	İstasyon 12	Plaka, perçin, contalama bandı, kapak, gerdirmе parçası, kağıt bant, izolasyon kapağı, kavrama parçası, dübel, lastik gromet, ikaz düdüğü, ampul, klipsli somun, sinyal lambası, yaylı somun, burç, kesici cıvata, dişi fiş, kilit dil.
13	İstasyon 13	Halka, bağlantı rakoru, emniyet ventili, vidalı rakor, t-rakor, cıvata, tutucu, basınçlı hava hortumu, sabitleme köşebendi, kovan, hava emiş hortumu, yüksük, mesafe pulu, boru kelepçesi, kayış kasnak, tapa, yağ doldurma ağzı, koruyucu kafes, yapıştırıcı, yaylı somun, emiş hortumu, çiftli boru kelepçesi, mafsallı kafa, iki delikli mühür, tespit köşebendi, izole bant mühür, hava emiş kapağı, yaylı pul, şasi bandı, formlu hortum, gergi plakası, redüktör, mafsal, basınç şalteri, baskılı şalter, merkezleme pimi, silindirik pim, çift yollu valf, köşe rakor, yakıt hortumu, buton, imdat valfi, lastik takoz, su ventili.
14	İstasyon 14	Cıvata, gromet, küresel vana, hortum bağlantısı, hortum rakoru, somun, yapışkan bant, çerçeve parçası monitör, geçmeli rakor, kelepçe, filtre, çekvalf, küllük, plastik dübel, imdat çekici, dijital saat, iç gösterge, sünger profil, takviye ara parçası, gerdirmе kolu.
15	İstasyon 15	Rakor, gromet, izole bant, kablo bağı, somun, kesici yüksük, spiral yay, kablo tanıma bandı, lehim yüksüğü, fiş, flanş, gümüş kaynak boraksı, havalandırma borusu, konik burç, vana.

Çizelge G.1 (dev.) : Uygulama ortamında istasyonlarda kullanılan sarf malzemeleri.

No	İstasyon	Kullanılan parçalar
16	İstasyon 16	Kör perçin, somun vidası, kilitli somun, tutucu ray, ızgara, emniyet pulu, kablo tutucusu, motor, kelepçe, şerit, menteşe, perçin, havalandırma kafesi, hortum, yaylı somun, ahşap vidası, lastik gromet, sac vidası, altlık, segman, teleskop, boru bileziği, mandal, tutamak, çubuk, plaka, tesbit köşebendi, sabitleme rayı, sağanlık, ısı algılayıcı, dışı fiş yuvası.
17	İstasyon 17	Sabitlenme rayı, cıvata, takviye, somun vidası, tutamak, amortisör, tesbitleme bileziği, altlık, hava kanalı, izolasyon, gerdirme kilidi, kaplama, somun, rozet, tutucu, perçin, baskı pimi, köşe bent, sızdırmazlık lastiği, kablo bağı, altlık pul, soket.
18	İstasyon 18	Contalama bandı, motor merkezi kilit, perçin, cıvata, somun vidası, adaptör, kol, yuva, kamalı muylu, çekme teli, kaplama, sıcak koruması, tampon, tesbitleme kancası, kumanda çubuğu, yapıştırıcı bant, emniyet pulu, yassı klips, kılavuz, kapsul, kol kaplaması, kollu yatak, konsol, koruyucu kapak, kapama parçası, birleştirme parçası, taban yataklaması, elektrik kablosu, bağlantı plakası, kaplama, şalter, iç aydınlatma lambası, hoparlör, tapa, dübel, yapışkan, elektronik ısıtma cihazı, elektronik klima otomatığı, yay, ikaz cihazı, ikaz ışığı, termostat, menteşe, ışıklı cihaz, sürgü, tutucu, kelepçe, sürgü, pul, nozul, çita, üstlük, sabitleme düzeneği, taşıyıcı boru, bağlantı köşebenti, sünger şerit, lamba gövdesi, mesafe sensörü, yaylı somun, ayırma yüksüğü, sis farı kablo kelepçesi, dengeleme yüksüğü, flaşör lambası, conta.
19	İstasyon 19	Cıvata, köşebent, soket iki kutuplu, elektronik kapı kumanda cihazı, manyetik şalter, takviye, mesafe parçası, preslenmiş somun, emniyet pulu, yönlendirici, kaldırma rayı, imdat valfi, bağlantı tapası, dayama parçası, mıknaş, segman, kama, mikro şalter, rakor, kafes somun, çek valf, susturucu, perçin, lastik plaka, yapıştırıcı bant, kılavuz pim, kablo demeti, kapı kumandası, kilit, pvc profil, kaplama, tutamak, kapı kolu, sünger, pim, kapı silindir kılavuzu.
20	İstasyon 20	Ayar pulu, ventil uzatması, vida sabitleştirici boya, koruyucu kapak, subap kapağı.
21	İstasyon 21	Cıvata, somun, köşebent, elbise askısı, gerdirme pimi, sünger şeridi, kaplama alt ve üst üre tankları, tavan lambası, hareket önleme kilidi, gromet, mesafe burcu, hava çıkışı, ışık bandı, kapama parçası, tutucu, çıtçırt karşılığı, kilit dili, izole bant, direksiyon kilidi, lastik plaka, formlu parça, kaplama, sızdırmazlık bandı, köpük maddesi.
22	İstasyon 22	Yapışkan bant, mesafe parçası, kapama kapağı, tutucu, yıldız, burç, altlık pulu, ara parçası, imdat çekici, mandal, yağmur çıtası, somun, takviye ön.

