

## İÇ LOJİSTİKTE OTONOM BOTLAR İÇİN GÖREV PLANLAMASI

Sinem BOZKURT KESER<sup>1\*</sup>, İnci SARIÇİÇEK<sup>2</sup>, Ahmet YAZICI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8013-6922>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-3528-7342>

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-5589-2032>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Otonom Transfer Araçları, dağıtım ve toplama, görev çizelgeleme, hibrid tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması.</i>	<i>Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışıyla iç lojistikte akıllı araçların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. İç lojistikte, hammadde ya da işlenecek parçaların iş merkezlerine taşınması ve işlenmiş parçaların depoya taşınması görevlerinde kullanılan otomatik yönlendirmeli araçların yerini otonom transfer araçları almaktadır. Dolayısıyla sabit tek bir rota yerine esnek rotalara ihtiyaç doğmuştur. Çalışmada, her bir taşıma görev listesi için ayrı bir rota planlaması yapan bir model sunulmuştur. Model için Hibrid Tavlama Benzetimi Algoritması önerilmiş ve ilgili algoritma Yasaklı Arama Algoritması ile karşılaştırılmıştır. Test problemleri üzerinde yapılan kıyaslamalarda Hibrid Tavlama Benzetimi Algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür..</i>

### TASK PLANNING FOR AUTONOMOUS ROBOTS IN INTRA LOGISTICS

Keywords	Abstract
<i>Autonomous Transfer Vehicles, pickup and delivery, task scheduling, hybrid simulated annealing algorithm, tabu search algorithm.</i>	<i>With the emergence of the concept of Industry 4.0, the usage of smart vehicles in intra logistics has become widespread. In internal logistics, autonomous transport vehicles are used in the place of the automatic guided vehicles for the transportation of raw materials/parts to be processed to the business centers and the transportation of the processed parts to the warehouse. Therefore, there is a need for flexible routes instead of a single fixed route. In this study, a model is presented that plans a separate route for each transportation task list. Hybrid Simulated Annealing Algorithm was proposed for the model and the algorithm was compared with the Tabu Search Algorithm. In comparison with the test problems, it has been seen that Hybrid Simulated Annealing Algorithm gives better results.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 29.11.2019	Submission Date : 29.11.2019
Kabul Tarihi : 12.05.2020	Accepted Date : 12.05.2020

#### 1. Giriş

Endüstri 4.0 ilk kez 2011 yılında Almanya'da bahsedilen bir kavram olup ulaşım, haberleşme, sağlık, eğitim gibi birçok alanda hayatımızda yer almaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte nesnelerin interneti (Internet Of Things, IOT), mobil internet, bulut teknolojileri (cloud technologies), esnek otomasyon, akıllı robotlar, akıllı fabrikalar, üç boyutlu yazıcılar, otonom araçlar (Autonomous Vehicles), üretim süreçlerinde dijitalleşme gibi birçok kavram üzerinde çalışmalar hızlanmış durumdadır (Alcácer ve Cruz-Machado, 2019). Endüstri 4.0 ile üretimde otomasyondan, teknoloji ve internetin yoğun olarak kullanıldığı ve kol gücünün yerini beyin gücü ile yönetilen otonom sistemlerin aldığı bir döneme geçiş söz konusudur.

Endüstri 4.0 olarak isimlendirilen ve dijital bir dönüşümü gerektiren yeni bir üretim çağı ile birlikte dijital lojistik olarak da tanımlanan Lojistik 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır ve bu konuda yapılan çalışmaların kapsamı hızla artmaktadır (Winkelhaus ve Grosse, 2019). Lojistik 4.0'da yapay zeka sayesinde insan kaynaklı hataların en aza indirgenmesi, teslimatların müşterilere doğru zamanda, doğru kaynakla ve doğru bir biçimde yapılması hedeflenmektedir. Lojistik 4.0, günümüz teknolojilerinin en son yeniliklerini kullanarak hızlı bilgi erişimini, bilgi işlemeyi ve güvenliği sağlar. Lojistik 4.0 ile birlikte iç lojistikte başta iş gücü olmak üzere işletme maliyetlerinin düşürülmesi ve üretim sürecinin hız kazanması hedeflenmektedir.

İşletmelerde üretim için gerekli bir malzeme ya da bir parçanın istenen zamanda ve istenen miktarda istenen yerde olması önemli bir gerekliliktir. Aksi halde

\* Sorumlu yazar; e-posta : [sbozkurt@ogu.edu.tr](mailto:sbozkurt@ogu.edu.tr)

malzeme bekleme sebebiyle sistemde duruşlar olur ki malzeme yokluğu sebebiyle bir üretim hattının durması demek malzeme gelene kadar makine ve işçinin boş beklemesi demektir. Bu makine-saat ve adam-saatlerinizin boşa gitmesi ve verimsizlik anlamına gelir. Duruşlardan kaynaklanan verimsizliğin büyük kurumsal işletmelerde bile önemli düzeyde olduğunu bilinmektedir. Günümüzde, akıllı sistemlerle verimlilik düzeyi yüksek fabrikalar için çözümler üretilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmada, fabrika içinde iş istasyonlarının ihtiyacı olan malzemelerin depodan iş istasyonlarına ve bitmiş parçaların iş istasyonlarından nihai ürün depolarına otonom robotlarla taşınması işlerine ilişkin meta-sezgisel algoritma kullanılarak görev planlaması yapılmıştır. Fabrika içi lojistikte, tasarladığımız model ile robotların daha az mesafe kat edecek şekilde al/götür işlerini hangi sırayla yapacağı belirlenmekte ve robotlara görev atamaları yapılmaktadır. Görev planlaması yapılırken robot kapasitelerinin etkin bir şekilde kullanımı da amaçlanmaktadır. Üretimin aksamadan devam etmesi yanında robot kapasitelerini etkin bir şekilde kullanmak işletmelerde sınırlı olan kaynakların verimli bir şekilde kullanımı ve maliyetleri düşürmek açısından çok önemlidir.

