Eş Zamanlı Topla Dağıt Probleminde Otomatik Yönlendirmeli Araçların Rotalanması

Merve Sert Altın

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2022

Routing of Automatically Guided Vehicles for the Simultaneous Pick-up and Delivery Problem

Merve Sert Altın

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

February 2022

Eş Zamanlı Topla Dağıt Probleminde Otomatik Yönlendirmeli Araçların Rotalanması

Merve Sert Altın

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. İnci SARIÇİÇEK

Şubat 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. İnci Sarıçiçek danışmanlığında hazırlamış olduğum "Eş Zamanlı Topla Dağıt Probleminde Otomatik Yönlendirmeli Araçların Rotalanması" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

18/01/2022

Merve Sert Altın

İmza

ÖZET

Gelişen teknoloji ve artan rekabet ortamıyla birlikte eniyileme uygulamaları gittikçe önem kazanmıştır. Bu sebeple üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan lojistik sistemlerinde eniyileme yöntemlerinin uygulanması büyük önem kazanmaktadır. Fabrika içi taşımalarda kullanılan AGV'ler için etkin çizelgelerin oluşturulması üretim sahasındaki verimlilik açısından oldukça önemlidir. Oluşturulan üretim planına uygun şekilde üretim hücrelerinin kesici takım toplama ve dağıtma ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçların AGV'ler tarafından uygun rota ve periyotlarla karşılanması gerekmektedir. Böylece üretim hücrelerinin ihtiyaç duyduğu kesici takımlar zamanında karşılanabilecek ve üretimde karşılaşılabilecek olası aksaklıkların önüne geçilebilecektir. Fabrika içi taşımalarda karşılaşılan kesici takım taşıma problemi için matematiksel model önerilmiştir. Küçük boyutlu problemler önerilen matematiksel model ile çözdürülmüştür. Orta ve büyük boyutlu problemler için ise Temel Değişken Komşuluk Arama algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı test edilmiş ve ilgili problemin çözümü için etkin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik Yönetimi, Görev Çizelgeleme, Temel Değişken Komşuluk Arama Algoritması, Araç Rotalama

SUMMARY

With the developing technology and increasing competition environment, optimization has become increasingly vital. For this reason, the application of optimization methods in logistics systems, which constitute a large part of production costs, gains great importance. Generating efficient schedules for autonomous transfer vehicles used in-plant transportation is very important with regard to the efficiency in the production area. In accordance with the used production plan, the cutting tool pickup and delivery demands of the production cells arise. These demands must be met with appropriate routes and periods by autonomous transfer vehicles. Thus, the cutting tools needed by the production cells will be supplied on time and possible disruptions will be prevented in production area. A mathematical model was proposed for the cutting tool transportation problem encountered in factory. Small scale problems were solved with the proposed mathematical model. Besides, Basic Variable Neighborhood Search algorithm was proposed to solve medium and large scale problems in reasonable computation times. The performance of the proposed algorithm has been tested. The obtained results were analyzed in detail.

Keywords: Logistic Management, Task Scheduling, Basic Variable Neighborhood Search Algorithm, Vehicle Routing

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**

SUMMARY ..... **vii**

TEŞEKKÜR ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xi**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**

3. TESİS İÇİ LOJİSTİK VE OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR **7**

3.1. Tesis İçi Taşımaların Önemi 7

3.2. Otomatik Yönlendirmeli Araçlar 9

3.3. Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ve Rotalama Problemleri 12

3.4. Çözüm Yöntemleri 15

3.4.1. Kesin çözüm yöntemleri 15

3.4.2. Sezgisel algoritmalar 18

3.4.3. Metasezgisel algoritmalar 19

4. TESİS İÇİNDE TOPLA DAĞIT İŞLERİ İÇİN ARAÇLARIN ROTALANMASI **24**

4.1. Problemin Tanımlanması 24

4.2. Matematiksel Model 32

4.3. Metasezgisel Yöntem 41

5. BULGULAR VE TARTIŞMA **46**

6. SONUÇ VE ÖNERİLER **50**

KAYNAKLAR DİZİNİ **51**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1.Tedarikçiden tesise, tesisten müşteriye ve tesis içi milk-run sistemi (Baudin, 2004; Kılıç, 2011) 9

3.2.İlk Amerikan AGV'lerinden biri 10

3.3.Ameise/Teletrak (E&K (1965)) 11

3.4.Otomotiv sektöründe AGV kullanımı 12

4.1. Tesis yerleşimi a) Yerleşim-1, b) Yerleşim-2, c) Yerleşim-3 25

4.2.Kesici takımların fabrika içi tedarik süreci 26

4.3.Kesici takım ihtiyaç belirleme şeması 27

4.4.Tesis 1 için elde edilen AGV rotaları 36

4.5. Tesis 2 için elde edilen AGV rotaları 38

4.6. Tesis 3 için elde edilen AGV rotaları 39

4.7.Rota planlama için akış şeması 41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

3.1. Kesin Çözüm Yöntemi Kullanılan Çalışmalar 16
3.2.Sezgisel Algoritma Kullanılan Çalışmalar 18
3.3. Metasezgisel Algoritma Kullanılan Çalışmalar 19
4.1. Tesis 1'e ait uzaklık matrisi 29
4.2. Tesis 1'e ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri 29
4.3. Tesis 2'ye ait uzaklık matrisi 30
4.4.Tesis 2'ye ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri 30
4.5.Tesis 3'e ait uzaklık matrisi 31
4.6. Tesis 3'e ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri 32
4.7. Tesis 1 için matematiksel model sonuçları 35
4.8. Tesis 2 için matematiksel model sonuçları 37
4.9. Tesis 3 için matematiksel model sonuçları 39
4.10. Metasezgisel algoritma sonuçları 44
5.1. Test problemleri sonuçları 48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
AGA	Uyarlanabilir genetik algoritma (Adaptive Genetic Algorithm)
AGV	Otomatik yönlendirmeli araç (Automated Guided Vehicle)
FMS	Esnek imalat sistemi (Flexible Manufacturing System)
GA	Genetik algoritma (Genetic Algorithm)
KT	Kesici takım
MA	Memetik algoritma (Memetic Algorithm)
PSA	Parçacık sürü eniyileme (Particle Swarm Optimization)
SA	Tavlama benzetimi algoritması (Simulated Annealing)
VRP	Araç rotalama problemi (Vehicle Routing Problem)

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan rekabet ortamı ile birlikte eniyileme giderek önemini artırmıştır. Rekabetçi piyasa ortamında şirketler üretim sistemlerinde alınan her kararı optimize etmek zorundadır. Bu sebeple, üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan lojistik sistemlerinde eniyileme yöntemleri giderek önem kazanmaktadır. Lojistik sistemlerin eniyileme ulaşım maliyetlerini indirgemek ve servis kalitesini artırmak için üzerinde önemle durulan bir konudur.

Üretim sistemi ve tesis içi lojistiğin bütünleştirilmesi, üretimde verimlilik için önemlidir. Tesis içi lojistikte, depoların gereklilikleri, malzeme taşımanın hangi tür araçlarla, hangi rotada ve hangi periyotlarda yapılması gerektiği konularına cevap verilebilir. Tesis içi taşımalarda araç rotalama problemleri rota uzunluğunu ve maliyeti en küçüklemek için yerleşim planı, stok devir hızı, istasyonlar arası iletişim, malzeme boyutları ve talep miktarı değişkenliği gibi birçok dinamik etkeni göz önüne almaktadır. Malzeme hareketlerinin yoğun olduğu ve birden fazla istasyona sahip üretim sistemlerinde tek araç ile malzeme taşımak yetersiz kalabilmektedir. Tek araç ile hizmet verebilmek için döngüsel sefer sistemi yani milk-run sistemi kullanılabilir.

Batıdaki süt dağıtım sisteminden esinlenerek isimlendirilen Milk-run sistemi belirli bir mantık çerçevesinde, istasyonlardan malzemelerin toplanması, toplanan malzemelerin depoya getirilmesidir. Eş zamanlı olarak toplama ve dağıtma yapıldığı için aynı istasyona tekrar tekrar uğranmaz ve araç başladığı noktaya geri döner. Bu dağıtım sistemi döngüsel olarak tekrarlanır.

İnsan gücü ile yürütülen iç lojistik süreçlerinde çoğu zaman enerji, yol ve zaman gibi kaynaklar optimize edilemez. Üretim kapasitesinin artması aynı anda yürütülmesi gereken birçok lojistik faaliyetinin artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, işletmelerde standardize olmuş ve optimize edilmiş bir iç lojistik sistemi için Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (Automated Guided Vehicles-AGV) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınacak olan lojistik boyutu tesis içi lojistiktir. Bu çalışmayla amaçlanan; taşıma maliyetlerini azaltan, kolay yönetilebilir, standardize edilmiş bir iç lojistik sistemi oluşturmaktır. Bu amaçla, talaşlı imalat yapan işletmelerde kesici takımların kullanımında ihtiyaç duyulan al/bırak işleri için bir model önerilmiş ve hücresel imalat yapan bir firmada iç farklı yerleşim için sonuçlar değerlendirilmiştir. Metasezgisel yöntem kullanılarak fabrika içi malzeme taşıma işlerinin planlanması iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümünde konuya ilişkin literatür taraması verilmiş ve benzer çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde tesis içi lojistik ve otomatik yönlendirmeli araçlardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde topla dağıt problemi özellikleri verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan uygulamanın detayları verilmektedir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Lojistik genel anlamı itibari ile müşterilerin veya kurumların gereksinimlerini karşılamak için üretim kaynağı ile tüketim noktası arasındaki akışın yönetimidir (Baudin, 2004). Lojistik genellikle bilgi akışı, malzeme taşıma, paketleme, envanter, nakliye ve depolama entegrasyonunu içerir (Lai ve Cheng 2009). Tedarikçiden tesise kadar olan lojistik (in-bound logistics), tesis içi lojistik (in-plant logistics, dock to dock logistics) ve tesisten müşteriye olan lojistik (outbound logistics) olarak adlandırılır (Baudin, 2004).

İç lojistik kavramı depo veya fabrika gibi büyük tesislerdeki malzeme taşıma ile ilişkilidir. İç lojistiği etkileyen etmenlerin başında tesis yerleşimi, malzeme taşıma araçları, depodaki stok alanları ve stok seviyeleri, sipariş toplama stratejileri gelmektedir (Kasilingam, 1998). Tez çalısması kapsamında iç lojistik, diğer bir ifadeyle fabrika içi lojistik değerlendirmeye alınmıştır. İç lojistik kapsamında depo ve hücreler arası taşıma göz önüne alınmıştır.

İç lojistikte malzeme taşıma araçlarının doğru zamanda, doğru yerde, doğru şekilde ve doğru ürüne yönelik kullanılması önemlidir. Tüm üretim sistemleri için geçerli olan belirli bir malzeme taşıma sistemi yoktur. Üretim ortamının özelliklerine göre en uygun ekipman değişebilir. Malzeme taşıma araçları temel olarak forkliftler, transpaletler, çek çek araçları, trenler, konveyör ağları ve otomatik yönlendirmeli araçlardan (AGV) oluşmaktadır (Baudin, 2004). Literatürde malzeme taşıma araçlarının seçimi, rotalanması vb. konularda çalışmalar mevcuttur.

Braglia vd. (2001) hücresel üretim sistemlerinde malzeme taşıma araçlarının seçilmesine yönelik çok amaçlı karar modeli geliştirmişlerdir. Analitik hiyerarşi prosesi ve tamsayılı doğrusal programlamadan oluşan metotta gerçek verilerden oluşan örnek kullanılmıştır.

Lashkari vd.(2004) hücresel imalat yapan sistemlerde operasyon atama ve malzeme taşıma sistemleri seçimine ilişkin bütünsel bir yaklaşım önermiştir. Önerilen ardıştırmalı yaklaşımda amaç, makine gruplarını seçmek, makineleri verilen parça türlerine uygun olarak

yüklemek ve makineler arasında parça taşımaya uygun olan ekonomik malzeme taşıma aracını belirlemektir. Operasyon atama modelinde bir grup makineye bir dizi parça tipinin işlemleri atanır ve daha sonra bu bilgi malzeme taşıma sistemi seçiminde kullanılır. Malzeme tasıma seçim sistemi, makineler arası ve makinelere malzeme taşınması için gerekli araç atamasını yapar. Operasyon atama ve malzeme taşıma seçim sistemi modellerini sıralı olarak çözmek için ardıştırmalı bir model geliştirilmistir. Sayısal bir örnek ile de modellerin uygulanabilirliğinin gösterilmiştir.

Khayat vd.(2006) Operasyonların eniyilenmesi için malzeme taşıma araçlarının üretim çizelgelemesi ile senkronize olması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu sebeple üretim çizelgelemesine malzeme taşıma çizelgelemesini de dahil ederek entegre bir çizelgeleme ortaya koymuşlardır. Atölye tipi üretim sisteminde makine ve malzeme taşıma kaynaklarını sınırlayıcı kaynak olarak ele almışlardır. Bütünleştirilmiş çizelgeleme problemi, matematiksel programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Bir dizi test problemi ile karşılaştırılan modelde taşıma aracı sayısı arttığı zaman, çözüm süresinin hızlı bir şekilde düştüğünü belirtmişlerdir.

Correa vd. (2007) esnek üretim sisteminde iki alt problemden oluşan melez bir metot önermişlerdir. Ele alınan problem kombinatoryal zor bir problemdir. Problem eş zamanlı olarak atama, çizelgeleme ve AGV'lerin çarpışmasını önleyici araç rotalamayı içermektedir. İki ayrık metottan oluşan yaklaşımda ana problem çizelgeleme kısıt programlamayla modellenmiş, diğer problem rotalama ise karma tamsayılı programlama ile modellenmiştir. İki ayrı metot kullanılmasının nedeni rotalamadan önce atama değişkenlerini örneklendirme ve çizelgelemedeki doğrusal olmayan kısıtlardır. Geliştirilen melez model ile altı adet AGV içeren problemler çözülebilmektedir ayrıca AGV filolarının boyutunun belirlenmesinde de kullanılabilir.

Mirhosseyni ve Webb (2009) çalışmalarında malzeme taşıma araçlarının seçilmesinde kullanılabilecek melez yöntem sunmuşlardır. İki aşamadan oluşan yöntemde ilk aşamada bulanık uzman sistem yardımıyla en uygun malzeme taşıma aracı seçilmektedir. İkinci aşamada ise olurlu çözüm kümesinde bulunan verilerden genetik algoritma ile en iyi çözüm aranmaktadır. Ayrıca melez yöntem gerçek veriler kullanılarak test edilmiştir.

İç lojistikte araç rotalama problemleri ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça fazladır: Blazewicz vd. (1994) üretim çizelgeleme ve AGV görev çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Gerçek bir uygulamaya dayanan çalışmada iki AGV döngüsünün birbirine bağlı olduğu durum incelenmiştir. Hall vd. (2001) tek yönlü bir döngüde iş ve AGV çizelgelemesini incelemiş, AGV'ler tarafından istasyonlara eş zamanlı olarak topla dağıt hizmet verilmiştir. Amaç döngü süresini enküçüklemekdir. Genetik algoritma geliştirilmiş ve on hücreye dört araç ile hizmet edilmeye çalışılmıştır.