Çizelge G.1 (dev.) : Uygulama ortamında istasyonlarda kullanılan sarf malzemeleri.

No	İstasyon	Kullanılan parçalar
23	İstasyon 23	Somun vidası, perçin somun, rondela, tutucu, arka tavan kaplama, bakım kapağı, kanca, burç, kılavuz, tesbitleme köşe benti, sifon, kelepçe, rakor, bağlantı parçası, emniyet pulu, mesafe kovani, titreşim giderici, takoz, çerçeve, elbise askısı, altlık pul, hava yönlendirme parçası, klips, şerit dar, ikaz cihazı, plastik dubel, kilit dili, düz bağlama profili, perde çubuğu.
24	İstasyon 24	Düz yuvarlak cıvata, tutucu, yapıştırıcı, altlık, plaka, sızdırmazlık lastiği, kaplama, kızak, mesafe parçası, ahşap vidası, kilit yuvası, ikaz lambası şalteri, kumanda cihazı, menteşe.
25	İstasyon 25	Büton, duman dedektörü, ahşap vidası, elektronik aç sensörü, kablo bağı, baskı şalteri, kablo demeti kapı kanadı, pozisyon lambası, kablo tutucusu, iç lamba, altlık, etiket, renkli halka, akü ayırma şalteri, kuyruk lambası, pozisyon halkası, izolasyon kapağı, kavrama parçası, kontak burcu, burç gövdesi, sonlandırma direnci, kapama kapağı, pozisyon fren lambaları, tavan lambası, konuşma donanımı, lastik profil, ikaz düdüğü, dübel, ışık dedektörü.
26	İstasyon 26	Somun vidası, düz yuvarlak cıvata, gerdirm pulu, boru kelepçesi, koruyucu kafes, klipsli somun, sac vidası, köşe rakor, sıcaklık sensörü, tutucu, kapak, hortum kelepçesi, titreşim takozu, poliüretan köpük, toz tahliye ventili, emniyet somunu.
27	İstasyon 27	Lastik profil, çöp torbası, kumanda teli, pul, menteşe, cıvata, kilitleme, bağlantı plakası, vidalı pim, tespit köşebenti, klips, somun.

EK H : GAMS Optimizasyon Programı Kodları.

Program kodlarında parametrelerin tanımlandığı kısım ve kodlarda benzer mantıkla ilerleyen aşamaların tamamı, işlem fazlalığı nedeniyle verilmemiştir.