İç lojistikte (üretim lojistik) Otonom Taşıma Araçlarının (OTA; Autonomous Transport Vehicles -) görev planlaması akıllı fabrikalar, akıllı üretim sistemleri ve imalat alanlarının dijitalleşmesi konularındaki çalışmalardan biridir. Yapay zeka (Artificial Intelligence) ve robot teknolojisindeki hızlı gelişmeler ile birlikte günümüz işletmelerinde Otomatik Yönlendirmeli Araç'ların (OYA, Automated Guided Vehicle-AGV) yerini OTA'lar almaya başlamıştır (Zhong, Xu, Klotz ve Newman, 2017). OTA, esnek üretim sistemlerinde iş istasyonları arasında malzemeleri taşımak için yaygın olarak kullanılan ve endüstriyel ortamlarda otomasyonu içeren çeşitli görevleri yerine getiren otonom araçlardır (Kalinovic, Petrovic, Bogdan ve Bobanac, 2011; Vivaldini, Rocha, Becker ve Moreira, 2015). OTA'lar OYA'lar gibi önceden tanımlı bir rotada taşıma yapmak yerine kendi konumunu bilerek/hesaplayarak ve etrafını algılayarak otonom olarak taşıma işlemini gerçekleştirir. OTA'lar otomatik iş yapma kabiliyeti olan araçlardan çok çevresini algılayan, haritalama ve konumlandırma teknolojilerini kullanan, kendi kendine karar verebilen ve belli bir yapay zekaya sahip araçlardır. OTA'lar Endüstri 4.0'ın da temel bileşenlerinden biri olan esnek üretim sistemleri için de anahtar bir teknolojidir.

Bu çalışmada, atölye içerisinde malzeme ya da parçaların taşınmasında OTA'lar için görev planlaması amaçlanmıştır. Dağıtım (delivery) ve toplama (pickup) işlerinin zamanında gerçekleştirilmesi, iç lojistikte önemlidir. Endüstri 4.0 kavramı ile OTA'ların fabrika içerisinde rotalanması ve taşıma işlerin çizelgelenmesi önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada,

OTA'ları iç lojistikte kullanarak istasyonların dağıtım ve toplama taleplerini karşılamak için bir görev planlama ve rotalama sistemi önerilmektedir. Önerilen sistemde, her bir OTA rotasına depodan başlar, sırasıyla atanan dağıtım ve toplama istasyonlarını ziyaret eder ve daha sonra depoya geri döner. Bu problem literatürde, kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir uzantısı olan, "Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi - Pickup and Delivery Problem with Backhaul" olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada, OTA'ların katettiği toplam mesafeyi enazlayacak şekilde iki metasezgisel algoritma (tavlama benzetimi ve yasaklı arama) ile araçların rotalanması görevlerin çizelgelemesi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda, araç sayısı da önerilen sistem ile enküçülenmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde fabrikalarda iç lojistikte görev planlama ve rotalama üzerine OYA ve OTA'lara ilişkin literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, OTA'lar için metasezgisel yöntemlerle görev planlaması anlatılmaktadır. Problemin tanımlanması, çalışmada kullanılan metasezgisel algoritmalar ve bu algoritmaların test problemleri ile sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir. Dördüncü ve son bölümde ise sonuçlar ve gelecek dönemlere ait çalışma fikirleri tartışılmıştır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

OYA'lar, fabrika ortamında, kritik role sahip sürücüsüz araçlardır (Kumar, 2014). Çevreden gelen sinyaller ile birim yükün taşınması işleminden sorumludur. Günümüzde hizmet sektöründen üretim sektörüne birçok alanda kullanılabilmektedir. OYA'lar, taşıma görevlerini tamamlamak için sabit yolları takip eder. Literatürde, OYA alanındaki çalışmalar sistem tasarımı, sebep etki ve rotalama ve çizelgeleme olacak şekilde üç ana başlık altında toplanmıştır (King ve Wilson, 1991). OYA sayısı, tipi ve OYA'ların dolaşacağı ortam tasarımı üzerine yapılan çalışmalar sistem tasarımı alanında yapılan çalışmalar arasındadır. Maxwell ve Muckstadt (1982) tarafından yapılan çalışmalar bir problem için gereken araç sayısının hesaplaması üzerine yapılan ilk çalışmalardır. Literatürde sistem tasarımı ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Xie (1995), Majety ve Wang (1995), Hwang, Cim ve Moon (1996)). Sebep-etki konusu altında yapılan çalışmalar ise genel olarak, OYA'ların uygulanması üzerinedir. OYA'ların uygulanmasının ekonomik açıdan ele alınması, uygulama sonrasında hangi sonuçların elde edileceği ve uygulanan sistem üzerine etkisi sebep-etki konusu altında toplanabilir (Gourgand, Sun ve Tcheinew (1995)). OYA'ların iç lojistikte kullanımı çok yaygındır ve literatürde OYA'larda görev çizelgeleme ve rotalama üzerine pek çok çalışma vardır (Fazlollahtaba ve Saidi, 2015). Bu çalışmalar genel olarak OYA'ların malzeme taşıma sırasında takip edeceği rotanın hesaplanması, OYA'lara iş atanması, iş istasyonlarına hangi OYA'nın

gideceğine karar verilmesi üzerinedir. OYA'ların rotalaması ile ilgili literatürdeki ilk çalışmalar, OYA'nın atölyede izleyeceği sabit rotanın belirlenmesine dayanmaktadır. Eş zamanlı olarak iş istasyonlarına malzeme taşınması ve gerekli araç sayısını minimize edilmesi. OYA rotalama problemi, araç rotalama

problemine oldukça benzerdir (Bodin, Colden, Assad ve Ball, 1983). OYA rotalama problemi için yapılan literatür araştırması, Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1

OYA rotalama problemi için literatür araştırması özeti.

