

**OTOMATİK MALZEME TAŞIMA SİSTEMİ TASARIMI
İÇİN HİBRİT YAKLAŞIM**

Enver Burak KORÇAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Enver Burak KORÇAK tarafından hazırlanan “OTOMATİK MALZEME TAŞIMA SİSTEMİ TASARIMI İÇİN HİBRİT YAKLAŞIM” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Serpil EROL
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Orhan TÜRKBEY
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Serpil EROL
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Taner ALTINOK
Endüstri Mühendisliği, Çankaya Üniversitesi

Tarih: 11 / 02 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Enver Burak KORÇAK

**OTOMATİK MALZEME TAŞIMA SİSTEMİ TASARIMI
İÇİN HİBRİT YAKLAŞIM
(Yüksek Lisans Tezi)**

Enver Burak KORÇAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Otomatik yönlendirmeli araç (AGV) sistemlerinin, malzeme taşıma ekipmanı olarak kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin büyük avantajlarının karşısında yüksek ilk yatırım maliyetleri söz konusudur. AGV sistemi yatırımlarında araç maliyeti toplam yatırım maliyetinin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Bundan dolayı araç sayısının minimizasyonu önemli problemlerdendir.

Literatürde, araç sayısını tahmin etmek için kullanılan analitik yöntemlerin tamamında tecrübeye dayalı olarak belirlenen etkinlik faktörü katsayıları kullanılmaktadır. Bu katsayılara, incelenen sistemden bağımsız olarak verilen değerler problemin sonucunu oldukça etkilemektedir. Bunun yanında, bu dezavantaja sahip olmayan simülasyon modellerini oluşturmak oldukça pahalı ve zaman alıcıdır. Ayrıca bu modeller ile sonuca ulaşmak için çok sayıda deneme yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda ise deneme sayıları problemin çözümünü imkansız hale getirecek kadar artmaktadır.

Bu çalışmada AGV sistemlerinde gerekli minimum araç sayısını ve ara stokları minimize edecek yeniden sipariş noktalarını belirlemek amacıyla, simülasyon modeli ve bir sezgisel algoritmanın entegre bir

şekilde birlikte çalıştığı hibrit bir yaklaşım öne sürülmüştür. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, öne sürülen teknik, gerçek bir üretim tesisi için tasarlanan bir AGV sistemi üzerinde uygulanmıştır. Tekniğin uygulamasında kullanılan simülasyon modeli Flexsim simülasyon yazılımı ile oluşturulmuştur. Daha sonra, alınan sonuçlar, araç sayısının tahmini için Egbelu (1987) tarafından geliştirilen bir analitik model ile karşılaştırılarak her iki yöntemin verdiği sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kullanılan hibrit yöntemin, çok az sayıda deneme ile kesin sonuca ulaşmayı mümkün hale getirebildiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.140
Anahtar Kelimeler : Otomatik yönlendirmeli araç sistemi, gerekli araç sayısı, ara stok seviyeleri, simülasyon, sezgisel algoritma
Sayfa Adedi : 91
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Serpil EROL

**A HYBRID APPROACH FOR DESIGN OF
AUTOMATED MATERIAL HANDLING SYSTEM**

(M.Sc. Thesis)

Enver Burak KORÇAK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2010

ABSTRACT

With developing technology, usage of AGV systems as material handling equipment is getting very common. In spite of the advantages of this system, the initial investment costs are very high. It is a fact that the biggest portion of investments costs of AGV systems is the vehicle costs. So determining the minimum number of vehicles required is very important.

All of the analytic models developed for determining the number of the vehicles in literature, uses an efficiency multiplier which can be determined only by previous experiences. The values of this multipliers which has been determined independent from the system analyzed, have a considerable effect on result. On the other hand, simulation models which don't have such disadvantage are expensive and require more time. Furthermore, these models require too many test runs in order to reach result. In some cases, number of test runs make the problem impossible to solve.

In this study, an integrated hybrid approach that uses simulation model and heuristic algorithm has been developed to determine the minimum number of required vehicles and reorder points that

minimize the work in process in AGV systems. In the further stages of study, this approach has been applied on an AGV system that is designed for a real manufacturing system. The simulation model is constructed using Flexsim simulation software. Later on, same problem solved by a an analytic model which developed by Egbelu (1987). Then the results that evaluated by both methods are compared to assess the efficiency of the method developed in this study. As a result, it's seen that it is possible to reach to the accurate result with less test runs using the hybrid approach.