GENEL ATAMA, TEK ROTALI, FARKLI ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

```
maliyet .. mal =e= sum(r, sum(i, d(i,r)* w(i)*f/2))+ sum(r, sum(i, s(i,r)*w(i)*f)) +
sum(t,sum(r, c(r)*z(t,r)*(8*60/((tt(t))*2))))+ sum(r, aracmaliyet * rota(r));
snokta(i) .. sum(r, x(i,r)) =e= 1 ;
aracsecme1(r) .. M*rota(r) =g= sum(i,x(i,r)) ;
aracsecme2(r) .. rota(r) =e= sum(t,z(t,r)) ;
aracsecme3(i,r) .. M*rota(r)=g= s(i,r);
aracsecme4(i,r) .. M*rota(r)=g= l(i,r);
aracsecme5(i,r) .. M*rota(r)=g= d(i,r);
aracsinirlandirma .. sum(r,rota(r)) != aracsayi ;
atamayok1 .. x("sn50","r1")+x("sn51","r1")+x("sn52","r1")+x("sn53","r1")=e=0 ;
(Benzer şekilde atamayok9'a kadar ilerler.)
atamayok9 .. x("sn35","r9")+x("sn36","r9")+x("sn37","r9")+
x("sn38","r9")+x("sn39","r9")+x("sn40","r9")+x("sn41","r9")+x("sn42","r9")+
x("sn43","r9")+x("sn44","r9")+x("sn45","r9")+x("sn46","r9")+x("sn47","r9")+ x("sn48","r9")+x("sn49","r9")+
x("sn54","r9")+x("sn55","r9")+x("sn56","r9")+x("sn57","r9")+x("sn58","r9")+
x("sn62","r9")+x("sn63","r9")+x("sn64","r9")+x("sn65","r9")+x("sn66","r9")+
x("sn67","r9")+x("sn68","r9")+x("sn69","r9")=e= 0 ;
denge1(r).. x("sn1",r) =e= x("sn26",r);
(Benzer şekilde denge49'a kadar ilerler.)
denge49(r).. x("sn95",r) =e= x("sn98",r);
istdenge1(r) .. y("a2",r) =e= y("a3",r);
(Benzer şekilde istdenge16(r)'ye kadar ilerler.)
guvstok(i,r) .. M*x(i,r)=g= s(i,r);
indbind(i,r) .. M*x(i,r)=g= l(i,r);
toptalep(i,r) .. M*x(i,r)=g= d(i,r);
topindbind(i,r) .. l(i,r) =e= d(i,r)* yukbos(i);
talepcev(i,r) .. d(i,r)+M*(1-x(i,r)) =g= (sum(j,l(j,r))+ sure(r)+aracbos(r))*stoktalep(i);
guvcev(i,r) .. s(i,r) =e= d(i,r)*p;
hacimkisit1 .. hacim("a1") =g=
sum(r,(d("sn1",r)+s("sn1",r))*v("sn1")+ (d("sn2",r)+s("sn2",r))*v("sn2")+ (d("sn3",r)+s("sn3",r))*v("sn3")+ (d("sn4",r)+s("sn4",r))*v("sn4")+ (d("sn5",r)+s("sn5",r))*v("sn5")+ (d("sn6",r)+s("sn6",r))*v("sn6")+ (d("sn7",r)+s("sn7",r))*v("sn7")+ (d("sn8",r)+s("sn8",r))*v("sn8")+ (d("sn9",r)+s("sn9",r))*v("sn9")+ (d("sn10",r)+s("sn10",r))*v("sn10")+ (d("sn11",r)+s("sn11",r))*v("sn11")+ (d("sn12",r)+s("sn12",r))*v("sn12")+ (d("sn13",r)+s("sn13",r))*v("sn13")+ (d("sn14",r)+s("sn14",r))*v("sn14")+ (d("sn15",r)+s("sn15",r))*v("sn15")+ (d("sn16",r)+s("sn16",r))*v("sn16")+ (d("sn17",r)+s("sn17",r))*v("sn17")+ (d("sn18",r)+s("sn18",r))*v("sn18")+ (d("sn19",r)+s("sn19",r))*v("sn19")+ (d("sn20",r)+s("sn20",r))*v("sn20")+ (d("sn21",r)+s("sn21",r))*v("sn21")+ (d("sn22",r)+s("sn22",r))*v("sn22")+ (d("sn23",r)+s("sn23",r))*v("sn23")+ (d("sn24",r)+s("sn24",r))*v("sn24")+ (d("sn25",r)+s("sn25",r))*v("sn25"));
(Benzer şekilde hacimkisit36'ya kadar ilerler.)
hacimkisit36 .. hacim("a36") =g=
sum(r,(d("sn96",r)+s("sn96",r))*v("sn96")+ (d("sn97",r)+s("sn97",r))*v("sn97")+ (d("sn98",r)+s("sn98",r))*v("sn98"));
stokalaniatama(ab).. sum(r, y(ab,r)) =e= 1;
stokalanikisit1(r) .. M*y("a2",r) =g= x("sn26",r)+x("sn27",r)+x("sn28",r);
(Benzer şekilde stokalanikisit32(r)'ye kadar ilerler.)
stokalanikisit32(r) .. M*y("a33",r) =g= x("sn75",r);
cevkisit1(r,t) .. (2*tt(t)-M*(1-z(t,r))) != araccev(r);
cevkisit2(r,t) .. (2*tt(t+1)+M*(1-z(t,r)))=g= araccev(r);
cevkisit3(r).. sum(t,z(t,r)) != 1 ;
cevkisit4 .. sum(r,rota(r)) =e= sum(r, sum(t,z(t,r)));
araccevrim(r)..araccev(r) =e= sum(i,l(i,r))+ sure(r)*rota(r)+aracbos(r);
aracbosta(r)..aracbos(r) != 240 ;
rotazaman(r,t) .. M*rota(r) =g= z(t,r) ;
aracbosta2(r) .. M*rota(r) =g= aracbos(r);
arackap1(ss1) .. sum(s1$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, siral(s1,i)*d(i,"r1")*v(i)*isaret(i))) != kap("r1");
(Benzer şekilde arackap9(ss9)'ye kadar ilerler.)
arackap9(ss9) .. sum(s9$ (ORD(s9) LE ORD(ss9)), sum(i, siras9(s9,i)*d(i,"r9")*v(i)*isaret(i))) != kap("r9");
model senaryo1 /all/ ;
```

solve senaryo1 using mip minimizing mal;
display s.1, d.1, l.1, x.1 ;

GENEL ATAMA, TEK ROTALI, EŞİT ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

Genel atama, tek rotalı, farklı zamanlı durumdaki kodlara ilaveten aşağıdaki kısıtların eklenmesinden oluşur.

esitzaman1(t).. sum(r, z(t,r)) =/= M*vv(t);
esitzaman2(t).. sum(r,rota(r))-sum(r,z(t,r)) =/= M*(1-vv(t));