Çalışma	Ele alınan problem	Kullanılan yöntem
Psaraftis (1980)	Rotalama problemi	Dinamik programlama
Maxwell ve Muckstadt (1982)	Rotalama problemi	Önerilen yöntem ile eş zamanlı olarak iş istasyonlarına malzeme taşınması ve gerekli araç sayısının enküçülenmesi
Ulusoy, Sivrikaya Serifoglu ve Bilge (1997)	Makinelerin ve OYA'ların eşzamanlı çizelgelenmesi problemi	İşlem sıralama ve OYA atama algoritması
Lee, Lee ve Choi (1998)	Çatışmasız rotalama problemi	İki-aşamalı trafik kontrol şeması
Rajotia, Shanker ve Batra (1998)	Çatışmasız rotalama problemi	Yarı-dinamik bir zaman penceresi kısıtlanmalı yönlendirme stratejisi
Oboth, Batta ve Karwan (1999)	Sevketme (dispatching) ve rotalama problemi	Sezgisel yöntem
Desaulniers, Langevin, Riopel ve Villeneuve (2003)	Çok araçlı rotalama problemi	Açgözlü sezgisel arama, sütun oluşturma ve dal ve kesme yöntemini birleştiren hibrid bir yöntem
Abdelmaguid, Nassef, Kamal ve Hassan (2004)	Makinelerin çizelgelenmesi problemi	Genetik algoritmadan oluşan hibrid bir yöntem
Lin, Shinn, Gen ve Hwang (2006)	Rotalama ve çizelgeleme problemi	Evrimsel yaklaşımı
Deroussi, Gourgand ve Tchernev (2008)	Rotalama ve çizelgeleme problemi	Üç farklı meta-sezgiselle uygulanan etkin bir komşu sistem ve makinelerden ziyade araçları temel alan yeni bir temsili çözüm
Lacomme, Larabi ve Tchernev (2013)	Çizelgeleme problemi	Ayrık bir grafiğe ve makineler için memetik bir algoritmaya dayanan bir yapı

OYA'lar yarım yüzyıldan fazla bir süredir taşıma işlerini yapmaktadır. OYA'lar fabrikalarda ve depolarda malzeme teslimatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte OYA'ların yerini OTA'lar almaya başlamıştır (Shneier ve Bostelman, 2015; Zhong ve diğ., 2017, Fırat ve Fırat, 2017). Hem OYA hem de OTA, ürünleri bir konumdan diğerine taşımak için kullanılan araçlardır. OYA'lar genellikle toprağa gömülü teller veya mıknatıslar aracılığıyla sabit yolları izler. OYA'lar, bazı basit sensörler kullanarak yollarındaki herhangi bir engeli vurmayacak kadar akıllı olsalar bile, kendi kendilerine dolaşacak kadar akıllı değildir. OYA'lar, çalışma alanının genişlemesi gibi değişikliklere uyum sağlamak için kötüdür. Bu, OYA'lar için pahalı ve zaman alıcı bir mücadeledir. OTA'lar ise kendilerini OYA'lardan daha hızlı, daha akıllı ve daha verimli hale getiren yeni teknolojilere sahiptir. OTA'lar sabit bir rota izlemeyi gerektirmez ve taşımada esneklik sağlar. OTA'lar elektrikle çalışır ve periyodik olarak şarj edilir. Çevreyi algılama ve rota üzerinde herhangi bir sınırlama olmaksızın çevrede özerk olarak gezinme özelliğine

sahiptir (Xidias ve diğ. 2009). Fabrikalarda, daha esnek üretim sistemlerine ve malzeme taşıma sistemlerine izin verir. OTA'lar, çalışma ortamını mantıklı kılan sensörler ve güçlü yerleşik bilgisayarlarla donatılmış daha karmaşık teknolojilerdir. OTA sabit bir rotada hareket ederek kendisini kısıtlamaz, hızlı ve verimli bir rota planlayabilir ve bir harita kullanarak dinamik olarak navigasyon yapabilir. OTA'nın rotasına yeni bir yer eklemek, haritayı genişletmek anlamına gelen basit bir işlemdir. Ek olarak, OTA'lar insanları, arabaları, forkliftleri ve muhtemelen çevre üzerindeki diğer şeyleri tanıyıp tepki verecek kadar akıllıdır. OTA, görevlerini çok daha hızlı ve güvenilir bir şekilde tamamlayarak zamandan ve paradan tasarruf edilmesine izin verir. OTA'ların literatürdeki görev çizelgeleme ve rotalama problemlerini ele almak için çeşitli algoritmalar önerilmiştir (Lacomme ve diğ., 2013, Hussein ve diğ., 2012). OTA'ların rotalama probleminde literatürde kullanılan yöntemler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2

## OTA rotalama problemi için literatür araştırması özeti

Çalışma	Ele alınan problem	Kullanılan yöntem
Emilio, Dahleh ve Feron, (2002)	Rotalama problemi	Rastgele bir yol planlama yaklaşımı
Liu, Linbo ve Jinshou (2006)	Rotalama problemi	Gelişmiş bir karınca kolonisi algoritması (ant colony algorithm)
Xidias, Nearchou ve Aspragathos (2009)	2D endüstriyel ortamlarda araç çizelgeleme ve rotalama problemi	Uyarlanmış bir genetik algoritma
Herrero-Pérez ve Martínez-Barberá (2010)	Rotalama ve çizelgeleme problemi	Petri ağı
Hussein, Mostafa, Badrel-Din, Sultan ve Khamis (2012)	Rotalama problemi	Yasaklı arama (tabu search), tavlama benzetimi (simulated annealing) ve genetik algoritma (genetic algorithm)
Xidias, Paraskevi ve Andreas (2016)	Otonom araç filosunun görev çizelgeleme problemi	Uyarlanmış bir genetik algoritma
Magdy, Shehata, Abdelaziz, Ghoneima ve Tolbah (2017)	Otonom araçların yol planlama problemi	Metasezgisel algoritma
Xidias (2018)	Eşzamanlı olarak rotalama ve görev çizelgeleme problemi	Yapılandırılmış matris, uyarlanmış genetik algoritma

OTA'lar ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar OYA'lar ile karşılaştırıldığında oldukça kısıtlıdır. OTA'ların görev çizelgeleme problemi, bazı yönlerden OYA'ların görev çizelgeleme problemine benzer şekilde modellenmiştir. Ancak, OYA'lar için yapılan rota belirleme çalışmaları işletmede uzun süre kullanılacak olan esnekliği olmayan rotaların elde edilmesine ilişkin iken otonom sistemlerde OTA'lar için yapılan çalışmalarda daha esnek gerektiğinde hızlı bir şekilde yeni rotaların oluşturulabileceği yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca otonom yapılarda otonomluk seviyesine bağlı olarak kontrol sistemi tasarlanabilmektedir. Yarı otonom ya da otonom özellikteki taşıma araçları için farklı kontrol mimarileri ayrı bir çalışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde çalışmamızla ilgili taradığımız kaynaklar sadece ilgili araçlara rota atama ve görevlerin çizelgenmesi üzerine yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

### 3. Otonom Transfer Araçları için Metasezgisel Yöntemlerle Görev Planlaması

#### 3.1. Problemin Tanımlanması ve Varsayımlar

Üretimde kullanılan malzemeler ve montaj parçaları, atölye katlarındaki cep depolardan veya depolardan sağlanmaktadır. Üretim alanında ilgili istekler doğrultusunda depo/iş istasyonundan iş istasyonuna/depoya malzeme/parça transferleri yapılmaktadır. Atölye içi lojistiğin, üretimin devamlılığı için büyük önemi vardır.