Sinriech ve Palni (1998), sınırlı bir planlama ufku boyunca çoklu yük araçlarının programlanması için kesin bir formülasyon önermektedir. Daha büyük problemlerin çözebilmek için sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Liu ve Hung (2001), çift yönlü bir döngü üzerinde çalışan iki yük kapasiteli tek bir AGV'yi ele almaktadır. Topla dağıt istasyonlarının sınırlı kuyruk kapasitesi önünde aracın kilitlenmesini önlemek için kural tabanlı kontrol politikaları geliştirmişlerdir. Kural tabanlı sezgisel yöntemlerin özü, uygun olmayan iş akışının neden olduğu döngüsel bekleme durumlarından kaçınmaktır. Prosedür her zaman optimal bir çözüm sağlamaz ve atölyede tam gerçek zamanlı bilgiye ihtiyaç duymaktadır.

Sinriech ve Kotlarski (2002), tek bir döngü boyunca birden fazla yük taşıyan bir araç filosunun çalışması için durum tabanlı bir çizelgeleme algoritması geliştirmiştir. Algoritmada araç kapasitesi artırmanın etkisi, çevrim süresi gibi değişkenlere göre değerlendirilmiştir.

Hwang (2004) sabit yerleşim planına ve malzeme akış yollarının belirli olduğu bir üretim ortamında araç rotalama problemini analiz etmiştir. Amaçlanan, kullanılması gereken en küçük araç sayısını bulmaktır. Problem tamsayılı programlama şeklinde formüle edilmiş ve iki çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çözüm yaklaşımları sezgisel ve VRP metodudur. Her bir çözüm yöntemi 100 farklı örnekten oluşan 6 veri kümesi ile test edilmiş ve etkin sonuçlar elde edilmiştir.

Vaziri ve Laporte (2005), malzeme taşıma kararları arasında malzeme akış modellerinin düzenlenmesi ve tasarımının kritik kararlar arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Otomatik yönlendirmeli araçlara vurgu yaparak milk run sisteminin planlanmasını incelemişlerdir. Milk run sistemlerinin sanayide sıklıkla kullanıldığını ve hem maliyet hem de operasyonel olarak etkin olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan yayınları; istasyon sıralama, hücrelerin yerleşimi, tek döngülü tasarım, boş araçların bulunması gereken yer, tek döngüde AGV'lerin çoklu yüklemesi olarak sınıflandırmışlardır. Makale, tesis tasarımı, malzeme taşıma tasarımı ve filo boyutlandırma ve işletme ile ilgili konuları incelemektedir.

Akıllıoğlu ve ark. (2006) dizel enjektör üretimi yapan bir şirket için fabrika içi çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarlamışlardır. Rota ve döngü süresi elde etmek için karma bir tamsayı matematiksel model önermişlerdir. Aynı zamanda modelin benzetimini yapmışlardır. Gerçek bir üretim ortamında uygulanan modelin amacı, toplam envanter ve dağıtım maliyetlerini en aza indirmektir. Model %66 düzeyinde taşıma maliyetlerinde iyileştirme sağlamıştır.

Bilici vd. (2007) yine bir dizel enjektör üretimi yapan fabrikada toplam dolaşım süresini enküçüklemek için hammadde ve yarı mamül taşınmasını planlamış ve çekme esaslı bir sistem geliştirmişlerdir. Fabrikada önce olası rotaların hepsi belirlenmiş ve geliştirilen bir eleme prosedürü ile anlamlı bir rota belirlenmiştir. Belirlenen rotaya geliştirilen matematiksel model ile taşıma işleri atanmıştır. Araç sayısı seçenekleri değerlendirilip iyileştirme tahminleri yapılmıştır. Önerilen çözüm mevcut sistemde sadece organizasyonel değişiklik yapılarak toplam taşıma maliyetinde %51'e kadar azaltma sağlayacağı öngörülmüştür.

3. TESİS İÇİ LOJİSTİK VE OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR

3.1.Tesis İçi Taşımaların Önemi

Yalın üretimin temelinde israflardan kaçınma vardır. Üretimdeki israf türleri temel olarak fazla üretim, stok, bekleme, taşıma, gereksiz süreçler, gereksiz hareket ve hatalı ürünlerden oluşmaktadır (Ohno, 1988; Hay, 1998). Yalın lojistik ise yalın üretimin lojistik boyutudur. Üretim lojistiğinin iki ana amacı etkililik (İng: Effectiveness) ve etkinliktir (İng: Efficiency).

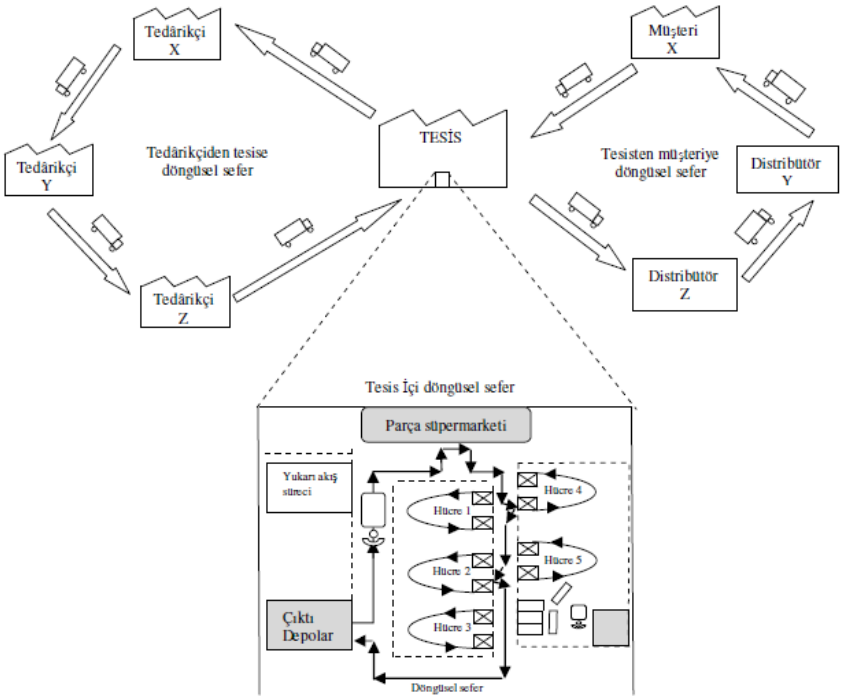
Doğru işleri yapmak etkili olmak, israf etmeden yapmak ise etkin olmaktır. Malzeme yönetiminde ise çoğunlukla doğru malzemeyi, doğru miktarda, doğru zamanda, doğru şekilde taşımaktan daha çok doluluk oranına odaklanılmıştır (Baudin, 2004). Bu sebeple lojistikte doğru miktarda ürünü, doğru zamanda, doğru araçla ve doğru yere taşımak önemlidir.

Malzeme taşıma araçları üretim ortamı, üretim şekli ve ürüne göre çok çeşitli olmaktadır. Bir malzeme taşıma aracının seçilmesi, maliyete, şekle, ağırlığa, yük hacmine, alan durumu ve istasyon türlerine göre değişiklik gösterebilir (Heragu, 2008). Malzeme taşıma aracı seçiminde önemli olan konular ise, esnek olması, maliyetinin düşük, bakımının kolay olması ve mevcut sistemlerle bütünleştirilebilir olmasıdır (Kılıç, 2011). Malzeme taşıma araçları farklı kaynaklarda farklı şekillerde sınıflandırılmıştır ancak temel olarak yedi malzeme taşıma aracı vardır:

- Konveyörler
- Palet taşıyıcıları
- Yük vagonları
- Vinç kolları, vinçler ve yük asansörleri
- Robotlar
- AGV'ler
- Depo malzeme taşıma araçları (Heragu, 2008; Kılıç, 2011).

İç lojistik ortamına uygun olan taşıma sistemini seçebilmek için en önemli nokta israfların ne ölçüde azaltılacağı ve sürekliliği sağlayabilmek için sistemin kolay yönetilebilirliğidir. Chase vd. (1998) çalışmalarında eş zamanlı toplama ve dağıtmanın yapıldığı otomatik veya manuel sistemlerin yalın üretim ve tam zamanında üretim sistemlerine hizmet edebildiğini vurgulamışlardır. Baudin (2004) ise taşıma araçlarını tren gibi birbirine bağlamanın ve belirlenmiş bir rotada periyodik olarak bu araç ile hizmet etmenin gerekliliğinden bahsetmiştir. Bu yaklaşım tesis içi lojistik faaliyetlerinde kullanılan milk run yaklaşımıdır.

Milk-run kavramı ilk olarak süt kooperatiflerinin taleplerini karşılamak için tedarikçi firmalar tarafından, kamyon, tır ve benzeri taşıma ve dağıtım araçlarının en küçük mesafe ile en büyük müşteri taleplerinin karşılanmasını sağlayacak şekilde düzenledikleri sistemdir (Saini ve Brar, 2011; Meyer, 2017). Milk-run sistemi çok sayıda öğenin küçük miktarlarının kısa, öngörülebilir teslim sürelerinde ve nakliye maliyetini artırmadan tesisler arasında ve tesis içinde sabit rota boyunca taşınmasıdır (Baudin, 2004). Farklı tedarikçilerden ürünlerin farklı zaman aralıklarında ayrı ayrı toplanmasından ise sık sık aynı araçla belirli bir rotaya göre tüm tedarikçilere hizmet verilmesine dayanmaktadır. Örnek olarak üç araç ile üç tedarikçiye hizmet vermektense bir araç ile üç tedarikçiye hizmet etmek milk-run sistemine örnek olarak verilebilir. İç ve dış lojistik kapsamında milk-run tedarikçiden tesise, tesisten müşteriye ve tesis içi hücreler, depo ve süpermarket arasında döngüsel taşıma örneği olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Baudin, 2004; Kılıç, 2011).



Şekil 3.1.Tedarikçiden tesise, tesisten müşteriye ve tesis içi milk-run sistemi (Baudin, 2004; Kılıç, 2011)

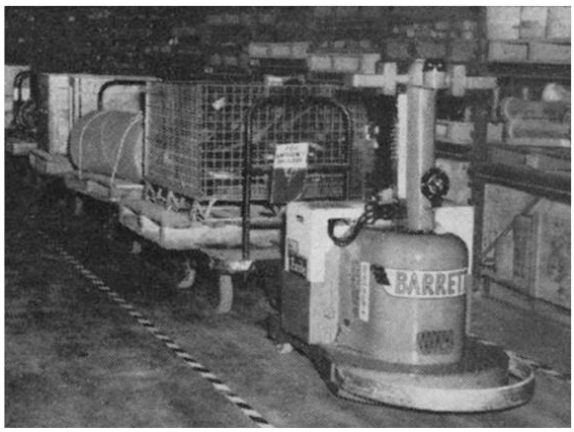
Şekil 3.1'de sunulduğu üzere döngüsel seferler (milk-run) tesis içinde ve dışında kullanılmaktadır. Tedarikçiler ve tesis arasındaki periyodik ürün akışı tesis dışı döngüsel sefer olarak tarif edilirken, depo ve üretim hücreleri arasındaki periyodik ürün akışı tesis içi döngüsel sefer olarak tarif edilmektedir.

3.2.Otomatik Yönlendirmeli Araçlar

Otomatik yönlendirmeli araçlar (Automated Guided Vehicles-AGV) sürücüsüz, batarya ile çalışan araçlardır. Genellikle yerleşik bilgisayarlar tarafından kontrol edilir ve zemine kurulan kılavuz yollardan elektronik, kimyasal ve optik sinyaller ile hareket ettirilir. Üretimde makineleşme ve gelişen teknoloji ile birlikte otomatik yönlendirmeli araç sistemleri (AGV'ler) günümüz iç lojistiğinin önemli bir bileşeni haline gelmektedir.

Çevre algılama, yol planlama ve davranış modelleme gibi özelliklere sahip olabilen AGV'lerin üretim ortamlarına adaptasyonu oldukça esnektir. Bu otomasyon teknolojisi ile ilgili teknolojik standart ve mevcut deneyim düzeyi, AGV'lerin neredeyse tüm endüstri dallarında ve üretim alanlarında kullanılmasına yol açmıştır. AGV'lerin tarihi yaklaşık

altmış yıl önce Amerika’da başlamıştır. Şekil 2’de beş taşıyıcı römorktan oluşan ilk Amerikan AGV’lerinden biri gösterilmiştir. Teknolojik olarak ilk makineler ray yönlendirmeli basit sistemler, mekanik anahtarlı acil durum kolları ve tampon gibi sensörlerden oluşmaktadır. Barrett-Cravens, Northbrook, Illinois (şu anda Savant Automation Inc., Michigan) tarafından ilk otomatik kılavuzlu araç sistemi (AGV), uzun mesafeli gidiş-dönüş ürün sevki için, 1954 yılında Güney Carolina, Columbia'daki Mercury Motor Freight Company'de bir çekici-römork olarak kullanılmıştır (Şekil 3.2)(Barrett Cravens / Savant Automation (1958).



Şekil 3.2.İlk Amerikan AGV'lerinden biri

İlk AGV’ler zemine döşenmiş manyetik olarak iletken bir şeridi takip ederek kendisini yönlendirmekteydi. Yüklerin (malların) aktarılacağı istasyonlar, araçlarda bulunan sensörlerin algılayacağı şekilde pozitif/negatif kutuplu mıknatısların belirli bir şekilde hizalanması ile kodlanmıştı. İngiltere’de ise 1960’ların başında optik algılayıcı tarafından tanınan ve karşılıklı sinyal alışverişine dayanan renkli bir zemin üzerinde AGV’ler ilerlemekteydi. İlk transistör tabanlı AGV’lerin kullanılması ile direksiyon ve yönlendirmede esneklik sağlanmış oldu. Almanya’da ise mühendislik firması Jungheinrich elektrikli dört tekerlekli "karınca" kaldırıcısı "Ameise 55" ile pazara girdi kısa bir süre sonra, 1962'de, ilk otomatik yönlendirmeli, indüksiyon kontrollü “Teletrak” kaldırıcıyı piyasaya sürdü (Şekil 3.3).



Şekil 3.3.Ameise/Teletrak (E&K (1965))

1970'lerde AGV'leri yakından ilgilendiren bir dizi teknolojik gelişme sonrasında AGV'lerin:

- Performansı artırılmış elektronikler ve mikroişlemciler, daha hızlı bilgi işlem ve dolayısıyla daha karmaşık kullanım senaryolarına, karmaşık ekipman tasarımına yol açarak Programlanabilir Mantık Denetleyicileri (PLC) kullanılmaya başlandı. Bu gelişme AGV'lerde sürüş, navigasyon ve istasyonlarda aktarma kabiliyeti hassasiyetini artırdı.
- Bataryalarda gelişme sağlandı fakat tam anlamıyla batarya sorunu çözülemedi. Şarjlı bataryalar tanıtıldı.
- Navigasyon süreci standart hale getirildi. AC yüklü iletken tarafından oluşturulan manyetik alan direksiyon motorunu kontrol etmek için kullanıldı. Mantık demiryollarındaki bölüm kontrol sistemine dayanıyordu. Böylece araçların çarpışması ve birbirlerine engel olması kontrol edilebilir hale geldi.
- Otomatik yönlendirmeli araçlar, üretim süreçlerine tamamen entegre edildi; bu, araçların montaj hatları ile entegre olarak kullanılmasını mümkün kıldı.
- Veri aktarımı için kızılötesi ve radyo sinyalleri kullanıldı.