GENEL ATAMA, ÇOK ROTALI, FARKLI ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

mâliyet .. mal =e= sum(v, arac(v));
snokta(i) .. sum(v, sum(r, x(i,v,r))) =e= 1 ;
aracsecme1(v,r) .. M*aracrota(v,r) =g= sum(i,x(i,v,r)) ;
aracsecme3(i,v,r) .. M*aracrota(v,r)=g= s(i,v,r);
aracsecme4(i,v,r) .. M*aracrota(v,r)=g= l(i,v,r);
aracsecme5(i,v,r) .. M*aracrota(v,r)=g= d(i,v,r);
aracsinirlendirme .. sum(v,arac(v)) =/= aracsayi ;
atamayok1(v) .. x("sn50",v,"r1")+x("sn51",v,"r1")+x("sn52",v,"r1")+x("sn53",v,"r1")=e=0 ;
(Benzer şekilde atamayok9(v)'ye kadar ilerler.)
atamayok9(v) .. x("sn35",v,"r9")+x("sn36",v,"r9")+x("sn37",v,"r9")+
x("sn38",v,"r9")+x("sn39",v,"r9")+x("sn40",v,"r9")+x("sn41",v,"r9")+x("sn42",v,"r9")+
x("sn43",v,"r9")+x("sn44",v,"r9")+x("sn45",v,"r9")+x("sn46",v,"r9")+x("sn47",v,"r9")+
x("sn48",v,"r9")+x("sn49",v,"r9")+
x("sn54",v,"r9")+x("sn55",v,"r9")+x("sn56",v,"r9")+x("sn57",v,"r9")+x("sn58",v,"r9")+
x("sn62",v,"r9")+x("sn63",v,"r9")+x("sn64",v,"r9")+x("sn65",v,"r9")+x("sn66",v,"r9")+
x("sn67",v,"r9")+x("sn68",v,"r9")+x("sn69",v,"r9")=e= 0 ;
denge1(v,r).. x("sn1",v,r) =e= x("sn26",v,r);
(Benzer şekilde denge49(v,r)'ye kadar ilerler.)
istdenge1(v,r) .. y("a2",v,r) =e= y("a3",v,r);
(Benzer şekilde istdenge16(v,r)'ye kadar ilerler.)
istdenge16(v,r) .. y("a32",v,r) =e= y("a33",v,r);
guvstok(i,v,r) .. M*x(i,v,r)=g= s(i,v,r);
indbind(i,v,r) .. M*x(i,v,r)=g= l(i,v,r);
toptalep(i,v,r) .. M*x(i,v,r)=g= d(i,v,r);
topindbind(i,v,r) .. l(i,v,r) =e= d(i,v,r)* yukbos(i);
talepcev(i,v,r) .. d(i,v,r)+M*(1-x(i,v,r)) =g= sum(p,aracrotacev(v,p))*stoktalep(i);
guvcev(i,v,r) .. s(i,v,r) =e= d(i,v,r)*pp;
hacimkisit1 .. hacim("a1") =g= sum (v,
sum(r,(d("sn1",v,r)+s("sn1",v,r))*vv("sn1")+d("sn2",v,r)+s("sn2",v,r))*vv("sn2")+d("sn3",v,r)+s("sn3",v,r))*vv
("sn3")+d("sn4",v,r)+s("sn4",v,r))*vv("sn4")+d("sn5",v,r)+s("sn5",v,r))*vv("sn5")+d("sn6",v,r)+s("sn6",v,r))*
vv("sn6")+d("sn7",v,r)+s("sn7",v,r))*vv("sn7")+d("sn8",v,r)+s("sn8",v,r))*vv("sn8")+d("sn9",v,r)+s("sn9",v,r)
)*vv("sn9")+d("sn10",v,r)+s("sn10",v,r))*vv("sn10")+d("sn11",v,r)+s("sn11",v,r))*vv("sn11")+d("sn12",v,r)+
s("sn12",v,r))*vv("sn12")+d("sn13",v,r)+s("sn13",v,r))*vv("sn13")+d("sn14",v,r)+s("sn14",v,r))*vv("sn14")+d
("sn15",v,r)+s("sn15",v,r))*vv("sn15")+d("sn16",v,r)+s("sn16",v,r))*vv("sn16")+d("sn17",v,r)+s("sn17",v,r))*v
v("sn17")+d("sn18",v,r)+s("sn18",v,r))*vv("sn18")+d("sn19",v,r)+s("sn19",v,r))*vv("sn19")+d("sn20",v,r)+s("s
n20",v,r))*vv("sn20")+d("sn21",v,r)+s("sn21",v,r))*vv("sn21")+d("sn22",v,r)+s("sn22",v,r))*vv("sn22")+d("s
n23",v,r)+s("sn23",v,r))*vv("sn23")+d("sn24",v,r)+s("sn24",v,r))*vv("sn24")+d("sn25",v,r)+s("sn25",v,r))*vv(
"sn25")));
(Benzer şekilde hacimkisit36'ya kadar ilerler.)
stokalaniatama(ab).. sum(v, sum(r, y(ab,v,r))) =e= 1;
stokalanikisit1(v,r) .. M*y("a2",v,r) =g= x("sn26",v,r)+x("sn27",v,r)+x("sn28",v,r);
(Benzer şekilde stokalanikisit32(v,r)'ye kadar ilerler.)
stokalanikisit32(v,r) .. M*y("a33",v,r) =g= x("sn75",v,r);
araccevrim(v,r)..aracrotacev(v,r) =e= sum(i,l(i,v,r))+ sure(r)*aracrota(v,r)+aracbos(v,r);
aracbosta(v,r)..aracbos(v,r) =/= 240 ;
aracbosta2(v,r) .. M*aracrota(v,r) =g= aracbos(v,r);
coklurotaarac1(v,r)..M*arac(v) =g= aracrota(v,r) ;
coklurotaarac2..sum(v,arac(v)) =/= aracsayi ;
maksimumaraccevrimsure(v)..araccev(v) =/= maksaraccevrim ;
esitzamankisit3(v)..araccev(v) =e= sum(r, aracrotacev(v,r));
esitzamankisit7(v)..M*araccev(v)=g=sum(r, aracrota(v,r));
arackap1(ss1,v) .. sum(s1\$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, siral(s1,i)*d(i,v,"r1")*v(i)*isaret(i))) =/= kap("r1");
(Benzer şekilde arackap9(ss9)'ye kadar ilerler.)
arackap9(ss9,v) .. sum(s9\$ (ORD(s9) LE ORD(ss9)), sum(i, siral(s9,i)*d(i,v,"r9")*v(i)*isaret(i))) =/= kap("r9");
model senaryo1 /all/ ;