Çalışma kapsamında ele alınan fabrika ortamında iş istasyonlarının talep ettiği parçalar malzeme deposundan ilgili iş istasyonlarına taşınmaktadır. Ardından, tamamlanan parçalar üretim hattındaki ilgili iş istasyonlarından bitmiş ürün deposuna taşınır. Araç rotasına depodan başlar, ana hattaki dağıtım müşterilerini ziyaret eder ve ardından ürün toplayacağı müşterileri ziyaret ederek depoya geri döner. Bu problem, literatürde "Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi" olarak bilinir.

Fabrika ortamının Şekil 1'deki gibi olduğunu varsayalım. Toplama (T) ve dağıtım (D) noktalarına sahip 12 iş istasyonu olsun. OTA'lar, üretim hattındaki iş istasyonlarından gelen bırakma talepleri doğrultusunda parçaları depo1'den alır. İş istasyonlarında işlem görmüş parçalar ise toplama (T) noktalarından alınarak depo2'ye bırakılır. OTA sayısı, kapasitesi ve kat ettiği toplam mesafe dikkate alınarak kaynaklar etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Topla/dağıt görevlerinin etkin bir şekilde planlanması üretimin aksamaması için önemlidir. Bu nedenle, OTA'ların teslim alma ve bırakma görevlerini planlamak için bir rotalama ve görev çizelgeleme sistemi gereklidir. Şekil 1'de iş istasyonları kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Her iş istasyonunda toplama (T) ve dağıtım noktaları (D) ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Endüstri 4.0 ile birlikte OTA'ların iç lojistikte yaygın olarak kullanılmasının üretimde esnekliği ve verimliliği artırması beklenmektedir. Bu durum, OTA'ların rotalama ve görev çizelgeleme problemi için kısa sürede etkin çözümler sunan yöntemlere duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu çalışmada önerilen

rotalama ve görev çizelgeleme sistemi, OTA sayısını, OTA kapasitesini ve iş istasyonlarından gelen iş taleplerini dikkate alarak OTA'ların kat ettiği toplam mesafeyi enküçüklemeyi amaçlamaktadır. İşler ve OTA'lar ile ilgili varsayımlar aşağıda belirtildiği gibidir:

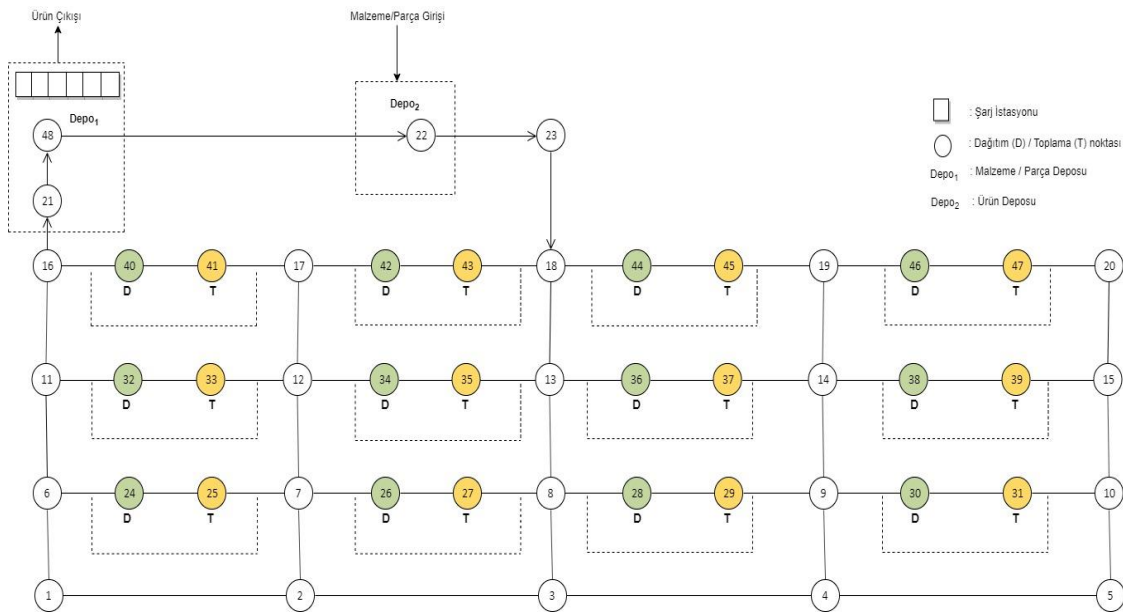
- Ortamdaki tüm işleri tamamlamak için yeterli sayıda OTA mevcuttur, ancak tüm OTA'ları kullanmak gerekli değildir.
- OTA'nın hızı taşıdığı yüke göre değişmektedir.
- OTA'nın ağırlığı ( $Wr_j$ ) 100 kg. olup her bir OTA kapasitesi  $OC_{max}$  ile gösterilir.

- OTA'ların arıza yapmadığı ve taşıma işlemi sırasında şarjlarının bitmediği kabul edilmiştir.

- Teslim alma veya bırakma işleri bölünemez.

- Bir T/D görevini gerçekleştirmek için her iş istasyonu yalnızca bir OTA tarafından ziyaret edilir. Ancak, bir iş istasyonu için bir OTA bırakma işini gerçekleştirirken başka bir OTA alma işini gerçekleştirebilir.