Şekil 3.4.Otomotiv sektöründe AGV kullanımı

AGV pazar talebi esas olarak otomotiv endüstrisi tarafından yönetildi. Otomotiv endüstrisinde AGV'ler:

- Montaj sahasında taşıma ekipmanı olarak,
- Ön montajda mobil çalışma yeri olarak,
- Üretim hatlarını beslemek için,
- Depolarda malzemeleri devreye almak, hatlara teslim etmek için kullanılmaktadır.

Montaj alanlarında parça taşıma için hattın başından sonuna kadar AGV kullanımı yaygındır. Otomobil ana gövdesini istasyonlar arasında taşınmasını sağlayan ve mobil montaj istasyonu olarak kullanılan AGV örnekleri Şekil 3.4'te verilmiştir.

3.3.Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ve Rotalama Problemleri

Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem-VRP), coğrafi olarak dağınık merkezlere bir veya birden fazla depodan hizmet vermek üzere görevlendirilen araçların eniyi dağıtım/toplama rotalarının planlanması problemidir (Laporte ve Nobert, 1987).

VRP gezgin satıcı probleminin (Travelling Salesman Problem-TSP) genel halidir ve ilk kez 1959 yılında Dantzig ve Ramster tarafından literatüre kazandırılmıştır. Gezgin satıcı problemindeki müşteriler VRP'de sipariş noktalarını, satıcılar ise araçları belirtmektedir. Dantzig ve Ramster (1959) çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımı problemi üzerinde durmuş ve problemin çözümü için ilk matematiksel modeli kurmuştur. Araç Rotalama Problemi genel olarak, konumları belirli *n* adet müşteriye (talep noktasına) servis sunabilmek için kısıtların göz önüne alındığı ve en küçük maliyetin/zamanın amaçlandığı araç rotalarının belirlenmesi problemidir (Erol, 2006).

Araç Rotalama Problemini analiz edebilmek için genel olarak aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır (Erol, 2006):

- Müşteriler arası ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe
- Başlangıç noktasından her müşteriye ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe
- Talep noktalarındaki talep miktarı
- Hizmet verilecek araç sayısı ve araç kapasite değeri
- Eniyilenecek unsur veya unsurlar (amaç fonksiyonu).

Literatürde AGV görev çizelgeleme ve yol planlaması hakkında daha önce birçok çalışma yapılmıştır.

Kim ve Tanchoco (1991), Dijkstra yöntemine dayalı olarak kısa, çatışmasız AGV yollarını belirlemek için çift yönlü bir yol ağı kullanmıştır. Sabuncuoğlu, I., Hommertzheim (1992) esnek üretim sistemlerinde AGV görev çizelgeleme problemini basit simülasyonlar kullanarak araştırmışlardır. ZA Remba vd.(1997), Xiao Bing (1998), Veeravalli vd.(2002) AGV'lerin programlanması için analitik model önermişlerdir. Çoklu yük araçlarının programlanması için kesin bir formülasyon önermektedir. Vis vd. (2001), yarı otomatik konteyner terminalleri için gereken AGV sayısını belirlemek için AGV görev çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Kim ve Bae (2004), karma tamsayılı programlama modelini kurmuş ve otomatikleştirilmiş uçbirimler için AGV çizelgeleme probleminin çözümünde onu sezgisel bir algoritma ile karşılaştırmıştır.

Nishi vd. (2011) otomatik yönlendirmeli araçlar için eşzamanlı programlama ve çatışmasız yönlendirme problemlerini çözmek için iki seviyeli bir ayrıştırma algoritmasını ele almıştır. Genel amaç, bu görevlerle ilgili işlerin toplam ağırlıklı gecikmesini en aza indirmektir. Karma tamsayılı formülasyon iki seviyeye ayrıştırılmıştır, ana seviye görev ataması ve çizelgeleme alt seviye ise rotalama alt problemidir. Önerilen yöntemin etkinliği hesaplamalı deneysel olarak da araştırılmıştır.

Zheng vd. (2014), bir üretim sisteminde AGV çizelgeleme problemini çözmek için yasaklı aramaya dayalı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır. Bu yaklaşımın eşzamanlı çizelgeleme problemi için uygun ve verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Luo ve Wu (2015), operasyonel verimliliği artırmak için Genetik Algoritma (GA) tarafından,

otomatikleştirilmiş terminallerde AGV'lerin ve rıhtım vinçlerinin çizelgelenmesi için karma tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Jamrus vd. (2018), üretim süresini en aza indirmek için bir yarı iletken üretim sisteminde Esnek Atölye Çizelgeleme Problemini (Flexible Job Shop Scheduling Problem-FJSP) çalışmıştır. Problemi etkin bir şekilde çözmek için Cauchy dağılımı tabanlı operatörler ile bir Parçacık Sürü Eniyileme (Particle Swarm Optimization-PSO) algoritmasının melezini oluşturmuşlardır.

Üretim sistemleri içinde birden fazla AGV'nin yol planlaması hakkında birkaç çalışma yapılmıştır. Fan vd. (2015) karmaşık bir esnek imalat sistemini araştırmış ve çarpışmayı önlemek için dinamik bir dizi AGV yolu tasarlamışlardır. Optimal AGV yolu (yani, en etkili malzeme akışına sahip olan yol), Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA) algoritması uygulanarak tanımlanmıştır.

Lombard vd. (2016), AGV taşımacılığında çarpışma ve kilitlenmeleri önlemek aynı zamanda verimliliği artırmak için çapraz bir güvenlik koordinasyon yönetim planı ortaya koymuştur. Ji vd. (2017), ideal yolları izlemek ve olası çarpışma yörüngelerini simüle etmek için 3D teknolojisini kullanarak çok kısıtlı bir model tahmine dayanan dinamik, çarpışmasız yol planlaması uygulamışlardır.

Fazlollahtabar ve Saidi-Mehrabad (2015), çoklu AGV çizelgeleme ve yol planlama problemini Sezgisel Algoritma Uyarlanabilir Dinamik Program Sezgiseli (Heuristic Algorithm Adapative Dynamic Program Heuristic-ADHP) ile çözerek bir üretim sisteminde gecikme ve kilitlenme maliyetini en aza indirmeye çalışmışlardır.

Fabrika içi taşımalarda kullanılan araçların rotalanmasına dair literatürden anlaşıldığı üzere bazı araştırmacılar ilgili problemin çözümünü elde etmede kesin çözüm yöntemleri, bazı araştırmacılar ise ilgili problemin çözümüne yönelik olarak sezgisel algoritma önermiştir. İlgili sezgisel algoritmalar probleme özgü sezgiseller ve metasezgisel algoritmalar olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.4.Çözüm Yöntemleri

AGV araç rotalama problemlerinde genel olarak, eniyileme teknikleri üç kategoride sınıflandırılır. Kesin çözüm yaklaşımları, sezgisel yöntemler ve metasezgisel yöntemler. Kesin çözüm yaklaşımları bütünsel eniyi çözümü aramaktadır. Sezgisel yöntemler kısa sürede çözüm stratejileri türetmek için problem özelliklerinden yararlanan probleme özgü yaklaşımlardır. Metasezgisel yöntemler belirli bir problem çeşidine uyacak özel bir sezgisel yöntem geliştirmeye yönelik hem genel bir yapı hem de strateji kılavuzu sağlayan genel bir çözüm yöntemidir. Kısacası birçok eniyileme problemine uygulanabilen genel amaçlı sezgisellerdir (Fazlollahtabar ve Saidi-Mehrabad, 2013).

3.4.1. Kesin çözüm yöntemleri

Literatürde ilgili problemi kesin çözüm yöntemlerinden Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming-MILP) ile çözen çalışmalar yaygın olup Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Kesin Çözüm Yöntemi Kullanılan Çalışmalar

Tarih	Araştırmacı	Çalışma	Yöntem
2006	Akıllıoğlu vd.	Dizel Enjektör Üretimi Yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistemi Tasarımı	Karma Tamsayılı Matematiksel Model
2012	Kılıç vd.	Tesis İçi Milk-Run Dağıtım Sistemleri için Sınıflandırma ve Modelleme	Matematiksel model
2013	Kılıç ve Durmuşoğlu	Yalın Üretim Ortamında Periyodik Malzeme Teslimatı İçin Matematiksel Bir Model ve Sezgisel Bir Yaklaşım	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli
2017	Emde ve Gendreau	Otomotiv Montaj Hattını Beslemek Üzere Tesis İçi Araçların Çizelgelenmesi	Karma Tamsayılı Matematiksel Model
2018	Şatoğlu ve Sipahioğlu	Montaj Hatlarında Malzeme Tedarik Sistemi için Atama Tabanlı Modelleme Yaklaşımı	Atama Tabanlı Matematiksel Model
2019	Büyüközkan vd.	Beyaz Eşya Endüstrisinde Fabrika İçi Milk-Run Sistemi için Matematiksel Model ve Matsezgisel Algoritma	Matematiksel model
2019	Sipahioğlu ve Altın	Tesis İçi Milk-Run Rotalama Problemi için Matematiksel Model	Karma Tamsayılı Matematiksel Model
2020	Grzegorz vd.	Milk-Run Trafik Sistemleri Prototopi için Referans Model	Karma Tamsayılı Matematiksel Model

Çizelge 3.1'de sunulan çalışmalar izleyen kısımda detaylandırılmıştır.

Akıllıoğlu ve ark. (2006) dizel enjektör üretimi yapan bir şirket için fabrika içi çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarlamışlardır. Rota ve döngü süresi elde etmek için Karma Tamsayı Matematiksel Model önermişlerdir. Bu modelin amacı, toplam stok ve dağıtım maliyetlerini en aza indirmektir.

Kılıç vd. (2012) milk-run dağıtım sistemini sınıflandırmış ve her durum için bir matematiksel model geliştirmiştir. Önerilen matematiksel modellerin amaç işlevi, tesis içi milk-run sisteminde araç sayısını ve toplam kat edilen mesafeyi en aza indirmektir. Bu çalışmadaki en önemli bulgu, birden fazla rotaya sahip milk-run trenlerinin, tek rotalı trenlere göre daha avantajlı olmasıdır.

Kılıç ve Durmuşoğlu (2013) yalın üretim ortamında periyodik malzeme teslimatına odaklanmış ve nakliye maliyetlerini en aza indirmek için Karma Bir Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli önermişlerdir.

Emde ve Gendreau (2017) parçaları otomotiv montaj hatlarına beslemek için önceden tanımlanmış rotalarla çekme treninin zaman planlamasını araştırmıştır. Tesis içi stokmaliyetini en aza indirmek İçin Karma Tamsayılı Matematiksel Model geliştirmiştir.

Şatoğlu ve Sipahioğlu (2018) montaj hatlarının tam zamanında malzeme tedarik sistemi için iki farklı atama tabanlı matematiksel model önermişlerdir. Modellerden biri, bütünsel eniyi çözümü elde etmeyi garanti etmez, ancak bu model hesaplama süresi açısından daha iyi performans göstermektedir.

Büyüközkan ve ark. (2019) beyaz eşya endüstrisinde fabrika içi milk-run sistemi uygulamasına odaklanmış, montaj hatlarının operasyonlarını sürdürmek için, önceden belirlenmiş periyotlarla tek araçlı çalışan sistem için matematiksel bir model önermişlerdir.

Sipahioğlu ve Altın (2019), önceden belirlenmiş periyotlarla fabrika içi milk-run sistemi ile uğraşmışlardır. AGV'ler için milk-run rotaları ve süreleri elde etmek için yeni bir Karma Tam sayılı Matematiksel Model geliştirmişlerdir. Bu model, istasyonlar için ayrı

teslimatlara izin verir ve römorklar ekleyerek araç kapasitesini artırır. Ayrıca önerilen model, diğer modellerle kıyaslandığında eniyi çözümü elde etmek için oldukça kısa hesaplama süresine sahiptir.

Grzegorz vd. (2020) tesis içi milk-run sisteminde araç rotalama ve çizelgeleme problemlerinin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Belirli yükleme ve boşaltma noktalarına zamanında ürün teslimatı için karma tamsayılı matematiksel model önermişlerdir.

3.4.2. Sezgisel algoritmalar

Literatürde ilgili problemi sezgisel algoritma kullanarak ele alan çalışmalar Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2.Sezgisel Algoritma Kullanılan Çalışmalar

Tarih	Araştırmacı	Çalışma	Yöntem
2012	Golz vd.	Montaj Hatlarında Parça Besleme Sistemi	İki aşamalı sezgisel çözüm prosedürü
2013	Gyulai vd.	Atölye Lojistiği için Milk-Run Araç Yönlendirme Sistemi	Sezgisel ve yerel arama yöntemi
2013	Kılıç ve Durmuşoğlu	Yalın Üretim Ortamında Periyodik Malzeme Teslimatı için Matematiksel Bir Model ve Sezgisel Bir Yaklaşım	Sezgisel algoritma

Golz vd. (2012) gerekli mekik sürücüsü sayısını en aza indirmek için önceden tanımlanmış rotalarla tam zamanlı parça tedarik sistemini araştırmış ve iki aşamadan oluşan sezgisel bir çözüm prosedürü geliştirmiştir.

Gyulai vd. (2013) başlangıç çözümü üretmek için bir sezgisel algoritma ve araç rotalama problemini çözmek tesis içi milk-run planlama probleminde rotaları elde etmek amacıyla yerel arama yöntemi önermiştir.

Kılıç ve Durmuşoğlu (2013) yalın üretim ortamında periyodik malzeme teslimatına odaklanmış ve nakliye maliyetlerini en aza indirmek için karma bir tamsayı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Fakat önerilen matematiksel model ile büyük boyutlu problemler için en iyi sonuçları makul çözüm sürelerinde elde edemediklerinden dolayı ilgili problemin çözümü için sezgisel yöntem önermişlerdir.

3.4.3. Metasezgisel algoritmalar

Literatürde ilgili problemi Yasaklı Arama (Tabu Search-TS), Genetik Algoritma (Genetic Algorithm-GA), Parçacık Sürü Eniyileme (Particle Swarm Optimization -PSO), Karınca Koloni Eniyileme (Ant Colony Optimization-ACO), Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony-ABC) gibi metasezgisel algoritmalar kullanarak ele alan çalışmalar Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Metasezgisel Algoritma Kullanılan Çalışmalar

Tarih	Araştırmacı	Çalışma	Yöntem
1999	Gendreau	Gerçek Zamanlı Araç Yönlendirme ve Sevkiyatı için Paralel Yasaklı Arama	Yasaklı Arama Algoritması
2005	Jerald vd.	Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasını Kullanarak Esnek Üretim Sistemlerinin Eniyileme	Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi Algoritması, Memetik Algoritma ve Parçacık Sürü Eniyileme Algoritması
2008	Zanjirani Farahani vd.	Yasaklı Arama ve Genetik Algoritma ile AGV Serim Dizaynı Problemi	Yasaklı Arama Algoritması ve Genetik Algoritma

Çizelge 3.3.Metasezgisel Algoritma Kullanılan Çalışmalar (devam)

Tarih	Araştırmacı	Çalışma	Yöntem
2008	Tavakkoli-Moghaddam	Tavlama Benzetimi Algoritması ile "Dengeli Akış Stratejisine" Dayalı AGV Sistemleri	Tavlama Benzetimi Algoritması
2008	Shirazi vd.	Altı Sigma Tabanlı Çok Amaçlı Eniyileme	Karınca Koloni Eniyileme Algoritması
2016	Fathi vd.	Montaj Hatlarında Parça Besleme Problemi için Değiştirilmiş Edilmiş Parçacık Sürü Eniyileme Algoritması	Değiştirilmiş Parçacık Sürü Eniyileme Yöntemi
2019	Mao vd.	Otomobil Parçalarının Toplanmasında Milk-Run Yönlendirme Problemi	Genetik Algoritma
2019	Büyüközkan ve Şatoğlu	Fabrika İçi Milk-Run Tasarımı için Matematiksel Bir Model ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
2019	Büyüközkan vd.	Beyaz Eşya Endüstrisinde Fabrika İçi Milk-Run Sistemi için Matematiksel Model ve Matsezgisel Algoritma	Mat-Sezgisel Algoritma
2020	Zhou ve Zhu	Karma Montaj Hatları İçin Tesis İçi Milk-Run Dağıtımının Çekici Trenlerinin Planlanması	Klonal Seçim Algoritması

Çizelge 3.3'te sunulan çalışmalar izleyen kısımda detaylandırılmıştır.