solve senaryo1 using mip minimizing mal;
display s.l, d.l, l.l, x.l, araccev.l ;

GENEL ATAMA, ÇOK ROTALI, EŞİT ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

Genel atama çok rotalı farklı zamanlı durumdaki kodlara ilaveten aşağıdaki kısıtların eklenmesinden oluşur.

```
esitzamankisit1(t).. sum(v, ww(t,v)) = M*ve(t);
esitzamankisit2(t).. sum(v, arac(v))-sum(v, ww(t,v)) = M*(1-ve(t));
esitzamankisit4(v,t) .. (2*tt(t)-M*(1-ww(t,v))) =l= araccev(v);
esitzamankisit5(v,t) .. (2*tt(t+1)+M*(1-ww(t,v)))=g= araccev(v);
esitzamankisit6.. sum(t, sum(v, ww(t,v))) =e= sum(v,arac(v)) ;
esitzamankisit8(v).. sum(t,ww(t,v)) =l= 1 ;
```

TAHSİSLİ ATAMA, FARKLI ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

```
mâliyet .. mal =e= sum(r, sum(i, d(i,r)* w(i)*f/2))+ sum(r, sum(i, s(i,r)*w(i)*f)) +
sum(t, sum(r, c(r)*z(t,r)*(8*60/((tt(t)*2))))+ aracmâliyet * 4 ;
topindbind(i,r) .. l(i,r) =e= d(i,r)*yukbos(i);
talepcev(i,r) .. d(i,r) =e= (sum(j,l(j,r))+ sure(r)+aracbos(r))*stoktalep(i)*x(i,r) ;
guvcev(i,r) .. s(i,r) =e= d(i,r)*p ;
hacimkisit1 .. hacim("a1") =g=
sum(r,(d("sn1",r)+s("sn1",r))*v("sn1")+d("sn2",r)+s("sn2",r))*v("sn2")+d("sn3",r)+s("sn3",r))*v("sn3")+d("sn4",r)+s("sn4",r))*v("sn4")+d("sn5",r)+s("sn5",r))*v("sn5")+d("sn6",r)+s("sn6",r))*v("sn6")+d("sn7",r)+s("sn7",r))*v("sn7")+d("sn8",r)+s("sn8",r))*v("sn8")+d("sn9",r)+s("sn9",r))*v("sn9")+d("sn10",r)+s("sn10",r))*v("sn10")+d("sn11",r)+s("sn11",r))*v("sn11")+d("sn12",r)+s("sn12",r))*v("sn12")+d("sn13",r)+s("sn13",r))*v("sn13")+d("sn14",r)+s("sn14",r))*v("sn14")+d("sn15",r)+s("sn15",r))*v("sn15")+d("sn16",r)+s("sn16",r))*v("sn16")+d("sn17",r)+s("sn17",r))*v("sn17")+d("sn18",r)+s("sn18",r))*v("sn18")+d("sn19",r)+s("sn19",r))*v("sn19")+d("sn20",r)+s("sn20",r))*v("sn20")+d("sn21",r)+s("sn21",r))*v("sn21")+d("sn22",r)+s("sn22",r))*v("sn22")+d("sn23",r)+s("sn23",r))*v("sn23")+d("sn24",r)+s("sn24",r))*v("sn24")+d("sn25",r)+s("sn25",r))*v("sn25"));
(Benzer şekilde hacimkisit36'ya kadar ilerler.)
hacimkisit36 .. hacim("a36") =g=
sum(r,(d("sn96",r)+s("sn96",r))*v("sn96")+d("sn97",r)+s("sn97",r))*v("sn97")+d("sn98",r)+s("sn98",r))*v("sn98"));
cevkit1(t,r) .. (2*tt(t)-M*(1-z(t,r))) =l= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
cevkit2(t,r) .. (2*(tt(t)+1))+M*(1-z(t,r))=g= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
cevkit3(r) .. sum(t,z(t,r)) =e= 1 ;
araccevrim(r) .. araccev(r) =e= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
aracbosta(r) .. aracbos(r) =l= 240 ;
guvstok(i,r) .. M*x(i,r)=g= s(i,r);
indbind(i,r) .. M*x(i,r)=g= l(i,r);
toptalep(i,r) .. M*x(i,r)=g= d(i,r);
arackap1(ss1) .. sum(s1$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, siral(s1,i)*d(i,"r1")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r1");
arackap2(ss2) .. sum(s2$ (ORD(s2) LE ORD(ss2)), sum(i, siral(s2,i)*d(i,"r2")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r2");
arackap3(ss3) .. sum(s3$ (ORD(s3) LE ORD(ss3)), sum(i, siral(s3,i)*d(i,"r3")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r3");
arackap4(ss4) .. sum(s4$ (ORD(s4) LE ORD(ss4)), sum(i, siral(s4,i)*d(i,"r4")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r4");
model senaryo1 /all/ ;
solve senaryo1 using mip minimizing mal ;
display s.l, d.l, l.l, araccev.l ;
```