İş taleplerinin OTA'lara atanması ve teslim alma veya bırakma işinin çizelgenmesi, önerilen rotalama ve görev çizelgeleme sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Fabrika ortamının 2-boyutlu görseli

### 3.2. Metasezgisel Algoritmalar

Literatürde OTA'ların görev planlama ve rotalama probleminin çözümünde, çözüm uzayını etkin bir şekilde arayarak makul sürede en iyi çözüme yakın sonuçlar veren metasezgisel algoritmaların kullanılması sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Metasezgisel algoritmalar, sezgisel algoritmaların zekice bir araya getirilmesi ile oluşturulan iteratif problem çözme kabiliyetine sahip algoritmalarlardır. Bu çalışmada, metasezgisel algoritmalarından Hibrid Tavlama Benzetimi ve Yasaklı Arama algoritmaları karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

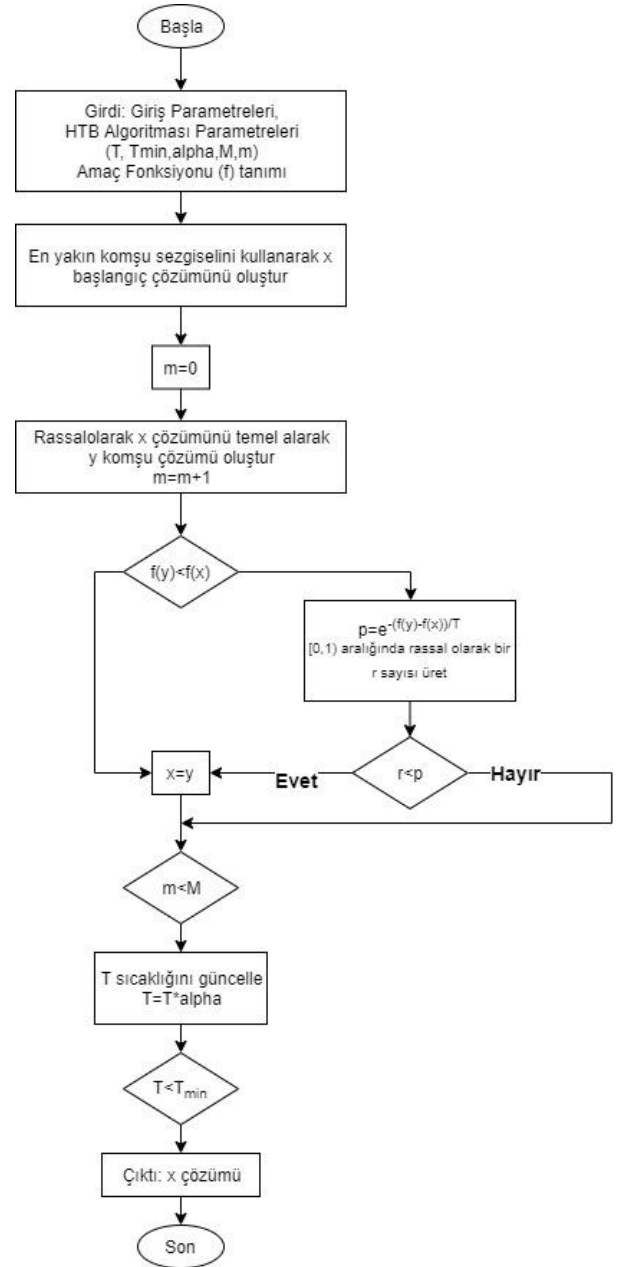
#### 3.2.1. Hibrid Tavlama Benzetimi Algoritması

Tavlama Benzetimi (TB) algoritması, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde mevcut çözümün daha iyi bir çözüm değerine ulaşmasının kabul olasılığını dikkate alan iteratif bir arama algoritmasıdır. İlk olarak

Metropolis, Rosenbluth ve Teller (1953) tarafından katıların fiziksel tavlama sürecini simüle etmek amacıyla ortaya konmuştur. TB bir sıcaklık değeri ile başlayıp her sıcaklık değeri için bir komşu çözüm üretilmesi prensibi ile çalışır. Bu çalışmada, farklı olarak aynı sıcaklık değerinde  $M$  sayıda çözüm üreten Hibrid Tavlama Benzetimi (HTB) algoritması önerilmiştir. HTB ile aynı sıcaklık değeri için daha fazla sayıda çözüm incelenerek iyi çözüme ulaşma olasılığının artırılması amaçlanmıştır.

HTB algoritması bir  $T$  başlangıç sıcaklığı ile başlar. Bir  $x$  başlangıç çözümü oluşturulur.  $x$  çözümünün amaç fonksiyonu değeri ( $f(x)$ ) hesaplanır. Başlangıçta, bu  $x$  başlangıç çözümü hem mevcut çözüm hem de en iyi çözümdür. Daha sonra  $x$  mevcut çözümünden rassal olarak komşu çözüm ( $y$ ) oluşturulur.  $y$  komşu çözümün, amaç fonksiyonu değeri  $f(y)$  hesaplanır. Eğer komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri  $f(y)$ ,  $f(x)$ 'den daha iyiyse  $y$  çözümü yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Fakat  $f(y)$ ,  $f(x)$ 'den daha kötüyse  $e^{-\frac{f(y)-f(x)}{T}}$  olasılığı ile

yeni çözüm olarak kabul edilir, diğer durumda  $y$  çözümü reddedilir. HTB'de komşu çözüm üretme süreci,  $M$  kez tekrarlanır. HTB'de sıcaklık parametresi mevcut çözümden daha kötü maliyet değerine sahip bir çözümün kabul edilme olasılığını hesaplamada kullanılır. Sıcaklık parametresinin azaltılması, yani soğutma işlemi, çözüme ulaşmada önemli bir adımdır. Soğutma işlemi, sıcaklık azaltma fonksiyonu kullanılarak yavaş yavaş yapılmalıdır. Bu amaçla, literatürde farklı sıcaklık azaltma fonksiyonları kullanılmıştır (Eglese, 1990). Önerilen HTB algoritması için literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan geometrik azaltma fonksiyonu ( $T = T * \alpha$ ) kullanılmıştır. Burada,  $\alpha$  değeri (0.80, 0.99) aralığında rassal olarak seçilir (Cura, 2008).  $T_{min}$  ulaşılacak son sıcaklık değeridir. HTB algoritması kötü çözümleri belirli bir olasılıkla kabul ettiği için yerel optimum noktalardan kurtulabilir. Önerilen HTB algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.