Dinamik araç rotalama problemleri de ulaşım literatüründe incelenmiştir. Gerçek zamanlı olarak birden fazla hizmet talebinin araçlar tarafından karşılanması gerekir. Psaraftis (1988) statik ve dinamik araç rotalama arasındaki farkları çalışmasında belirtmiştir. Gendreau vd. (1999) ise gerçek zamanlı araç yönlendirme ve sevkiyat için paralel bir Yasaklı Arama yöntemi önermişlerdir.

Jerald vd. (2005) çalışmalarında eniyilenmiş çizelgeleme oluşturmak için farklı zamanlama mekanizmaları tasarlamışlardır. Birden fazla hedefi göz önünde bulundurarak, yani makinenin boşta kalma süresini en aza indirgemek ve son teslim tarihini aynı anda karşılayamamanın toplam ceza maliyetini en aza indirgemek için, Genetik Algoritma (GA), Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing-SA) algoritması, Memetik Algoritma (MA) ve PSO gibi geleneksel olmayan yaklaşımları kullanmışlardır. Sunulan MA, esasen SA unsuruna sahip bir genetik algoritmadır. Farklı eniyileme algoritmalarının (MA, GA, SA ve PSA) sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

Bir diğer çalışmalarında ise Jerald vd. (2006) Uyarlanabilir Genetik Algoritma (Adapting Genetic Algorithm-AGA) adı verilen geleneksel olmayan bir eniyileme tekniğini kullanarak belirli bir Esnek İmalat Sistemi (Flexible Manufacturing System-FMS) ortamı için parçaların ve AGV'lerin eşzamanlı planlamasını incelemiştir. Dikkate alınan 16 makine ve 43 parça için AGV planlama birleşik bir amaç için (ceza maliyetini en aza indirmek ve makinenin boşta kalma süresini en aza indirmek) AGA yardımıyla çözülmüştür. Sonuçlar, geleneksel GA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tavakkoli-Moghaddam vd. (2008), çalışmalarında hücresel üretim sisteminde n makine ve N döngü için Doğrusal Olmayan Tamsayılı Matematiksel Model (Nonlinear Integer Mathematical Model-NIMM) önermişlerdir. Amaç hem döngü içi hem döngü dışı akışı en aza indirmektir. Önerilen modeli çözmede kesin yöntemlerin hesaplama zorlukları nedeniyle, bir SA algoritması önermiş algoritmanın verimliliğini göstermek için rastgele bir dizi test problemi oluşturulmuş ve önerilen SA tarafından çözülmüştür. Son olarak, sonuçlar hem Lingo yazılımı hem de önerilen SA algoritması tarafından raporlanmıştır.

Shirazi vd. (2008), İkili Otomatik Yönlendirmeli Araçlarda (Tandem Automated Guided Vehicle) iş yükü sınırlamasını göz önünde bulundurarak, döngü içi ve döngü arası malzeme akışını en aza indirmeye ve hücre içi akış miktarını en aza indirmeye yönelik doğrusal olmayan çok amaçlı bir problemi çözümlemişlerdir. Malzeme akışının değişkenliğini azaltmak ve dengeli bölge düzeni oluşturmak için, Altı Sigma yaklaşımına dayalı olarak probleme bazı yeni kısıtlamalar eklenmiştir. Makine gruplama probleminin karmaşıklığından dolayı, bu modeli çözmek için değiştirilmiş bir Karınca Kolonisi Eniyileme Algoritması kullanılmıştır. Önerilen modelin etkinliğini doğrulamak için sayısal gösterimler yapılmıştır.

Zanjirani Farahani vd.(2008) yaptıkları çalışmada, ardışık AGV sistemlerini tasarlamak için yasaklı arama ve genetik algoritma geliştirilmesini sağlamışlardır. Amaç, sistemin en büyük iş yükünü en aza indirmektir. Önerilen her iki algoritma kesişen döngülere sahip çözümleri engellemektedir.

Fathi vd. (2016) önceden belirlenmiş turlarla montaj hattı besleme problemini ele almışlardır. Değiştirilmiş parçacık sürü eniyileme yöntemini iki alt problemi çözmek için önermişlerdir. İlgili alt problemler tur çizelgeleme ve araç yükleme problemleridir.

Mao vd. (2019) otomobil parçalarını toplamak üzere rota elde etmede GA önermişlerdir. İlgili GA sayesinde problemin büyük boyutlu örneklerinde makul çözüm zamanlarında sonuç elde etmişlerdir.

Büyüközkan ve Şatoğlu (2019) tesis içi milk-run problemini çok araçlı, çok ürünlü ve sınırlı ara stok alanlarına sahip montaj istasyonlarının olduğu yapıda ele almışlardır. İlgili problemin büyük boyutlu örnekleri için yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir.

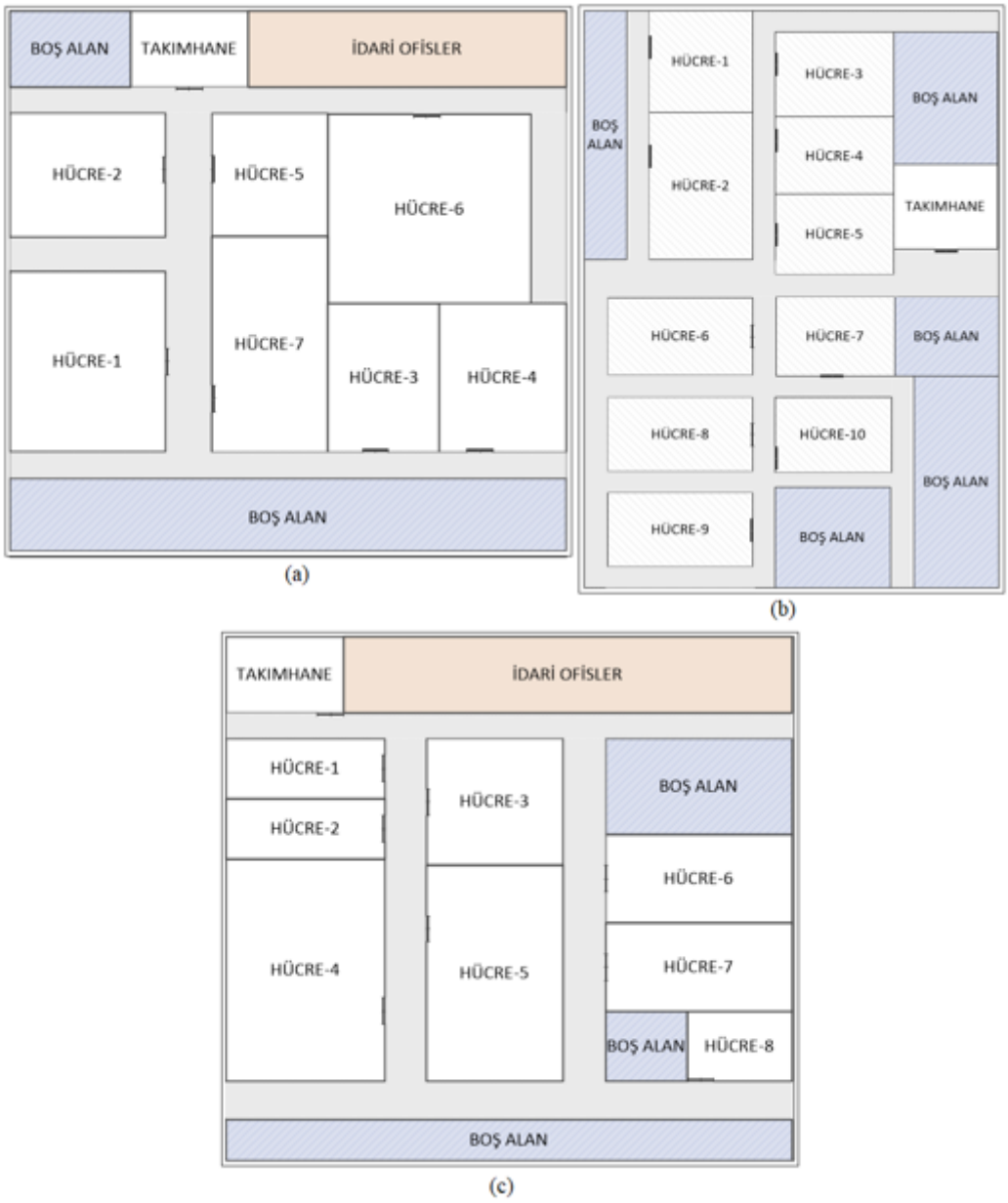
Büyüközkan vd. (2019) tesis içi milk-run problemini önceden belirlenmiş periyotlu çok ürünlü ve sınırlı ara stok alanlarına sahip montaj istasyonlarının olduğu yapıda ele almışlardır. Ayrıca çok araçlı durumda kaliteli çözümler elde etmek adına tek araçlı milk-run modeli mat-sezgisel algoritma yardımıyla ardıştırmalı bir şekilde çözülmüştür.

Zhou ve Zhu (2020) montaj hatları için çekici trenlerinin çizelgeleme ve yükleme problemlerini araştırmışlardır. Planlama ufku boyunca tüm istasyonlardaki stokları en aza indirgemek için kalkış saatini, her teslimattaki parça miktarını ve varış istasyonunu belirtilerek fabrika içi milk-run dağıtım modeli için klonal seçim algoritması geliştirmişlerdir.

4. TESİS İÇİNDE TOPLA DAĞIT İŞLERİ İÇİN ARAÇLARIN ROTALANMASI

4.1.Problemin Tanımlanması

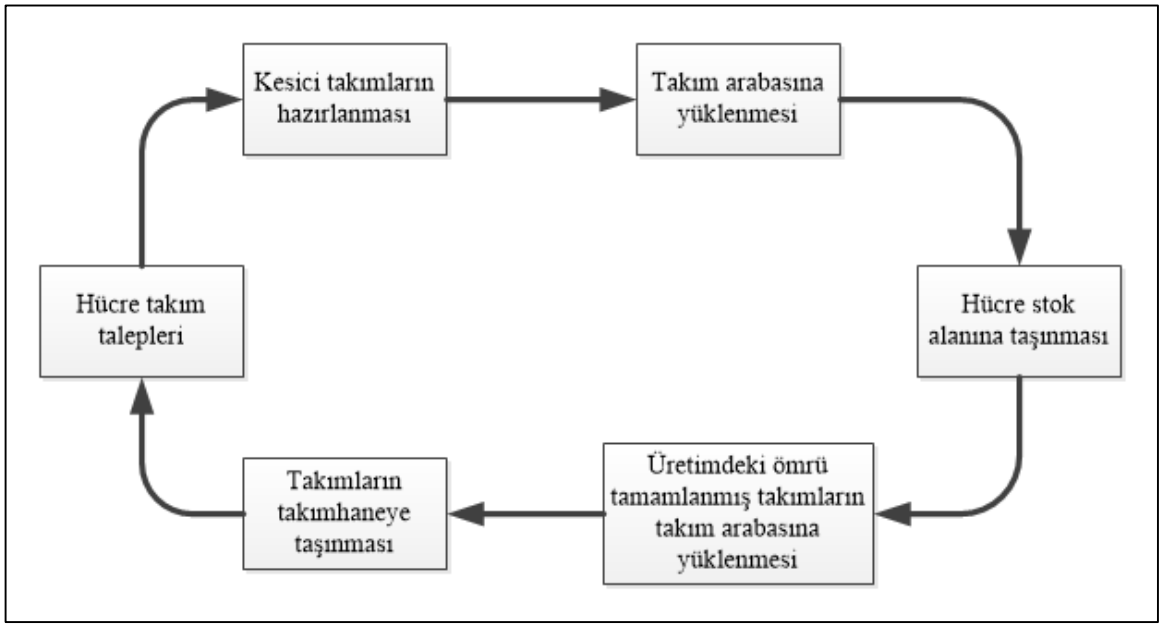
Hücresel üretim yapan firmalarda hücrelerin kesici takım ihtiyaçlarını zamanında karşılamak önemlidir. Bu ihtiyaçların takımhaneden zamanında karşılanması için AGV'lerin kullanımı yaygındır. Çalışmada üç farklı tesise ve üç farklı yerleşime sahip bir firma senaryosu üzerinden her bir yerleşimde bir takımhane bulunduğu varsayımıyla problem ele alınmıştır. Takımhaneden hücrelerin kesici takım taleplerini karşılamak için kullanılacak olan AGV ile tesis içi taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi amaçlanmaktadır. Hücrelere kesici takım taşımanın yapılacağı tesis yerleşimleri Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Tesis yerleşimi a) Yerleşim-1, b) Yerleşim-2, c) Yerleşim-3

Şekil 4.1'de yer alan 3 farklı yerleşim planı için rotalar oluşturulacaktır. Tüm tesislerde 1 tane takımhane bulunurken, Tesis-1'de 7 hücre, Tesis-2'de 10 hücre ve Tesis-3'te 8 hücre yer almaktadır. Hücrelerde yer alan tezgahlarda eş zamanlı olarak farklı operasyonlar yürütüldüğü için hücrelerin ihtiyaç duyduğu kesici takım çeşitleri ve miktarları birbirinden farklı olmaktadır. Bu durumda hücrelerin takımhaneden periyodik olarak beslenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyacın enküçük maliyetle karşılanması için tesis içinde kullanılacak olan AGV'lerin ve periyotlarının belirlenmesi gerekmektedir.