TAHSİSLİ ATAMA, EŞİT ZAMANLI DURUMA İLİŞKİN KODLAR

```
mâliyet .. mal =e= sum(r, sum(i, d(i,r)* w(i)*f/2))+ sum(r, sum(i, s(i,r)*w(i)*f)) +
sum(t, sum(r, c(r)*z(t,r)*(8*60/((tt(t)*2))))+ aracmâliyet * 4 ;
topindbind(i,r) .. l(i,r) =e= d(i,r)*yukbos(i);
talepcev(i,r) .. d(i,r)+M*(1-x(i,r)) =g= (sum(j,l(j,r))+ sure(r)+aracbos(r))*stoktalep(i);
guvcev(i,r) .. s(i,r)+M*(1-x(i,r)) =g= (sum(j,l(j,r))+ sure(r)+aracbos(r))*stoktalep(i)*p ;
hacimkisit1 .. hacim("a1") =g=
sum(r,(d("sn1",r)+s("sn1",r))*v("sn1")+d("sn2",r)+s("sn2",r))*v("sn2")+d("sn3",r)+s("sn3",r))*v("sn3")+d("sn4",r)+s("sn4",r))*v("sn4")+d("sn5",r)+s("sn5",r))*v("sn5")+d("sn6",r)+s("sn6",r))*v("sn6")+d("sn7",r)+s("sn7",r))*v("sn7")+d("sn8",r)+s("sn8",r))*v("sn8")+d("sn9",r)+s("sn9",r))*v("sn9")+d("sn10",r)+s("sn10",r))*v("sn10")+d("sn11",r)+s("sn11",r))*v("sn11")+d("sn12",r)+s("sn12",r))*v("sn12")+d("sn13",r)+s("sn13",r))*v("sn13")+d("sn14",r)+s("sn14",r))*v("sn14")+d("sn15",r)+s("sn15",r))*v("sn15")+d("sn16",r)+s("sn16",r))*v("sn16")+d("sn17",r)+s("sn17",r))*v("sn17")+d("sn18",r)+s("sn18",r))*v("sn18")+d("sn19",r)+s("sn19",r))*v("sn19")+d("sn20",r)+s("sn20",r))*v("sn20")+d("sn21",r)+s("sn21",r))*v("sn21")+d("sn22",r)+s("sn22",r))*v("sn22")+d("sn23",r)+s("sn23",r))*v("sn23")+d("sn24",r)+s("sn24",r))*v("sn24")+d("sn25",r)+s("sn25",r))*v("sn25"));
(Benzer şekilde hacimkisit36'ya kadar ilerler.)
```

```

hacimkisit36 .. hacim("a36") =g=
sum(r,(d("sn96",r)+s("sn96",r))*v("sn96",r)+(d("sn97",r)+s("sn97",r))*v("sn97",r)+(d("sn98",r)+s("sn98",r))*v("sn98",r)));
cevkisit1(r,t) .. (2*tt(t)-M*(1-z(t,r))) =l= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
cevkisit2(r,t) .. (2*(tt(t)+1))+M*(1-z(t,r))=g= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
cevkisit3(r) .. sum(t,z(t,r)) =e= 1 ;
cevkisit4(t) .. z(t,"r1") =e= z(t,"r2");
cevkisit5(t) .. z(t,"r2") =e= z(t,"r3");
cevkisit6(t) .. z(t,"r3") =e= z(t,"r4");
araccevrim(r) .. araccev(r) =e= sum(i,l(i,r))+sure(r)+aracbos(r);
aracbosta(r) .. aracbos(r) =l= 240 ;
guvstok(i,r) .. M*x(i,r)=g= s(i,r);
indbind(i,r) .. M*x(i,r)=g= l(i,r);
toptalep(i,r) .. M*x(i,r)=g= d(i,r);
arackap1(ss1) .. sum(s1$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, sira1(s1,i)*d(i,"r1")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r1");
arackap2(ss2) .. sum(s2$ (ORD(s2) LE ORD(ss2)), sum(i, sira2(s2,i)*d(i,"r2")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r2");
arackap3(ss3) .. sum(s3$ (ORD(s3) LE ORD(ss3)), sum(i, sira3(s3,i)*d(i,"r3")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r3");
arackap4(ss4) .. sum(s4$ (ORD(s4) LE ORD(ss4)), sum(i, sira4(s4,i)*d(i,"r4")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r4");
model senaryo1 /all/ ;
solve senaryo1 using mip minimizing mal ;
display s.l, d.l, l.l, araccev.l ;