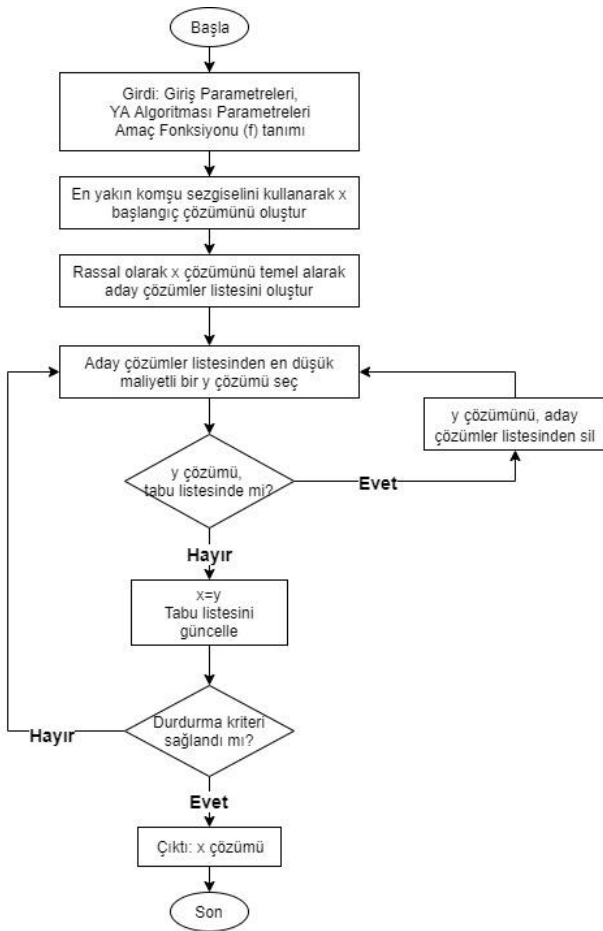


Şekil 2. Hibrid Tavlama Benzetimi (HTB) algoritması akış diyagramı

### 3.2.2. Yasaklı Arama Algoritması

Yasaklı Arama (YA) algoritması, kombinatoriyal problemlerin çözümü için Glover (1986) tarafından önerilmiş metasezgisel algoritmalarından biridir. Yasaklanan hareketleri hafızada tutmasına yardımcı olan bir tabu listesi kullanır. Böylece, tekrar eden komşu çözümlerin üretildiği bir döngüden kaçınır. Ayrıca, aramayı çözüm uzayının farklı bölgelerine yönlendirir. YA, rassal olarak üretilmiş bir  $x$  başlangıç çözümü ile başlar. Algoritmanın başlangıcında,  $x$  başlangıç çözümü hem mevcut çözüm hem de en iyi çözümdür.  $x$

çözümünden,  $y$  çözümünü üreten hareket tabu listesine eklenir. Eğer  $y$  çözümü,  $x$  çözümünden daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine sahipse mevcut çözüm olarak kabul edilir. Bu işlem durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Tabu listesine yasaklı hareketler ilk giren ilk çıkar mantığında eklenir. Komşu çözüm üreten hareketler arasından o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm oluşturan bir hareket ile karşılaşılmışsa ve bu hareket tabu listesinde ise bu harekete izin verilir. Bu durum, literatürde tabu yıkma kriteri olarak tanımlanmıştır. YA algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Yasaklı Arama (YA) algoritması akış diyagramı

### 3.2.3. Hibrid Tavlama Benzetimi ve Yasaklı Arama Algoritmalarının Karşılaştırılması

HTB ve YA algoritmalarının başarımını test etmek amacıyla Goetschalckx ve Jacobs (1989) tarafından önerilen ve literatürde sıklıkla çalışılan problem setleri ele alınmıştır. Çalışmamızın bu bölümünde HTB ve YA algoritmaları ile test verileri çözülmüş ve diğer

akademik çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında, literatürden 15 est problemi seçilmiştir. HTB ve YA algoritmalarının etkinliğini test etmek için, toplam seyahat mesafesini enküçüklemek amacı doğrultusunda algoritmalarından elde edilen sonuçlar, literatürde bilinen eniyi değerler (Brandão, 2006) ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Tüm deneyler 8 çekirdekli, Windows işletim sistemine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. 8 GB RAM'e sahip 10 iş istasyonlu (4 x dual core 3.4 GHz, Intel (R) Core(TM) i7-6700) bu bilgisayarda .NET Framework 4.5 ve MS Visual Studio 2015 altındaki MS C # .NET kullanılarak algoritmalar kodlanmıştır.

Tablo 1'de "No" sütununda probleme ait literatürde tanımlanan problem numarası verilmektedir (Goetschalckx ve Jacobs, 1989). Problemlerde yer alan toplam müşteri sayısı Tablo 3'de yer alan "N" sütununda, dağıtım yapılacak müşteri sayısı "L" sütununda, toplama yapılacak müşteri sayısı "B" sütununda verilmiştir. Ayrıca, "Q" araç kapasitesini, "K" araç sayısını göstermektedir.

Tablo 3

Test problemlerinde HTB ve YA algoritmalarının sonuçlarının karşılaştırılması.

No	N	L	B	Q (kg)	K	Literatür En İyi Değer (m)	HTB (m)	YA (m)
A1	25	20	5	1550	8	229.886	229.886	235.807
A2	25	20	5	2550	5	180.119	180.119	195.915
A3	25	20	5	4050	4	163.405	163.405	182.535
A4	25	20	5	4050	3	155.796	155.796	186.296
B1	30	20	10	1600	7	239.080	239.080	258.697
B2	30	20	10	2600	5	198.048	198.492	221.665
B3	30	20	10	4000	3	169.372	169.372	214.657
C1	40	20	20	1800	7	249.448	255.329	326.618
C2	40	20	20	2600	5	215.020	215.020	289.689
C3	40	20	20	4150	5	199.346	200.586	302.878
C4	40	20	20	4150	4	195.366	197.509	272.412
D1	38	30	8	1700	12	322.530	322.530	372.626
D2	38	30	8	1700	11	316.709	316.709	359.101
D3	38	30	8	2750	7	239.479	239.479	303.957
D4	38	30	8	4075	5	205.832	211.310	259.597
				Min		155.796	155.796	182.535
				Max		322.530	322.530	372.626
				Toplam		3.279.436	3.294.622	3.982.450
				Ortalama		218.629	219.641	265.497