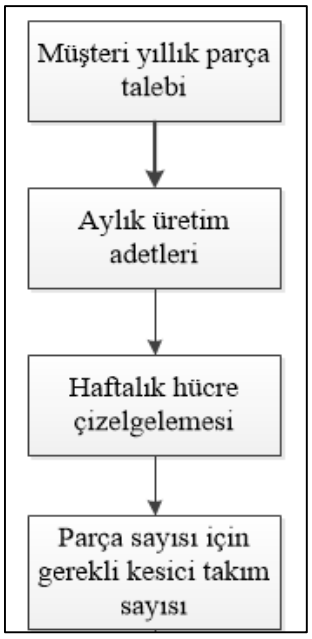
Çalışmada, amaç tüm hücrelerdeki stok noktalarına uğrayan AGV'lerin rotalanması, stok noktalarının kontrol altına alınarak taşıma maliyetini enküçüklemektir. Hücreler arası taşımalar dikkate alındığında ele alınacak problem topla – dağıt tesis içi milk-run (Pickup–delivery in–plant milk–run system) problemidir. Toplam taşıma maliyetini enküçükleyecek şekilde AGV'ler için rota ve periyotların elde edilmesi gerekmektedir. Her hücrede kullanılacak olan ve ömrü tamamlanmış kesici takımlar için yükleme ve boşaltmanın yapılacağı alanlar bulunmaktadır. Takımhanede tutuculara bağlanan kesici takımlar takım arabasına koyulmaktadır. Her bir AGV, 1 adet takım arabası ve takım arabası üzerinde konumlandırılmış 75 adet takım taşıyabilmektedir. Hücre içi taşımalar makine konumları sebebiyle dikkate alınmamıştır. Fabrika içerisindeki kesici takım tedarik süreci Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.Kesici takımların fabrika içi tedarik süreci

Haftalık çizelgeye göre belirlenen operasyonlarda kullanılacak takım talepleri sonrasında takımhanede kesici takımlar tutuculara bağlanır ve daha sonra takım arabasına yerleştirilir. Kesici takımların takımhanede tutuculara bağlanması ve takım arabasına yerleştirilmesi operatör vasıtasıyla yapılmaktadır. AGV takımhaneden takım arabasına yüklenmiş kesici takımları alır ve belirlenen rotalara göre hücrelerin toplama ve dağıtma taleplerini gerçekleştirir. Hücrelerde bulunan ömrü tamamlanmış kesici takımların takım

arabasına yüklenmesi yine operatör vasıtası ile olmaktadır. Rotasını tamamlayan AGV takımhaneye gelerek takım arabasını takımhaneye bırakır (Şekil 4.2).
Hücrelerde kullanılacak kesici takım ihtiyaçlarının belirlenmesi süreci ise Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3.Kesici takım ihtiyaç belirleme şeması

Müşterilerin aylık olarak talep ettikleri parça taleplerine göre hücre çizelgelemesi haftalık olarak yapılmaktadır. Çizelgeleme belirlendikten sonra kesilecek parça sayısına ve parça operasyonuna bağlı olarak hücrede kullanılacak kesici takım talebi belirlenir. Kesici takım talebi her bir parçanın operasyonunda gerekli olan kesici kullanım miktarına göre net olarak belirlenebildiği için hücre ara stok alanında ihtiyaç duyulmayan kesici takım bekletilmemektedir (Şekil 4.3).

Problemin çözümünde varsayımlar şunlardır:

- Yerleşim planı sabittir. Mevcut yerleşim planında değişiklik yapılmadan araç rotalaması yapılacaktır.
- Tesis içinde kullanılacak yollardan çift yönlü AGV geçişi mümkündür. Yani aynı yol iki AGV tarafından kullanılabilmektedir.
- Hücre içi taşımalarda yerleşimden dolayı araç kullanılamamaktadır. Bu sebeple hücre içi taşımalar değerlendirilmeye alınmamaktadır.

- Sistemdeki araçlar homojendir.
- Hücrelerde ara stok alanı mevcut değildir.
- Her hücrede işlenecek parçalar belirli periyotlarla çizelgelenmekte ve ilgili çizelgeye göre hücrelerin kesici takım talepleri elde edilmektedir.
- AGV taşıma faaliyetleri çizelge sonucu elde edilen kesici takım taleplerine göre yapılmalıdır. Çok çeşitli kesici takım (multi – commodity) bulunmaktadır.
- Takımhaneden hücrelere kesici takım taşınabildiği gibi hücrelerden de takımhaneye ömrü dolmuş kesici takım taşınabilmektedir. Hücrelerin toplama ve dağıtma talepleri vardır. Problem bu haliyle topla dağıt problemi yapısındadır.
- Her hücre için kesici takım toplama ve dağıtım noktaları belirlidir.

Talaşlı imalat yapan bir işletmedeki benzer bir problem doğrultusunda probleme ilişkin parametreler belirlenmiştir.

- Takımhane ve hücreler arası mesafeler uzaklık matrisinde belirtilmiştir.
- AGV hızı 10 m/dk'dır.
- AGV yükleme ve boşaltma süresi eşit ve 0,5 dk'dır.
- Takım arabası 75 adet kesici takım taşıma kapasitesine sahiptir.
- AGV kullanma maliyeti 100 para birimi (PB)/AGV olarak alınmıştır. İlgili maliyet bir AGV'nin kullanılması durumunda ortaya çıkan maliyettir.
- Kesici takım taşıma maliyeti 2 PB/metre olarak alınmıştır. İlgili maliyet AGV ile kesici takım taşınırken katlanılan maliyet kalemidir.

Tesis içi kesici takım taşımada karşılaşılan probleme ait karakteristik ve parametre değerleri incelendiğinde, ele alınacak problemin aslında tesis içinde döngüsel taşımayı sağlayacak olan milk-run sistemi olduğu tespit edilmektedir.

Tesis 1 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 7 hücrenin 5 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tesis 1'e ait uzaklık matrisi

	Takımhane	**Hücre-1**	**Hücre-2**	**Hücre-3**	**Hücre-4**	**Hücre-5**	**Hücre-6**	**Hücre-7**
Takımhane	0	54	24	88	108	24	48	60
Hücre-1	54	0	30	42	62	38	94	14
Hücre-2	24	30	0	72	92	8	64	44
Hücre-3	88	42	72	0	20	64	120	28
Hücre-4	108	62	92	20	0	84	140	48
Hücre-5	24	38	8	64	84	0	56	36
Hücre-6	48	94	64	120	140	56	0	92
Hücre-7	60	14	44	28	48	36	92	0

Çizelge 4.1'e göre Hücre-1 ve Hücre-5 arasındaki mesafe 38 metre, Hücre-6 ve Hücre-2 arasındaki mesafe 64 metredir.

Çizelge 4.2. Tesis 1'e ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri

İş	**Toplama Talepleri**					**Dağıtma Talepleri**				
İstasyonları	**KT-1**	**KT-2**	**KT-3**	**KT-4**	**KT-5**	**KT-1**	**KT-2**	**KT-3**	**KT-4**	**KT-5**
Hücre-1	2	3	2	10	0	3	2	10	0	0
Hücre-2	1	1	2	0	3	1	5	1	3	1
Hücre-3	1	8	0	0	4	1	4	0	1	0
Hücre-4	0	2	1	6	7	1	5	1	2	6
Hücre-5	0	2	7	2	6	2	3	1	5	0
Hücre-6	6	1	3	5	8	3	5	3	3	1
Hücre-7	2	1	0	3	2	2	1	1	5	8

Çizelge 4.2'ye göre Hücre-1'de ömrü tamamlanmış kesici takımlar; KT-1'den 2 adet, KT-3'den 2 adet olarak görülmektedir. Aynı şekilde takım talebi KT-1'den 3 adet, KT-3'den 10 adettir.

Tesis 2 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 10 hücrenin 3 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tesis 2'ye ait uzaklık matrisi

	Takımhane	**Hücre-1**	**Hücre-2**	**Hücre-3**	**Hücre-4**	**Hücre-5**	**Hücre-6**	**Hücre-7**	**Hücre-8**	**Hücre-9**	**Hücre-10**
Takımhane	0	118	108	70	62	46	54	74	76	98	70
Hücre-1	118	0	10	128	120	104	96	132	118	140	128
Hücre-2	108	10	0	118	110	94	86	122	108	130	118
Hücre-3	70	128	118	0	8	24	64	84	86	108	80
Hücre-4	62	120	110	8	0	16	56	76	78	100	72
Hücre-5	46	104	94	24	16	0	40	60	62	84	56
Hücre-6	54	96	86	64	56	40	0	36	22	44	32
Hücre-7	74	132	122	84	76	60	36	0	42	64	36
Hücre-8	76	118	108	86	78	62	22	42	0	22	10
Hücre-9	98	140	130	108	100	84	44	64	22	0	28
Hücre-10	70	128	118	80	72	56	32	36	10	28	0

Çizelge 4.3’te Tesis 2 için hücreler arası ve takımhane ile hücreler arası mesafeler gösterilmiştir. Örneğin; Hücre-1 ve Hücre-5 arasındaki mesafe 104 metre, Hücre-6 ve takımhane arasındaki mesafe 54 metredir.

Çizelge 4.4.Tesis 2'ye ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri

İş	**Toplama Talepleri**			**Dağıtma Talepleri**		
İstasyonları	**KT-1**	**KT-2**	**KT-3**	**KT-1**	**KT-2**	**KT-3**
Hücre-1	3	2	5	5	9	8
Hücre-2	0	8	1	8	1	3
Hücre-3	0	5	9	3	5	1
Hücre-4	4	9	6	1	9	0
Hücre-5	8	6	3	5	2	7
Hücre-6	2	3	6	0	8	2
Hücre-7	4	3	4	7	7	9
Hücre-8	3	7	0	9	8	6
Hücre-9	3	9	5	8	3	6
Hücre-10	0	3	0	8	5	1

Çizelge 4.4’e göre Hücre-1’in ömrü tamamlanmış kesici takım KT-1’den 3 adet, KT-2’den 2 adet, KT-3’den 5 adet takım bulunmaktadır. Aynı şekilde takım talebi KT-1’den 5 adet, KT-2’den 9 adet, KT-3’den 8 adettir. Hücre 1’den toplamda 10 ömrünü tamamlamış kesici takım alınacak, 22 yeni kesici takım bırakılacaktır.

Tesis 3 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 8 hücrenin 7 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri sırasıyla Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5.Tesis 3'e ait uzaklık matrisi

	Takımhane	**Hücre-1**	**Hücre-2**	**Hücre-3**	**Hücre-4**	**Hücre-5**	**Hücre-6**	**Hücre-7**	**Hücre-8**
Takımhane	0	13	21	21	45	37	49	59	79
Hücre-1	13	0	8	8	32	24	48	58	78
Hücre-2	21	8	0	8	24	16	56	64	86
Hücre-3	21	8	8	0	32	16	48	58	78
Hücre-4	45	32	24	32	0	16	52	42	38
Hücre-5	37	24	16	16	16	0	60	50	46
Hücre-6	49	48	56	48	52	60	0	10	30
Hücre-7	59	58	64	58	42	50	10	0	20
Hücre-8	79	78	86	78	38	46	30	20	0

Çizelge 4.5’e göre Hücre-1 ve Hücre-5 arasındaki mesafe 24 metre, Hücre-3 ve takımhane arasındaki mesafe 21 metredir.

Çizelge 4.6. Tesis 3'e ait kesici takım toplama ve dağıtma talepleri

	Toplama Talepleri							**Dağıtma Talepleri**						
	KT-1	**KT-2**	**KT-3**	**KT-4**	**KT-5**	**KT-6**	**KT-7**	**KT-1**	**KT-2**	**KT-3**	**KT-4**	**KT-5**	**KT-6**	**KT-7**
Hücre-1	1	3	2	6	0	1	5	0	5	0	0	1	4	1
Hücre-2	1	2	1	0	0	0	4	0	6	0	1	0	2	3
Hücre-3	1	3	0	5	3	7	1	1	3	0	2	1	3	0
Hücre-4	4	1	1	2	1	4	4	0	2	1	2	1	2	0
Hücre-5	1	3	5	5	0	3	0	1	0	2	1	0	6	4
Hücre-6	0	5	1	0	5	0	2	0	4	0	3	7	0	1
Hücre-7	1	4	2	0	1	1	0	1	0	4	0	2	0	2
Hücre-8	2	0	0	0	1	2	3	4	1	0	2	3	5	0

Çizelge 4.6'ya göre Hücre-1'de ömrü tamamlanmış kesici takım KT-1'den 1 adet, KT-3'den 2 adet iken yeni takım talebi KT-1'den 0 adet, KT-6'dan 4 adettir.

4.2.Matematiksel Model

Tez kapsamında ele alınan topla-dağıt tesis içi milk-run problemi için karma tamsayılı matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel model Montane ve Galvao (2006) tarafından önerilen modele AGV periyotları ile ilgili kısıt eklenmiş, modeldeki amaç fonksiyonu toplam maliyet olacak şekilde güncellenmiştir.

Matematiksel model geliştirilirken problemin aşağıdaki özellikleri dikkate alınmıştır.

- Hücrelerin toplama ve dağıtma talepleri eş zamanlı olarak karşılanmalıdır.
- Taşımada kullanılacak olan AGV'lerin kapasitesi her hücrede kontrol edilmeli ve toplama dağıtma işlemi yapılırken aşılmamalıdır.
- Hücrelerin kesici takım talepleri zamanında karşılanmalıdır.
- Kesici takım taşınması için izin verilen süre aşılmamalıdır.

İndisler:

i,j,t ∈ N	Düğüm kümesi
k ∈ K	Araç kümesi

Parametreler:

Q	Araç kapasitesi
v	Aracın hızı (m/dk)
c_{ij}	Düğümler arası mesafe
s_i	i.Müşterinin servis süresi (dk)
d_i	i.Müşteriye teslim edilecek ürün miktarı
p_i	i.Müşteriden toplanacak ürün miktarı
b_m	Birim malzeme taşıma maliyeti (PB/m)
b_k	Araç sabit kullanma maliyeti (PB/AGV)
p_{max}	Talebin karşılanması için izin verilen en büyük süre
l_{max}	Kullanılabilecek en büyük araç sayısı

Karar Değişkenleri:

$x_{ijk} =$	$\begin{cases} 1, \text{k. aracın i. müşteriden j. müşteriye gitmesi durumunda} \\ 0, \quad \text{diğer durumda} \end{cases}$
$u_i =$	Alt tur engelleme kısıtında kullanılan değişkenler
$y_{ij} =$	(i,j) ayrıtı boyunca taşınacak toplama talep miktarı
$w_{ij} =$	(i,j) ayrıtı boyunca taşınacak dağıtma talep miktarı
l=	kullanılan araç sayısı
per_k	k. aracın periyodu

Kısıtlar:

$$\sum_j x_{ijk} = 1 \qquad \forall i,k \quad i \neq j \quad i = 1 \qquad (1)$$

$$\sum_i x_{ijk} = 1 \qquad \forall j,k \quad i \neq j \quad j = 1 \qquad (2)$$

$$\sum_j \sum_k x_{ijk} = 1 \qquad \forall i > 1 \qquad i \neq j \qquad (3)$$

$$\sum_i x_{itk} = \sum_j x_{tjk} \qquad \forall t,k \quad i \neq t \quad j \neq t \qquad (4)$$

$$\sum_i y_{ji} - \sum_i y_{ij} = p_j \qquad \forall j \qquad (5)$$

$$\sum_i w_{ij} - \sum_i w_{ji} = d_j \qquad \forall j \qquad (6)$$

$$y_{ij} + w_{ij} \leq Q * \sum_k x_{ijk} \qquad \forall i,j \qquad (7)$$

$$\sum_i \sum_j c_{ij} * x_{ijk}/v + \sum_{i,j\neq 1} \sum_j s_i * x_{ijk} = per_k \qquad \forall k \qquad (8)$$

$$per_k \leq p_{max} \qquad \forall k \qquad (9)$$

$$\sum_i x_{ijk} = l \qquad \forall i,k \quad i = 1, i \neq j \qquad (10)$$

$$l \leq l_{max} \qquad (11)$$

$$u_i - u_j + n * x_{ijk} \leq n - 1 \qquad \forall i,j,k \quad i > 1, j > 1, i \neq j \qquad (12)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, y_{ij} \geq 0, w_{ij} \geq 0, u_i \geq 0, \quad l \geq 0 \; ve \; tamsayılı, \quad per_k \geq 0 \qquad \forall i,j,k \qquad (13)$$

$$enk\ z = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} * b_m * x_{ijk} + l * b_k \qquad (14)$$