```

BELİRLİ ZAMAN PERİYOTLU, TEK ROTALI MODEL

Aşağıdaki 3 amaç denkleminde biri kullanılmaktadır.

```

mâliyet .. mal =e= sum(r, rota(r));
mâliyet .. mal =e= sum(r, rota(r)*mesafe(r));
mâliyet .. mal =e= sum(r, rota(r)*aracmâliyet)+sum(r, rota(r)*C(r)*8*60/tmaks);
snokta(i) .. sum(r, x(i,r)) =e= 1 ;
aracsecme1(r) .. M*rota(r) =g= sum(i,x(i,r)) ;
aracsecme2(i,r) .. M*rota(r)=g= d(i,r);
aracsecme3(i,r) .. M*rota(r)=g= l(i,r);
atamayok1 .. x("sn50","r1")+x("sn51","r1")+x("sn52","r1")+x("sn53","r1")=e= 0 ;
(Benzer şekilde atamayok9'a kadar ilerler.)
atamayok9 .. x("sn35","r9")+x("sn36","r9")+x("sn37","r9")+
x("sn38","r9")+x("sn39","r9")+x("sn40","r9")+x("sn41","r9")+x("sn42","r9")+
x("sn43","r9")+x("sn44","r9")+x("sn45","r9")+x("sn46","r9")+x("sn47","r9")+ x("sn48","r9")+x("sn49","r9")+
x("sn54","r9")+x("sn55","r9")+x("sn56","r9")+x("sn57","r9")+x("sn58","r9")+
x("sn62","r9")+x("sn63","r9")+x("sn64","r9")+x("sn65","r9")+x("sn66","r9")+
x("sn67","r9")+x("sn68","r9")+x("sn69","r9")=e= 0 ;
denge1(r) .. x("sn1",r) =e= x("sn26",r);
(Benzer şekilde denge49(r)'ye kadar ilerler.)
denge49(r) .. x("sn95",r) =e= x("sn98",r);
istdenge1(r) .. y("a2",r) =e= y("a3",r);
(Benzer şekilde istdenge16(r)'ye kadar ilerler.)
istdenge16(r) .. y("a32",r) =e= y("a33",r);
indbind(i,r) .. M*x(i,r)=g= l(i,r);
toptalep(i,r) .. M*x(i,r)=g= d(i,r);
topindbind(i,r) .. l(i,r) =e= d(i,r)* yukbos(i);
talepcev(i,r) .. d(i,r) =e= tmaks * stoktalep(i)*x(i,r);
stokalaniatama(ab) .. sum(r, y(ab,r)) =e= 1 ;
stokalanikisit1(r) .. M*y("a2",r) =g= x("sn26",r)+x("sn27",r)+x("sn28",r);
(Benzer şekilde stokalanikisit32(r)'ye kadar ilerler.)
stokalanikisit32(r) .. M*y("a33",r) =g= x("sn75",r);
araccevrim(r) .. araccev(r) =e= sum(i,l(i,r))+ sure(r)*rota(r);
araccevmax(r) .. araccev(r) =l= tmaks ;
arackap1(ss1) .. sum(s1$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, sira1(s1,i)*d(i,"r1")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r1");
(Benzer şekilde arackap9(ss9)'ye kadar ilerler.)
arackap9(ss9) .. sum(s9$ (ORD(s9) LE ORD(ss9)), sum(i, sira9(s9,i)*d(i,"r9")*v(i)*isaret(i))) =l= kap("r9");
model senaryo1 /all/ ;
solve senaryo1 using mip minimizing mal;
display d.l, l.l, x.l, araccev.l ;