Sonuçlar incelendiğinde HTB algoritması ile literatürdeki en iyi değerlerin neredeyse tüm verisetleri için yakalandığı görülmektedir. İlgili test problemleri lojistikte Araç Rotalama Problemleri kapsamında "kuş uçuşu mesafeleri" dikkate alan problemlerdir. İç lojistikte ise malzeme taşıma araçları, makineler arasında "dik doğrusal uzaklıkları" kat ederek yol almaktadır. Algoritmaların başarısı literatürdeki problemler ile kanıtlandıktan sonra çalışmanın asıl konusu olan iç lojistik için Şekil 1'de verilen fabrika ortamına yönelik 20 farklı veriseti oluşturularak algoritmalar kıyaslanmıştır. Test sonuçları Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4'de farklı sayıdaki OTA'lar için HSA ile YA algoritmaları ile elde edilen mesafe ve bu algoritmaların işlem süreleri verilmektedir. HTB algoritması, YA algoritmasına göre aynı alternatif çözüm sayısı için daha uzun hesaplama süresine sahip olmasına rağmen toplam mesafe açısından çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Tablo 4

HTB ve YA algoritmalarının fabrika ortamı test problemleri sonuçlarının karşılaştırılması.

Problem	OTA Sayısı	HTB		YA	
		Mesafe (m)	Süre(sn)	Mesafe (m)	Süre(sn)
1_20	5	6533	11.6	6957	3.45
2_20	5	3908	8.56	4628	2.47
3_20	5	5989	11.05	6469	3.31
4_20	5	6049	9.43	6203	2.89
5_20	5	4579	8.78	5599	2.71
6_20	6	5832	11.29	6230	3.29
7_20	5	4309	8.17	4793	2.55
8_20	5	5363	9.84	5753	2.93
9_20	5	7981	13.73	8225	4.23
10_20	4	3604	6.01	3604	1.99
11_20	6	5430	10.07	5944	2.92
12_20	6	4857	9.91	5494	3.03
13_20	9	7328	11.53	7973	3.63
14_20	4	3822	7.71	4212	2.25
15_20	2	2944	5.46	2944	2.46
16_20	7	6083	10.77	6863	3.28
17_20	3	3349	7.03	4155	2.09
18_20	5	5641	10.22	6451	3.05
19_20	5	5967	10.97	6983	3.25
20_20	7	6653	11.88	7171	3.52
	Min	2944	5.46	2944	1.99
	Max	7981	13.73	8225	4.23
	Toplam	106221	194.01	116651	59.3
	Ortalama	5311.05	9.70	5832.55	2.97

#### 4. Sonuçlar

İç lojistikte, üretimin sürekliliği için üretim hatlarının ihtiyaç duyduğu malzeme ya da parçaların zamanında istenilen yerde olması çok önemlidir. Aksi takdirde, oluşan kesintiler, kaynakların etkin bir şekilde kullanılmadığı verimsiz üretim sistemine yol açacaktır. Endüstri 4.0 ile, OTA'lar, taşıma ve teslimat işlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirerek lojistik endüstrisi için önemli fırsatlar sunmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde, kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir uzantısı olan, "Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi - Pickup and Delivery Problem with Backhaul" olarak bilinen problem, iç lojistikte ele alınarak OTA'lar için görev planlaması yapılmıştır. Önerilen HTB algoritması test problemlerinde YA algoritmasına göre yaklaşık %10 daha iyi sonuçlar vermiştir. Araç Rotalama Problemleri kapsamında "kuş

uçuşu mesafeleri" dikkate alınırken, iç lojistikte malzeme taşıma araçları, makineler arasında "dik doğrusal uzaklıkları" kullanmaktadır. Dolayısıyla, farklılaşan problem için fabrika içi yolların hangi araç(lar) tarafından ne zaman kullanılacağı da önem kazanmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, çakışmaların kontrolünü içeren yapıda bir görev planlaması hedeflenmektedir.

#### Teşekkür

Bu proje, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir, Sözleşme-No: 116E731, Proje Başlığı: Akıllı Fabrikalar İçin Otonom Taşıyıcılar Ve Gerekli İnsan-Makine Ve Makine-Makine Arayüzlerinin Geliştirilmesi.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Sinem Bozkurt Keser, bilimsel yayın araştırması, meta-sezgisel algoritmaların kodlanmasında ve test edilmesinde; İnci Sarıçiçek, bilimsel yayın araştırması, problemin tanımlanması ve meta-sezgisel algoritmaların probleme uyarlanarak başlangıç ve komşu çözüm mekanizmalarının tasarımı; Ahmet Yazıcı, Akıllı Fabrikalar açısından problemin tanımlanması ve OTA'lar için test ortamının oluşturulmasında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Abdelmaguid, T. F., Nassef, A. O., Kamal, B. A., & Hassan, M. F. (2004). A hybrid GA/heuristic approach to the simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *International Journal of Production Research*, 42(2), 267-281. doi: <https://doi.org/10.1080/0020754032000123579>.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899-919. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>.
- Bodin, L., Colden, B., Assad, A. & Ball, M. (1983). Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, *Computers and Operations Research*, 10, 63-201. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0305054883900308>.
- Brandão, J. (2006). A new Tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 173, 540-555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.042>.
- Cura, T. (2008). Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 173.
- Deroussi, L., Gourgand, M., & Tchernev, N. (2008). A simple metaheuristic approach to the simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *International Journal of Production*, 46(8), 2143-2164. doi: <https://doi.org/10.1080/00207540600818286>.
- Desaulniers, G., Langevin, A., Riopel, D., & Villeneuve, B. (2003). Dispatching and Conflict-Free Routing of Automated Guided Vehicles: An Exact Approach. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 15(4), 309-331. doi: <https://doi.org/10.1023/B:FLEX.0000036032.41757.3d>.
- Eglese, R.W. (1990). Simulated Annealing: A Tool for Operational Research, *European Journal of*

*Operational Research*, 46(3), 271-281. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90001-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90001-R).