Önerilen matematiksel modelde amaç fonksiyonu 14 numaralı denklem ile tarif edilmiştir. Amaç fonksiyonu birim malzeme taşıma ve sabit araç kullanma maliyetlerinin enküçüklenmesidir. 1. kısıt depodan çıkan her bir aracın yalnızca bir müşteriye gönderileceğini ifade etmektedir. 2. kısıt depoya her bir araçla yalnızca bir müşteriden geri dönüleceğini ifade etmektedir. 3. kısıt her müşterinin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edildiğini göstermektedir. 4. kısıt bir müşteriye giriş ve çıkış yapan aracın aynı olmasını garanti eder. 5. ve 6. kısıtlar müşterilerin toplama ve dağıtma taleplerinin karşılanmasını sağlamaktadır. 7. kısıt araç kapasitesinin aşılmasını engellemektedir. 8. kısıt araç perdiyodunun hesaplanmasını sağlar. 9. kısıt toplama ve dağıtma işleminde araç periyotlarının izin verilen periyot süresinden daha büyük olmasını engeller. 10. kısıt kullanılan araç sayısının hesaplanmasını sağlar. 11. kısıt kullanılan araç sayınının kullanılabilecek en büyük araç sayısını aşmasını engeller. 12. kısıt Miller-Tucker-Zemlin alt tur engelleme kısıtıdır. Alt turların oluşması engellenir. 13. kısıt işaret kısıtıdır ve karar

değişkenlerinin işaretlerini ifade etmektedir. Önerilen matematiksel modelde $K.N^2$ adet 0-1 tamsayılı karar değişkeni, 1 adet tamsayılı karar değişkeni, $2.N^2+N+K$ adet negatif olmayan karar değişkeni bulunmaktadır. Aynı zamanda ilgili modelde $K^2+N^2+K.N^2+3.N+3.K$ adet kısıt bulunmaktadır.

- Ele alınan tesis içi milk-run probleminin çözümüne yönelik geliştirilen matematiksel model örnek bir problem için çalıştırılmıştır. Önerilen model GAMS'in CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür.
- Her bir hücrenin toplama ve dağıtma talepleri bulunmaktadır. Hücrelerin bu talepleri eş zamanlı karşılanacaktır.
- AGV hızı 10 m/dk olarak alınmıştır. AGV sabit kullanma maliyeti 100 PB'dir. Birim malzeme taşıma maliyeti ise 2 PB'dir.
- Müşteri servis süresi (AGV yükleme boşaltma süresi) 0,5 dakikadır.
- Planlama ufku 1 gün, periyot ise 30 dakika olarak belirlenmiştir.

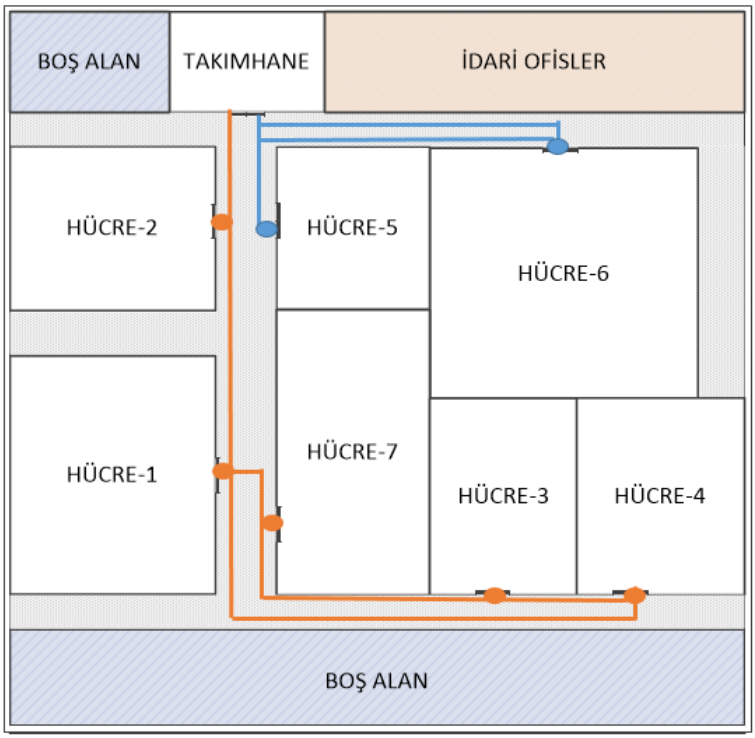
GAMS yazılımında kodlanan matematiksel model ile üç farklı tesis yerleşimine ait kesici takım toplama ve dağıtma problemleri çözülmüştür. Kullanılan bilgisayar Intel Core i5 1.6 GHz ve 8 GB Ram'e sahiptir. Buna göre Tesis 1 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 7 hücrenin 5 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki veriler kullanılarak çözülmüştür. Çözüm süresi yaklaşık 7 saniye olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve AGV rotaları Şekil 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.7. Tesis 1 için matematiksel model sonuçları

Araçlar	Elde Edilen Rotalar	Toplam Mesafe (m)	Elde Edilen Periyot Süreleri (dk)	Amaç Fonksiyonu Değeri (PB)
AGV-1	0 - 6 - 5 - 0	128	13,8	904
AGV-2	0 - 2 - 1 - 7 - 3 - 4 - 0	224	24,9	

Tesis 1 yerleşiminde 5 adet AGV'den 2 adedi kullanılmıştır. Elde edilen AGV rotalarına göre AGV-1 Hücre-6 ve Hücre-5'in kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılamıştır. AGV-2 ise Hücre-2, Hücre-1, Hücre-7, Hücre-3 ve Hücre-4'ün kesici takım

toplama ve dağıtma taleplerini karşılayacaktır. En büyük süre olarak belirlenen 30 dakikanın aşılmadığı ve AGV-1 13,8 dakikada, AGV-2 ise 24,9 dakikada hücrelerin kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşıladığı görülmüştür (Çizelge 4.7).



Şekil 4.4.Tesis 1 için elde edilen AGV rotaları

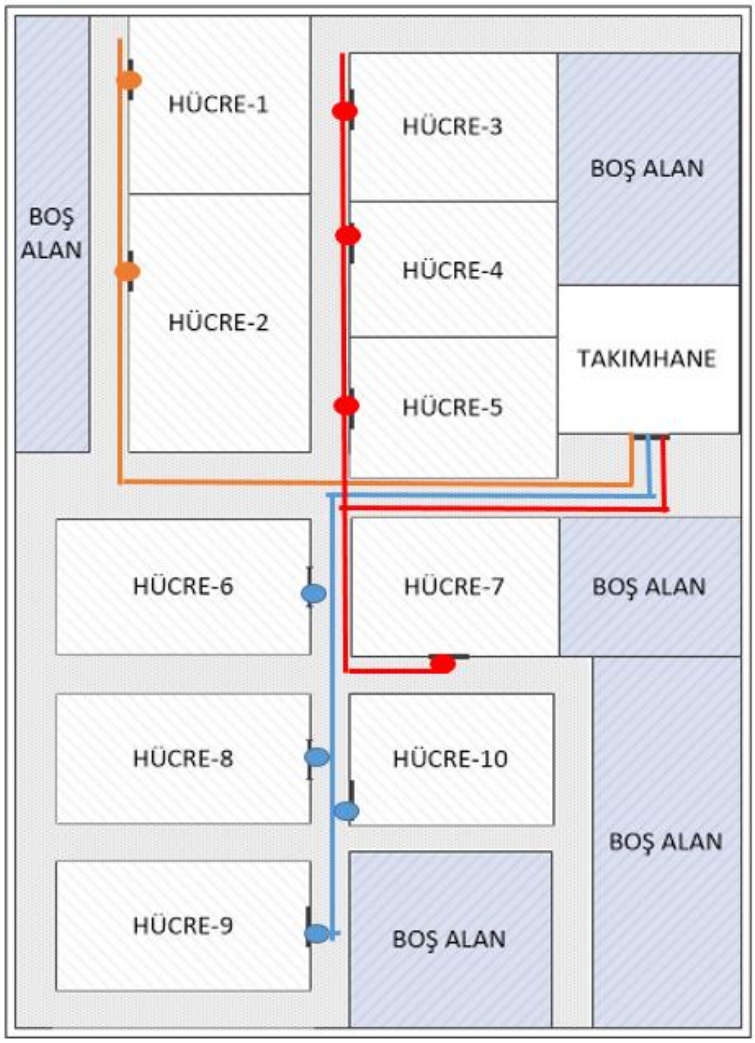
Şekil 4.4'te AGV-1 rotası mavi renk ile AGV-2 rotası turuncu renk ile gösterilmiştir. Toplam kat edilen mesafe ise AGV-1 için 128 metre, AGV-2 için 224 metredir. Amaç fonksiyon değeri ise 904 PB'dir.

Tesis 2 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 10 hücrenin 3 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'deki veriler kullanılarak çözülmüştür. Çözüm süresi yaklaşık 10 saniyedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8 ve AGV rotaları Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tesis 2 için matematiksel model sonuçları

Araçlar	Elde Edilen Rotalar	Toplam Mesafe (m)	Elde Edilen Periyot Süreleri (dk)	Amaç Fonksiyonu Değeri (PB)
AGV-1	0 - 7 - 4 - 3 - 5 - 0	228	24,8	
AGV-2	0 - 6 - 8 - 9 - 10 - 0	196	21,6	1620
AGV-3	0 - 2 - 1 - 0	236	24,6	

Tesis 2 yerleşiminde 5 adet AGV'den 3 adedi kullanılmıştır. Elde edilen AGV rotalarına göre AGV-1 Hücre-7, Hücre-4, Hücre-3 ve Hücre-5'in kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılamıştır. AGV-2 ise Hücre-6, Hücre-8, Hücre-9, Hücre-10'un, AGV-3 ise Hücre-2 ve Hücre-1'in kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılayacaktır. En büyük süre olarak belirlenen 30 dakikanın aşılmadığı ve AGV-1 24,8 dakikada, AGV-2 21,6 ve AGV-3 ise 24,6 dakikada hücrelerin kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılamıştır (Çizelge 4.8).



Şekil 4.5. Tesis 2 için elde edilen AGV rotaları

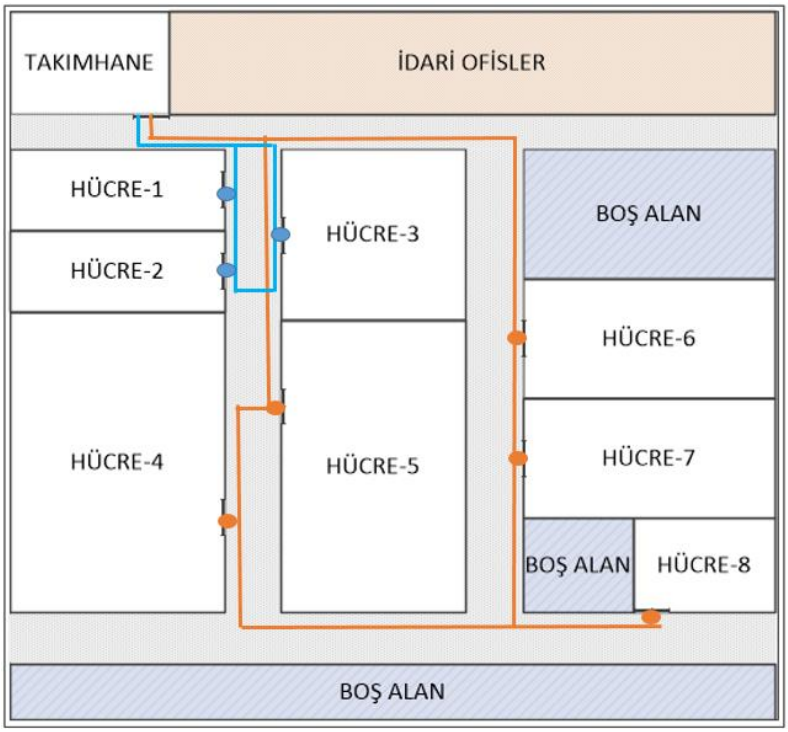
Şekil 4.5'te AGV-1 rotası mavi renk, AGV-2 rotası turuncu renk ve AGV-3 rotası ise yeşil renk ile gösterilmiştir. Toplam kat edilen mesafe ise AGV-1 için 228 metre, AGV-2 için 196 ve AGV-3 için 236 metredir. Amaç fonksiyon değeri ise 1620 PB'dir.

Tesis 3 yerleşimine ait hücreler arası uzaklık matrisi ve 8 hücrenin 7 farklı kesici takıma ait toplama ve dağıtma talepleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'daki veriler kullanılarak çözülmüştür. Çözüm süresi yaklaşık 8 saniyedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9 ve AGV rotaları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tesis 3 için matematiksel model sonuçları

Araçlar	Elde Edilen Rotalar	Toplam Mesafe (m)	Elde Edilen Periyot Süreleri (dk)	Amaç Fonksiyonu Değeri (PB)
AGV-1	0 - 5 - 4 - 8 - 7 - 6 - 0	170	19,5	640
AGV-2	0 - 1 - 2 - 3 - 0	50	6,5	

Tesis 3 yerleşiminde 5 adet AGV'den 2 adedi kullanılmıştır. Elde edilen AGV rotalarına göre AGV-1 Hücre-5, Hücre-4, Hücre-8, Hücre-7 ve Hücre-6'nın, AGV-2 ise Hücre-1, Hücre-2 ve Hücre-3'ün kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılamıştır. En büyük süre olarak belirlenen 30 dakikanın aşılmadığı ve AGV-1 19,5 dakikada, AGV-2 ise 6,5 dakikada hücrelerin kesici takım toplama ve dağıtma taleplerini karşılamıştır (Çizelge 4.9).



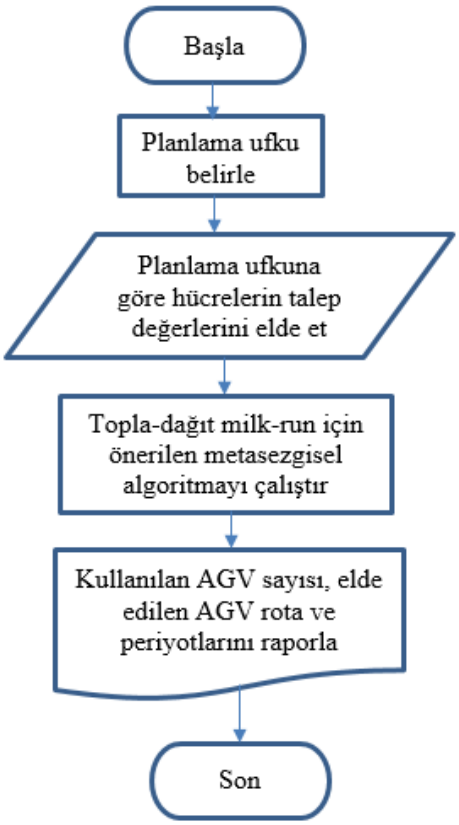
Şekil 4.6. Tesis 3 için elde edilen AGV rotaları

Şekil 4.6'da AGV-1 rotası mavi renk, AGV-2 rotası turuncu renk ile gösterilmiştir. Toplam kat edilen mesafe ise AGV-1 için 170 metre, AGV-2 için 50 metredir. Amaç fonksiyon değeri ise 640 PB'dir.