```

BELİRLİ ZAMAN PERİYOTLU, ÇOK ROTALI MODEL

Aşağıdaki 3 amaç denkleminde biri kullanılmaktadır.

```

maliyet .. mal =e= sum(v, arac(v));
maliyet .. mal =e= sum(v, sum(r, aracota(v,r)*mesafe(r)));
maliyet .. mal =e= sum(v, arac(v)*aracmaliyet)+sum(v, sum(r, aracota(v,r)*C(r)*8*60/tmaks));
snokta(i) .. sum(v, sum(r, x(i,v,r))) =e= 1 ;
aracsecme1(v,r) .. M*aracota(v,r) =g= sum(i, x(i,v,r)) ;
aracsecme2(i,v,r) .. M*aracota(v,r) =g= l(i,v,r) ;
atamayok1(v) .. x("sn50",v,"r1")+x("sn51",v,"r1")+x("sn52",v,"r1")+x("sn53",v,"r1")=e=0 ;
(Benzer şekilde atamayok9'a kadar ilerler.)
atamayok9(v) .. x("sn35",v,"r9")+x("sn36",v,"r9")+x("sn37",v,"r9")+
x("sn38",v,"r9")+x("sn39",v,"r9")+x("sn40",v,"r9")+x("sn41",v,"r9")+x("sn42",v,"r9")+
x("sn43",v,"r9")+x("sn44",v,"r9")+x("sn45",v,"r9")+x("sn46",v,"r9")+x("sn47",v,"r9")+
x("sn48",v,"r9")+x("sn49",v,"r9")+
x("sn54",v,"r9")+x("sn55",v,"r9")+x("sn56",v,"r9")+x("sn57",v,"r9")+x("sn58",v,"r9")+
x("sn62",v,"r9")+x("sn63",v,"r9")+x("sn64",v,"r9")+x("sn65",v,"r9")+x("sn66",v,"r9")+
x("sn67",v,"r9")+x("sn68",v,"r9")+x("sn69",v,"r9")=e= 0 ;
denge1(v,r) .. x("sn1",v,r) =e= x("sn26",v,r);
(Benzer şekilde denge49(v,r)'ye kadar ilerler.)
denge49(v,r) .. x("sn95",v,r) =e= x("sn98",v,r);
istdenge1(v,r) .. y("a2",v,r) =e= y("a3",v,r);
(Benzer şekilde istdenge16(v,r)'ye kadar ilerler.)
istdenge16(v,r) .. y("a32",v,r) =e= y("a33",v,r);
indbind(i,v,r) .. M*x(i,v,r)=g= l(i,v,r);
toptalep(i,v,r) .. M*x(i,v,r)=g= d(i,v,r);
topindbind(i,v,r) .. l(i,v,r) =e= d(i,v,r)* yukbos(i);
talepcev(i,v,r) .. d(i,v,r)+M*(1-x(i,v,r)) =g= (sum(j,l(j,v,r))+sure(r))*stoktalep(i) ;
stokalaniatama(ab) .. sum(v, sum(r, y(ab,v,r))) =e= 1;
stokalanikisit1(v,r) .. M*y("a2",v,r) =g= x("sn26",v,r)+x("sn27",v,r)+x("sn28",v,r);
(Benzer şekilde stokalanikisit32(v,r)'ye kadar ilerler.)
coklurotaarac1(v,r) .. M*arac(v) =g= aracota(v,r) ;
coklurotaarac2 .. sum(v,arac(v)) =l= maksarac ;
coklurotaarac3(i,v,r) .. M*aracota(v,r) =g= d(i,v,r) ;
araccevrim(v,r) .. aracrotacev(v,r) =e= sum(i,l(i,v,r))+ aracota(v,r)*sure(r);
araccevmaks(v) .. sum(r, aracrotacev(v,r)) =l= tmaks ;
arackap1(ss1,v) .. sum(s1$ (ORD(s1) LE ORD(ss1)), sum(i, siral(s1,i)*d(i,v,"r1")*vv(i)*isaret(i))) =l= kap("r1");
(Benzer şekilde arackap9(ss9)'ye kadar ilerler.)
arackap9(ss9,v) .. sum(s9$ (ORD(s9) LE ORD(ss9)), sum(i, siral(s9,i)*d(i,v,"r9")*vv(i)*isaret(i))) =l= kap("r9");
model senaryo1 /all/ ;
solve senaryo1 using mip minimizing mal;
display d.l, l.l, x.l, aracrotacev.l ;

```


ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hüseyin Selçuk KILIÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: Sivas-27/02/1981

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Yayın Listesi:

- Cebeci, U., **Kılıç, H. S.** and Yüksel, T., 2005. A Reverse Logistics Application in a Household Appliance Manufacturer in Turkey, *Proceedings of the 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 405-410, İstanbul, Turkey.
- **Kılıç, H. S.**, 2011. A Fuzzy AHP Based Performance Assessment System for The Strategic Plan of Turkish Municipalities, *International Journal of Business and Management Studies*, Vol. 3, No. 2, 77-86.
- **Kılıç, H. S.** and Çevikcan, E., 2011. Job Selection Based on Fuzzy AHP: An Investigation Including The Students of Istanbul Technical University Management Faculty, *International Journal of Business and Management Studies*, Vol. 3, No. 1, 173-182.
- **Kılıç, H. S.** and Ayhan, M. B., 2011. Analyzing The Factors in The University Selection Based on AHP: A Case Study Among The Students of Marmara University, *International Higher Education Congress: New Trends and Issues*, İstanbul, Turkey.
- **Kılıç, H. S.**, Durmuşoğlu, M. B. and Baskak, M., 2011. A Mixed Integer Linear Programming Model for Multiple Routed Milk-run Trains in Production Environment, *12th International Symposium on Econometrics, Statistics and Operations Research*, 198-203, Denizli, Turkey.
- **Kılıç, H. S.**, Durmuşoğlu, M. B. ve Baskak, M., 2011. Belirli Zaman Periyotlu Çok Rotalı Döngüsel Seferler Yapan Araçlardan Kurulu İç Lojistik Sistemine İlişkin Matematiksel Model Önerisi, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 477-484, İstanbul, Turkey.