- Emilio F., Dahleh M.A., & Feron E. (2002). Real-time motion planning for agile autonomous vehicles, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 25(1), 116-129. doi: <https://doi.org/10.2514/2.4856>
- Fazlollahtabar, H., & Saidi-Mehrabad, M. (2015). Methodologies to optimize automated guided vehicle scheduling and routing problems: a review study. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 77(3-4), 525-545. doi: <https://doi.org/10.1007/s10846-013-0003-8>.
- Firat, O. Z., & Firat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223. doi: <https://doi.org/10.5152/iujbsb.2017.005>.
- Glover, F. (1986). Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, *Computers and Operations Research*, 13(5), 533-549. doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(86\)90048-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(86)90048-1).
- Goetschalckx, M. & Jacobs-Blecha, C. (1989). The vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 42(1), 39-51. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90057-X).
- Gourgand, M., Sun, X. C. & Tcheinew, N. (1995). Choice of the Guide Path Layout for an AGV Based Material Handling Systems, *IEEE*, 2, 475-483. doi: <https://doi.org/10.1109/ETFA.1995.496688>.
- Herrero-Pérez D. & Martínez-Barberá H. (2010). Modeling distributed transportation systems composed of flexible automated guided vehicles in flexible manufacturing systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 6(2), 166-180. doi: <https://doi.org/10.1109/TII.2009.2038691>.
- Hussein, A., Mostafa, H., Badrel-Din, M., Sultan, O., & Khamis, A. (2012). Metaheuristic optimization approach to mobile robot path planning. International Conference on Engineering and Technology (ICET), 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/icengtechnol.2012.6396150>.
- Hwang, H., Cim, S. V. & Moon, S. W. (1996). Determination of Optimum Unit Load Size of the AGV in Ana Electronics Assembly Production System, *International Journal of Production Research*, 34(5), 1293-1306. doi: <https://doi.org/10.1080/00207549608904966>
- Kalinovic, L., Petrovic, T., Bogdan, S. & Bobanac, V. (2011). Modified Banker's algorithm for scheduling in multi-agv systems. *IEEE-CASE*, 351-356. doi: <https://doi.org/10.1109/CASE.2011.6042433>.
- King, R. E. & Wilson, C. (1991). A Review of Automated Guided Vehicle Systems *Design and Sheduling, Production Planning and Control*, 2(1), 44-51. doi: <https://doi.org/10.1080/09537289108919329>.

- Kumar, A. (2014). Development of an Automated Guided Vehicles in Industrial Environment. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research (IJMERR)*, 3(1), 377-391. Erişim adresi: [http://www.ijmerr.com/v3n1/ijmerr\\_v3n1\\_41.pdf](http://www.ijmerr.com/v3n1/ijmerr_v3n1_41.pdf).
- Lacomme, P., Larabi, M., & Tchernev, N. (2013). Job-shop based framework for simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 24-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.012>.
- Lee, J. H., Lee, B. H., & Choi, M. H. (1998). A real-time traffic control scheme of multiple AGV systems for collision free minimum time motion: a routing table approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 28(3), 347-358. doi: <https://doi.org/10.1109/3468.668966>.
- Lin, L., Shinn, S. W., Gen, M., & Hwang, H. (2006). Network model and effective evolutionary approach for AGV dispatching in manufacturing system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(4), 465-477. doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-005-0019-4>.
- Liu S., Linbo M., & Jinshou Y. (2006). Path planning based on ant colony algorithm and distributed local navigation for multi-robot systems, IEEE 2006 International Conference on Mechatronics and Automation, 1733-1738. doi: <https://doi.org/10.1109/ICMA.2006.257476>.
- Magdy Y., Shehata O. M., AbdelAziz M., Ghoneima M. & Tolbah F. (2017). Metaheuristic optimization in path planning of autonomous vehicles under the ATOM framework, IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 32-37. doi: <https://doi.org/10.1109/ICVES.2017.7991897>.
- Majety, S. V. & Wang, M. H. (1995). Terminal Location and Guided Path Design in Terminal Based AGV System, *International Journal of Production Research*, 33(7), 1925-1938. doi: <https://doi.org/10.1080/00207549508904790>.
- Maxwell, W. L. & Muckstadt, J. A. (1982). Design of Automatic Guided Vehicle Systems, *I.I.E. Transactions*, 14, 114-124. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05695558208975046>.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., & Teller, A. H. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 1087-1092. doi: <https://doi.org/10.1007/s002149900053>.
- Oboth, C., Batta, R., & Karwan, M. (1999). Dynamic conflict-free routing of automated guided vehicles. *International Journal of Production Research*, 37(9), 2003-2030. doi: <https://doi.org/10.1080/002075499190888>.
- Psaraftis, H. N. (1980). A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-many Immediate Request Dial-a-ride Problem, *Transportation Science*, 14(2), 130-154. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.14.2.130>.
- Rajotia, S., Shanker, K., & Batra, J. (1998). A semi-dynamic time window constrained routing strategy in an AGV system. *International Journal of Production Research*, 36(1), 35-50. doi: <https://doi.org/10.1080/002075498193921>.
- Shneier, M., & Bostelman, R. (2015). Literature Review of Mobile Robots for Manufacturing. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. NIST Internal Report. doi: <https://doi.org/10.6028/nist.ir.8022>.
- Ulusoy, G., Sivrikaya-Serifoglu, F., & Bilge, U. (1997). A genetic algorithm approach to the simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *Computers & Operations Research*, 24(4), 335-351. doi: [https://doi.org/10.1016/s0305-0548\(96\)00061-5](https://doi.org/10.1016/s0305-0548(96)00061-5).
- Vivaldini, K. C. T., Rocha, L. F., Becker, M. & Moreira, A. P. (2015). Comprehensive Review of the Dispatching, Scheduling and Routing of AGVs, Proc. of the 11th Port. Conf. on CONTROLO'2014 , 505-514. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10380-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10380-8_48).
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2019). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>.
- Xidias E.K. (2018). On Designing Near-Optimum Paths on Weighted Regions for an Intelligent Vehicle, *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 17(2), 89-101. doi: <https://doi.org/10.1007/s13177-018-0159-5>.
- Xidias E.K., Paraskevi Z., & Andreas N. (2016). Path Planning and scheduling for a fleet of autonomous vehicles. *Robotica*, 34(10), 2257. doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574714002872>.
- Xidias E.K., Nearchou A.C. & Aspragathos N.A. (2009). Vehicle scheduling in 2D shop floor environments, *Ind. Robot.*, 36(2). doi: <https://doi.org/10.1108/01439910910932630>.
- Xie, M. (1995). Trinocular Vision for AGV Guidance: Path Locationization and Obstacle Detection, *Computer and Electrical Engineering*, 21(6), 441-452. doi: [https://doi.org/10.1016/0045-7906\(95\)00021-L](https://doi.org/10.1016/0045-7906(95)00021-L).
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616-630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015>.