Önerilen matematiksel model 25 boyutlu yani 25 üretim hücresi ve 1 takımhaneden oluşan problemin çözümünde kullanılmıştır. GAMS/CPLEX çözücüsü 1 saat süre sınırı ile çalıştırılmıştır. Tamsayılı çözüm elde edilememiştir. Bir saatlik çözüm süresinde üst sınır değeri 1910 PB alt sınır değeri ise 1880 PB olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla elde edilecek en iyi çözüm değerinin bu iki değer arasında olması beklenmektedir. İlgili problemin çözümünü daha kısa çözüm sürelerinde elde edebilmek adına metasezgisel algoritma önerilmiştir.

4.3.Metasezgisel Yöntem

Tez kapsamında ele alınan problemde makul sürelerde kaliteli çözümlere erişmek için metasezgisel kullanılmıştır. AGV rota planlaması için akış şeması Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7.Rota planlama için akış şeması

Rota planlama için öncelikle planlama ufku belirlenir. Hücrelerin belirli bir zaman aralığında ihtiyaç duyacağı kesici takım çeşitleri ve miktarları elde edilir. Kesici takım çeşitleri için ara stok alanlarındaki kesici takım sayıları ve ihtiyaç duyulan kesici takım sayıları dikkate alınarak araç kapasiteleri aşılmaksızın hücrelerin ihtiyaç duyduğu kesici takımların zamanında hücrelerde olmasını garanti edecek, AGV rotalarının elde edilmesini sağlayacak olan metasezgisel algoritma çalıştırılır. Algoritma ile elde edilen sonuçlar; kullanılan AGV sayısı, AGV rota ve süreleri raporlanır.

Metasezgisel olarak Değişken Komşuluk Arama algoritması seçilmiştir. Değişken Komşuluk Arama algoritması Hansen ve Mladenovic tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir.

Bu algoritma aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik bir biçimde değiştirilmesi esasına dayanmaktadır. İlgili algoritma Tavlama Benzetimi ve Yasaklı Arama algoritmalarından farklı olarak mevcut çözümde ardışık olarak daha büyük değişikliklerin yapılmasını sağlayarak çözüm uzayında araştırma yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Komşu çözüm arama esnasında daha iyi bir çözüm bulunmuşsa mevcut çözümden daha iyi olan çözüme geçiş yapılır ve arama işlemi yeniden sistematik olarak devam ettirilir. Böylece daha iyi çözümlerin elde edilebileceği alanlara geçiş yapılarak kaliteli çözümlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Değişken Komşuluk Arama algoritmasının kullanımı kolay ve çeşitli problemlerin çözümü için hızlıca uyarlanabilir olması açısından literatürde kullanımı oldukça fazladır.

Literatürde, değişken komşuluk arama algoritmasının birçok çeşidi bulunmaktadır (Talbi,2009). Bunlar; Değişken Komşuluk İniş, Temel Değişken Komşuluk Arama, İndirgenmiş Değişken Komşuluk Arama ve Genel Değişken Komşuluk Arama algoritmalarıdır. Çalışmada Temel Değişken Komşuluk Arama (Basic Variable Neighborhood Search-BVNS) algoritması kullanılacaktır. İlgili algoritmanın performansı literatürde pek çok çalışma tarafından analiz edilmiştir (Gamino ve Araujo, 2017; Pardo vd., 2020).
Kodlanan metasezgisel algoritmanın sözde kodu izleyen kısımda sunulmuştur.

Temel Değişken Komşuluk Arama Algoritması Sözde Kodu (Talbi, 2009)

k: komşu çözüm türetme operatörü
N_k: komşuluk yapıları kümesini
s: başlangıç çözüm
f(s): başlangıç çözüme ait amaç fonksiyonu değeri
s' : komşu çözüm
$f(s')$: komşu çözüme ait amaç fonksiyonu değeri olmak üzere;

N_k komşuluk yapıları kümesini seç $(k = 1,2, \dots, k_{max})$
s başlangıç çözümü elde et
Repeat
  Repeat
    Sarsma (s'nin bir komşusu olan s' elde et)
    Mevcut çözüm s' ile k. komşuluk yapısını kullanarak eniyi komşu çözümü (s'') seç
    Eğer $f(s'') < f(s)$ ise;
      $s = s''$ ve $k = 1$ olarak belirle
    Aksi halde;
      k=k+1
  Until $(k = k_{max})$olana kadar
Until (Durma Kriteri Sağlanana kadar)
Bulunan iyi çözümü ilan et s_{best}, $f(s_{best})$

Temel Değişken Arama Algoritması eş zamanlı topla dağıt tesis içi milk-run problemi için Python ortamında kodlanmıştır. Ele alınan problem için çözüm gösterimi olarak permütasyon çözüm gösterimi kullanılmış ve başlangıç çözüm rassal olarak türetilmiştir. Komşu çözüm türetme operatörleri olarak ise literatürde sıkça kullanılan karşılıklı yer değiştirme, ekleme ve tersine çevirme operatörlerinden faydalanılmıştır. Durdurma kriteri olarak ise ardıştırma sayısı kullanılmıştır.

Geliştirilen Temel Değişken Komşuluk Arama yönteminde sistematik olarak kullanılacak olan komşuluk yapıları sırasıyla;

- Ekleme
- Karşılıklı yer değiştirme-1
- Karşılıklı yer değiştirme-2
- Karşılıklı yer değiştirme-3
- Tersine çevirme operatörleridir.

Verilen komşuluk yapılarından ekleme operatörü ile mevcut çözümdeki bir indisin değeri rassal olarak seçilen bir indise atanmaktadır. Karşılıklı yer değiştirme operatöründe ise iki adet indis rassal olarak seçilmekte ve bu değerler karşılıklı yer değiştirmektedir. Algoritmanın yapısında karşılıklı yer değiştirme operatörü farklı sayılarda kullanılarak

yeniden isimlendirilmiştir. İlgili operatör 1 kez kullanılıyorsa karşılıklı yer değiştirme-1 olarak, art arda 2 defa kullanılıyorsa karşılıklı yer değiştirme-2 olarak isimlendirilmiştir. Böylece bu operatörün 1 kez kullanılmasıyla mevcut çözümde 2 farklı indis değeri değişirken, 2 kez kullanılmasıyla 4 farklı indis değeri değişecektir. Böylece mevcut çözümden farklı komşu çözümlere erişme arzulanmaktadır. Tersine çevirme komşuluk yapısı ise algoritmanın sarsma mekanizmasında kullanılacaktır. Bunun sebebi ise mevcut çözümde büyük değişiklikler yaparak yerel eniyi noktalara takılmamaktır. Tersine çevirme operatörü arama uzayını her ardıştırmada farklı bölgelere çekmemesi için 10 ardıştırmada bir defa kullanılacaktır. Algoritmanın durdurma kriteri ise yapılacak olan toplam ardıştırma sayısıdır.

Ele alınan problemde araç kapasitesi ve araçlar için izin verilen periyot sürelerini aşmamak için ceza fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan ceza fonksiyonu ile birlikte eğer araç kapasitesinin veya araçlar için izin verilen periyot süresinin aşılması durumunda mevcut amaç fonksiyonu değeri aşılan miktarla ceza katsayısının çarpımı kadar arttırılacaktır. Ceza katsayısı ele alınan problemdeki en büyük mesafe değeri olarak alınmıştır.

Topla dağıt milk-run problemi üç farklı tesis yerleşimi için temel değişken komşuluk arama algoritması kullanılarak çözdürülmüştür. Algoritmanın durdurma kriteri olan toplam ardıştırma sayısı 5000 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Metasezgisel algoritma sonuçları

Tesis	Araçlar	Elde Edilen Rotalar	Toplam Mesafe (m)	Elde Edilen Periyot Süreleri (dk)	Amaç Fonksiyonu Değeri (PB)
Tesis-1	**AGV-1**	0 - 6 - 5 - 0	128	13,8	904
	AGV-2	0 - 2 - 1 - 7 - 3 - 4 - 0	224	24,9	
Tesis-2	**AGV-1**	0 - 7 - 4 - 3 - 5 - 0	228	24,8	1620
	AGV-2	0 - 6 - 8 - 9 - 10 - 0	196	21,6	
	AGV-3	0 - 2 - 1 - 0	236	24,6	
Tesis-3	**AGV-1**	0 - 5 - 4 - 8 - 7 - 6 - 0	170	19,5	640
	AGV-2	0 - 1 - 2 - 3 - 0	50	6,5	

Matematiksel model ile çözülen problemler Temel Değişken Komşuluk Arama algoritması kullanılarak da çözülmüştür.

Çözüm süresi her üç tesis için de yaklaşık 6 saniye olarak elde edilmiştir. Metasezgisel algoritma ile elde edilen sonuçlar ile matematiksel model ile elde edilen sonuçlar aynıdır. Bu da metasezgisel algoritmanın etkin olduğunu göstermektedir. Metasezgisel algoritma sonuçlarına göre AGV'nin 30 dakikalık periyot süresi aşılmamıştır. Matematiksel model ile elde edilen AGV rotaları metasezgisel algoritma ile de elde edilmiştir. Tesis-1'de 2 AGV, Tesis-2'de 3 AGV ve Tesis 3'de 2 AGV kullanılmıştır (Çizelge 4.10). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde problem için önerilen metasezgisel algoritma ile matematiksel model ile aynı sonuçlara erişilebilmiştir. Dolayısıyla önerilen metasezgisel algoritmanın kaliteli çözümler elde etme yeteneğinin olduğu düşünülmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında firmada yer alan farklı tesis yerleşimleri farklı senaryolar olarak bir önceki başlıkta yapılmıştır. Firmada hücre sayısı daha fazla olan tesisler için önerilen çözüm yaklaşımları kullanılarak tesis içi toplama ve dağıtma operasyonlarının yapılması planlanmaktadır. Bu sebeple farklı boyutlarda test problemleri türetilerek farklı senaryolar oluşturulmuş ve önerilen çözüm yaklaşımının performansı analiz edilmiştir. Yapılan analizler firmada yer alan diğer tesisler için bir ön çalışma niteliğinde olacak ve önerilen çözüm yaklaşımının uygunluğu değerlendirilmiş olacaktır. Bu kapsamda, tesis içi kesici takım toplama ve dağıtma problemi için beş farklı test problemi türetilmiştir.

Test problemi-1: 1 adet takımhane ve 25 adet hücre bulunmaktadır. İlgili hücrelerde kullanılmak üzere 3 farklı kesici takım yer almaktadır. Ayrıca takımhanede hücrelerin toplama ve dağıtma talebini karşılamak üzere kapasitesi 75 kesici takım olan 25 adet homojen AGV bulunmaktadır. Hücrelerin 30 dakikalık planlama ufkuna göre talep ettikleri 3 farklı kesici takım ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla AGV'lerin periyotları 30 dakikayı geçmemelidir.

Test problemi-2: 1 adet takımhane ve 50 adet hücre bulunmaktadır. İlgili hücrelerde kullanılmak üzere 5 farklı kesici takım yer almaktadır. Ayrıca takımhanede hücrelerin toplama ve dağıtma talebini karşılamak üzere kapasitesi 75 kesici takım olan 25 adet homojen AGV bulunmaktadır. Hücrelerin 30 dakikalık planlama ufkuna göre talep ettikleri 5 farklı kesici takım ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla AGV'lerin periyotları 30 dakikayı geçmemelidir.

Test problemi-3: 1 adet takımhane ve 75 adet hücre bulunmaktadır. İlgili hücrelerde kullanılmak üzere 4 farklı kesici takım yer almaktadır. Ayrıca takımhanede hücrelerin toplama ve dağıtma talebini karşılamak üzere kapasitesi 75 kesici takım olan 25 adet homojen AGV bulunmaktadır. Hücrelerin 30 dakikalık planlama ufkuna göre talep ettikleri 4 farklı kesici takım ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla AGV'lerin periyotları 30 dakikayı geçmemelidir.

Test problemi-4: 1 adet takımhane ve 100 adet hücre bulunmaktadır. İlgili hücrelerde kullanılmak üzere 4 farklı kesici takım yer almaktadır. Ayrıca takımhanede hücrelerin toplama ve dağıtma talebini karşılamak üzere kapasitesi 75 kesici takım olan 25 adet homojen AGV bulunmaktadır. Hücrelerin 30 dakikalık planlama ufkuna göre talep ettikleri 4 farklı kesici takım ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla AGV'lerin periyotları 30 dakikayı geçmemelidir.

Test problemi-5: 1 adet takımhane ve 125 adet hücre bulunmaktadır. İlgili hücrelerde kullanılmak üzere 3 farklı kesici takım yer almaktadır. Ayrıca takımhanede hücrelerin toplama ve dağıtma talebini karşılamak üzere kapasitesi 75 kesici takım olan 25 adet homojen AGV bulunmaktadır. Hücrelerin 30 dakikalık planlama ufkuna göre talep ettikleri 3 farklı kesici takım ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla AGV'lerin periyotları 30 dakikayı geçmemelidir.

Temel Değişken Komşuluk Arama algoritması ile farklı hücre sayısına ve farklı kesici takım çeşidine sahip 5 farklı test problemi çözülmüştür. Test problemlerinde AGV periyodu 30 dakika olarak belirlenmiştir. Metasezgisel algoritma sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Test problemleri sonuçları

	TEST PROBLEMİ 1	**TEST PROBLEMİ 2**	**TEST PROBLEMİ 3**	**TEST PROBLEMİ 4**	**TEST PROBLEMİ 5**
İstasyon Sayısı	25	50	75	100	125
Kesici Takım Çeşidi	3	5	4	4	3
Amaç Fonksiyonu (PB)	1890	3084	5644	7082	7980
Çözüm Süresi (sn)	20	70	160	283	386
İterasyon Sayısı	20000	40000	50000	75000	75000
Kullanılan Araç Sayısı	4	6	14	18	19
Araç Periyotları (dk)	27.8, 24.6, 20.2, 14.4	24.9, 24.3, 25.8, 25.6, 26.1, 22.5	14.1, 22.3, 14.4, 16.0, 17.7, 15.6, 20.4, 18.4, 17.5, 16.8, 14.2, 25.6, 14.5, 22.2	20.4, 19.6, 22.4, 20.1, 22.0, 10.3, 10.4,14.3, 14.7, 20.2, 17.8, 22.5, 19.6, 10.0, 15.2, 17.4, 15.2, 22.0	11.1, 11.0, 20.6, 28.0, 13.7, 20.4, 20.3, 18.6, 18.6, 22.9, 22.2, 23.8, 17.0, 20.4, 21.4, 18.6, 16.0, 21.5, 20.4

Çizelge 5.1'e göre temel değişken komşuluk arama algoritmasında kullanılacak olan ardıştırma sayıları problemin boyutuna göre 20000 ile 75000 arasında belirlenmiştir. Algoritma Test problemi-1 için çalıştırıldığında 25 hücreye 3 farklı kesici takım toplama ve dağıtma talebini eş zamanlı olarak karşılamak için 4 adet homojen AGV kullanılarak hizmet verilmiş, en kısa AGV periyot süresi 7,9 dakika en uzun AGV periyot süresi ise 29,7 dakika elde edilmiştir. Test problemi-1'in toplam maliyet değeri 1890 PB olarak bulunmuştur ve algoritmanın çözüm süresi 20 saniyedir.

Test problemi-2 için 50 hücreye 5 farklı kesici takım toplama ve dağıtma talebini eş zamanlı olarak karşılamak için 6 adet homojen AGV kullanılarak hizmet verilmiş, en kısa AGV periyot süresi 22,5 dakika en uzun AGV periyot süresi ise 26,1 dakikadır. Test problemi-2'in toplam maliyet değeri 3084 PB olarak bulunmuştur ve algoritmanın çözüm süresi 70 saniyedir.

Test problemi-3 için 75 hücreye 4 farklı kesici takım toplama ve dağıtma talebini eş zamanlı olarak karşılamak için 14 adet homojen AGV kullanılarak hizmet verilmiş, en kısa AGV periyot süresi 14,1 dakika en uzun AGV periyot süresi ise 25,6 dakikadır. Test problemi-3'ün toplam maliyet değeri 5644 PB olarak bulunmuştur ve algoritmanın çözüm süresi 160 saniyedir.

Test problemi-4 için 100 hücreye 4 farklı kesici takım toplama ve dağıtma talebini eş zamanlı olarak karşılamak için 18 adet homojen AGV kullanılarak hizmet verilmiş, en kısa AGV periyot süresi 10 dakika en uzun AGV periyot süresi ise 22,5 dakikadır. Test problemi-4'ün toplam maliyet değeri 7082 PB olarak bulunmuştur ve algoritmanın çözüm süresi 283 saniyedir.

Test problemi-5 için 125 hücreye 3 farklı kesici takım toplama ve dağıtma talebini eş zamanlı olarak karşılamak için 19 adet homojen AGV kullanılarak hizmet verilmiş, en kısa AGV periyot süresi 11 dakika en uzun AGV periyot süresi ise 28 dakikadır. Test problemi-5'in toplam maliyet değeri 7980 PB olarak bulunmuştur ve algoritmanın çözüm süresi 386 saniyedir. Dolayısıyla tez kapsamında geliştirilen Temel Değişken Komşuluk Arama algoritmanın etkin olduğu ve makul çözüm sürelerinde kaliteli çözümlere erişmeye yardımcı olduğu söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında fabrika içi taşımalarda kullanılan Otomatik Yönlendirmeli Araçlar için rotaların oluşturulması konusu ele alınmıştır. Üretim planına uygun şekilde fabrika içinde yer alan üretim hücrelerinin takımhaneden kesici takım ihtiyaçları bulunmakta ve ömrü dolmuş kesici takımların ise hücrelerden takımhaneye taşınması gerekmektedir. Bu yüzden hücrelerin kesici takım toplama ve dağıtma ihtiyaçlarının fabrika içinde kullanılacak olan AGV'lerle karşılanması gerekmektedir. Karşılaşılan problemin çözümüne yönelik öncelikle matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel model ile büyük boyutlu problemlerin çözümleri makul sürelerde elde edilemediği için metasezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen metasezgisel algoritma temel değişken komşu arama algoritmasıdır. Önerilen algoritmanın bileşenlerine yönelik gerekli tasarımlar yapıldıktan sonra test problemleri farklı senaryolar altında ele alınmış ve elde edilen çözümler raporlanmıştır. Sonuç olarak fabrika içi taşımalarda üretim hücrelerinde karşılaşılan toplama ve dağıtma işlemleri AGV'lerin kapasiteleri aşılmadan ve izin verilen periyot süresine uygun olarak gerçekleştirilebilmiştir. Böylece fabrika içi taşımaların toplam maliyeti en küçüklenerek ilgili rotalar elde edilmiştir. Önerilen algoritmanın ele alınan problem için etkin ve kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, fabrika içi AGV'lerin rotalanmasında çok depolu ve stokastik talep durumu ele alınabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akıllıoğlu, H., Baydogan, M.G., Bolatli, Y., Canbaz, D., Halici, A., Sezgin, O., … Turkcan, A., 2006, Dizel Enjektör Üretimi Yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistemi Tasarımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 17(3), 2-15.

Baudin, M., 2004, Lean logistics: The Nuts And Bolts of Delivering Materials and Goods, Productivity Press, New York.

Bilge, Ü., Tanchoco, J., 1997, AGV systems with multi-load carriers: Basic issues and potential benefits. Journal Of Manufacturing Systems, 16(3), 159-174.

Bilici, G., Çolak, Ö., İnaltekin, F., Küçük, T. C., Yetimoğlu, S., Köksalan, M. Ve Savasaneril, S., 2007, Fabrika içi çekme esaslı tasıma sistemi tasarımı, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, 18 (3), 31-42.

Braglia, M., Gabbrielli, R. and Miconi, D., 2001, Material Handling Device Selection in Cellular Manufacturing, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 10, 303-315.

Brar, G. S., Saini, G., 2011, Milk run logistics: literature review and directions. In Proceedings of the world congress on engineering (Vol. 1, pp. 6-8). WCE.

Büyüközkan, K., Bal, A., Oksuz, M.K., Kapukaya, E.N., Şatoğlu, S.I., 2019, A Mathematical Model and a Matheuristic for In-Plant Milk-Run Systems Design and Application in White Goods Industry. Editors: Calisir, F., Camgoz Akdag, H., Cevikcan, E., In Industrial Engineering in the Big Data Era, 99-112, Cham, Switzerland, Springer.

Büyüközkan, K., Şatoğlu, S. I., 2019, A Mathematical Model and an Artificial Bee Colony Algorithm for In-Plant Milk-Run Design. In Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas, Springer, Cham, 106-118.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

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.

Emde, S., Gendreau, M., 2017, Scheduling In-House Transport Vehicles to Feed Parts to Automotive Assembly Lines. European Journal of Operational Research, 260(1), 255-267.

Erol, V., 2006, Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü, 161s.

Fathi, M., Rodríguez, V., Fontes, D.B., Alvarez, M.J., 2016, A Modified Particle Swarm Optimisation Algorithm to Solve the Part Feeding Problem at Assembly Lines. International Journal of Production Research, 54(3), 878-893.

Fan, X., He, Q., Zhang, Y., 2015, Zone design of tandem loop AGVs path with hybrid algorithm. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 869-874.

Fazlollahtabar, H., Saidi-Mehrabad, M., Masehian, E., 2015, Mathematical model for deadlock resolution in multiple AGV scheduling and routing network: A case study. Industrial Robot, 42(3), 253–263.

Fazlollahtabar, H. and Saidi-Mehrabad, M., 2013, Methodologies to Optimize Automated Guided Vehicle Scheduling and Routing Problems: A Review Study. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 77(3-4), pp.525-545.

Gamino, B. R., & de Araujo, P. B. (2017). Application of a basic variable neighborhood search algorithm in the coordinated tuning of PSS and POD controllers. Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 28(4), 470-481.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y., Taillard, E., 1999, Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. Transp. Sci. 33(4), 381–390.

Golz, J., Gujjula, R., Günther, H. O., Rinderer, S., Ziegler, M., 2012, Part Feeding at High-Variant Mixed-Model Assembly Lines. Flexible Services and Manufacturing Journal, 24(2), 119141.

Grzegorz, B., Izabela, N., Arkadiusz, G., & Zbigniew, B., 2020, Reference model of milk-run traffic systems prototyping. International Journal Of Production Research, 59(15), 4495-4512.

Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sobottka, T., Váncza, J., 2013, Milkrun Vehicle Routing Approach for Shop-Floor Logistics. Procedia CIRP, 7, 127-32.

Hay, E.J., 1988, The Just In Time Breakthrough, Implementing The New Manufacturing Basics, John Wiley & Sons Publishing, USA.

Hall, N.G., Sriskandarajah, C., Ganesharajah, T., 2001, Operational decisions in AGV-served flowshop loops: Scheduling. Annals of Operations Research 107, 161 -188.

Ho, Y., & Hsieh, P., 2004, A machine-to-loop assignment and layout design methodology for tandem AGV systems with multiple-load vehicles. International Journal Of Production Research, 42(4), 801-832. doi: 10.1080/00207540310001602874

Ho, Y. C., & Liu, H. C., 2009, The performance of load-selection rules and pickup-dispatching rules for multiple-load AGVs. Journal of Manufacturing Systems, 28(1), 1-10.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Hwang, H. S., 2004, Heuristic transporter routing model for manufacturing facility design, Computers & Industrial Engineering, 46, 243-251.

Jamrus, T., Chien, C. F., Gen, M., & Sethanan, K., 2017, Hybrid particle swarm optimization combined with genetic operators for flexible job-shop scheduling under uncertain processing time for semiconductor manufacturing. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 31(1), 32-41.

Jerald, J., Asokan, P., Prabaharan, G., Saravanan, R., 2005, Scheduling optimization of flexible manufacturing systems using particle swarm optimization algorithm. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 25, 964–971.

Jerald, J., Asokan, P., Saravanan, R., Delphin Carolina Rani, A., 2006, Simultaneous scheduling of parts and automated guided vehicles in an FMS environment using adaptive genetic algorithm. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 29, 584– 589.

Ji, J., Khajepour, A., Melek, W. W., Huang, Y., 2017, Path planning and tracking for vehicle collision avoidance based on model predictive control with multiconstraints. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66(2), 952–964

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.

Kasilingam, R. G., 1998, Logistics and transportation: Design and planning, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Kılıç, H.S., 2011, Yalın Üretim Ortamında Iç Lojistik Tasarımı. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B., Baskak, M., 2012, Classification and Modeling for In-Plant MilkRun Distribution Systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 62(9-12), 1135-46.

Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B., 2013, A Mathematical Model and A Heuristic Approach for Periodic Material Delivery in Lean Production Environment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69(5-8), 977-92.

Kim, C. W., & Tanchoco, J. M. A., 1991, Conflict-free shortest-time bidirectional AGV routing. International Journal of Production Research, 29(12), 2377–2391.

Kim, K. H., Bae, J. W., 2004, A look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals. Transportation Science, 38(2), 224–234.

Lai, K. and Cheng, T.C.E., 2009, Just-in-Time Logistics, Gower Publishing Limited, England.

Laporte, G., Nobert ,Y:, 1987, Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem, North Holland Mathematics Studies, p.147-184.

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.

Liu, H.-H., Hung, P.C., 2001, Real-time deadlock-free control strategy for single multiload automated guided vehicle on a job shop manufacturing system. International Journal of Production Research 39, 1323–1342.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Luo, J., Wu, Y., 2015, Modelling of dual-cycle strategy for container storage and vehicle scheduling problems at automated container terminals. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 79(7), 49–64.

Lombard, A., Perronnet, F., Abbas-Turki, A., Moudni, A. E., 2016, Decentralized management of intersections of automated guided vehicles. Ifac Papersonline, 49(12), 497–502.

Mao, Z., Huang, D., Fang, K., Wang, C., Lu, D., 2019, Milk-Run Routing Problem with Progress Lane in the Collection of Automobile Parts. Annals of Operations Research, 282(1-2), 1-28.

Meyer, A., 2017, Milk run design: definitions, concepts and solution approaches. KIT Scientific Publishing, (Vol. 88).

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

Montané, F. A. T., Galvao, R. D., 2006, A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. Computers & Operations Research, 33(3), 595-619.

Mladenović, N., Hansen, P., 1997, Variable neighborhood search. Computers & operations research, 24(11), 1097-1100.

Nishi, T., Hiranaka, Y., Grossmann, I. E., 2011, A bilevel decomposition algorithm for simultaneous production scheduling and conflict-free routing for automated guided vehicles. Computers and Operations Research, 38(5), 876-888.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Ohno, T., 1988, Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, Cambridge MA.

Pardo, E. G., García-Sánchez, A., Sevaux, M., & Duarte, A. (2020). Basic variable neighborhood search for the minimum sitting arrangement problem. Journal of Heuristics, 26(2), 249-268.

Psaraftis, H.N., 1988, Dynamic vehicle routing problems. In: Golden, B.L., Assad, A.A. (eds.) Vehicle Routing: Methods and Studies. Studies in Management Science and Systems, pp. 223–248.

Sabuncuoğlu, I., Hommertzheim, D. L., 1992, Experimental investigation of FMS machine and AGV scheduling rules against the mean flow-time criterion. The International Journal of Production Research, 30(7), 1617-1635.

Sadjadi S.J., Jafari, M., Amini, T., 2009, A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study). International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 44 (1–2):194–200.

Shirazi, B., Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., 2008, A six sigma based multi-objective optimization for machine grouping control in flexible cellular manufacturing systems with guide-path flexibility. Adv. Eng. Softw. 41(6), 865–873.

Sinriech, D., Palni, L., 1998. Scheduling pickups and deliveries in a multiple-load discrete carrier environment. IIE Transactions 30, 1035–1047

Sipahioğlu, A., Altın, I., 2019, A Mathematical Model for In-Plant Milk-Run Routing. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(9), 1050-1055.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Şatoğlu, S.I., Sipahioğlu, A., 2018, An Assignment Based Modelling Approach for The Inventory Routing Problem of Material Supply Systems of the Assembly Lines. Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 36(1), 161-177.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Aryanezhad, M.B., Kazemipoor, H., Salehipour, A., 2008, Partitioning machines in tandem AGV systems based on "balanced flow strategy" by simulated annealing. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 38, 355–366.

Vaziri, A. A. and Laporte, G., 2005, Loop Based Facility Planning and material handling, European Journal of Operational Research, 164, 1-11.

Veeravalli, B., Rajesh, G. and Viswanadham, N., 2002, Design and analysis of optimal material distribution policies in flexible manufacturing systems using a single AGV. International Journal of Production Research, 40(12), pp.2937-2954.

Vis, I. F. A., Koster, R. D., Roodbergen, K. J., Peeters, L. W. P., 2001, Determination of the number of automated guided vehicles required at a semi-automated container terminal. Journal of the Operational Research Society, 52(4), 409–417.

Xiao Bing, W., 1998, The application of Analytic Process of Resource in an AGV scheduling. Computers & Industrial Engineering, 35(1-2), pp.169-172.

ZA Remba, M. B., Obuchowicz, A., Banaszak, Z. A., Jed Rzejek, K. J., 1997, A max-algebra approach to the robust distributed control of repetitive AGV systems. International Journal of Production Research, 35(10), 2667–2688.

Zanjirani Farahani, R., Laporte, G., Miandoabchi, E., Bina,S., 2008, Designing efficient methods for the tandem AGV network design problem using tabu search and genetic algorithm. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 36, 996–1009.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Zheng, Y., Xiao, Y., Seo, Y., 2014, A tabu search algorithm for simultaneous machine/ AGV scheduling problem. International Journal of Production Research, 52(19), 5748–5763.

Zhou, B., & Zhu, Z. (2020). Optimally scheduling and loading tow trains of in-plant milk-run delivery for mixed-model assembly lines. Assembly Automation.