Science Code	: 906.1.140
Key Words	: Automated Guided Vehicle System, Number of Vehicles, Work In Process Inventory, Simulation, Heuristic Algorithm
Page Number	: 91
Adviser	: Prof. Dr. Serpil EROL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr.Serpil EROL'a, benden hiçbir desteğini esirgemeyen Serdar ÇEVİK'e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Eda KORÇAK'a, aileme ve tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. AGV SİSTEMLERİ	4
2.1. AGV Sistemleri Tarihçesi.....	4
2.2. AGV Sistemlerinin Avantajları.....	5
2.3. AGVs Uygulamaları	8
2.3.1. Montaj sistemleri.....	8
2.3.2. Depolama sistemleri.....	9
2.3.3. Esnek imalat sistemleri.....	9
2.4. AGV Sistemlerinin Özellikleri ve Hareket Durumu	10
2.5. Yönlendirme Sistemlerine Göre AGV Araç Tipleri	10
2.5.1. Kablo yönlendirmeli (wire-guided) araçlar	10
2.5.2. Işık yönlendirmeli (light guided) araçlar	11
2.5.3. Lazer yönlendirmeli (laser guided) araçlar.....	11

2.5.4. Jiroskop yönlendirmeli (gyro guided) araçlar	12
2.6. Örnek AGV Araçları	13
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
3.1. Literatürdeki Mevcut Çalışmalar	17
3.1.1. Kılavuz yol tasarımı ile ilgili çalışmalar	17
3.1.2. Gerekli araç sayısı tahmini ile ilgili çalışmalar	20
3.1.3. Araç çizelgeleme ile ilgili çalışmalar	22
3.1.4. Boş araç pozisyonlama ile ilgili çalışmalar.....	23
3.1.5. Pil yönetimi ile ilgili çalışmalar	24
3.1.6. Araç rotalama ve çakışmaların önlenmesi ile ilgili çalışmalar	25
3.2. Çalışmanın Literatüre Katkısı.....	28
4. SİMÜLASYON VE FLEXSİM YAZILIMI	29
4.1. Simülasyon	29
4.1.1. Simülasyonun tanımı	30
4.1.2. Simülasyonun genel özellikleri	31
4.1.3. Simülasyonun kullanım amaçları	32
4.1.4. Simülasyonun avantajları ve dezavantajları	32
4.1.5. Simülasyonun uygulama alanları.....	33
4.2. Simülasyon Modeli Türleri	34
4.3. Sistem Simülasyonu	36
4.3.1. Sistemin bileşenleri.....	36
4.3.2. Sürekli ve süreksiz (kesikli) sistem	37

Sayfa

4.3.3. Karmaşık sistemler ve modelleme	38
4.4. Simülasyon ile Sonuca Ulaşmak	39
4.5. Flexsim Simülasyon Yazılımı	39
5. AGV SİSTEMLERİNDE ARAÇ SAYISININ BELİRLENMESİ VE ARA STOKLARIN MİNİMİZASYONU İÇİN GELİŞTİRİLEN HİBRİT TEKNİK	41
6. HİBRİT TEKNİĞİN ÖRNEK BİR SİSTEMDE UYGULANMASI	48
6.1. Sistemin Tanımı	48
6.2. Örnek Sistem İçin Flexsim Simülasyon Modelinin Oluşturulması	51
6.2.1. AS/RS sisteminin modellenmesi.....	52
6.2.2. AGV kılavuz yollarının modellenmesi	52
6.2.3. AGV araçlarının ve görevlendirme sisteminin modellenmesi.....	54
6.2.4. İş istasyonlarının modellenmesi	55
6.2.5. Varışlar	56
6.2.6. AS/RS'den malzeme talep etme sistemi.....	56
6.2.7. Çakışmaların kontrolü.....	57
6.3. Flexsim Simülasyon Modelinin Çalıştırılması	61
6.3.1. Karar değişkenleri.....	62
6.3.2. Performans kriterleri	62
6.3.3. Isınma ve çalıştırma sürelerinin belirlenmesi.....	63
6.4. Örnek Probleme Hibrit Tekniğin Uygulanması	64
7. GELİŞTİRİLEN HİBRİT TEKNİĞİN BİR ANALİTİK MODEL İLE KARŞILAŞTIRMASI.....	69
7.1. Egbelu'nun Analitik Modeli.....	69

Sayfa

7.2. Problemin Analitik Model ile Çözümü	70
7.3. Geliştirilen Hibrit Teknik ile Egbelu'nun Analitik Modelinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	73
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	76
EKLER	85
EK 1 - AGV Görevlendirme Kodları.....	86
EK 2 - AS/RS'den Malzeme Talep Etme Kodları	87
EK 3 - AGV Çakışmalarını Kontrol Eden Kodlar	88
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Gerekecek deneme sayıları	46
Çizelge 5.2. Beklenen deneme sayıları.....	47
Çizelge 6.1. Taşınan malzemeler ve çevrim süreleri.....	50
Çizelge 6.2. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 1-5)	65
Çizelge 6.3. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 6-10)	66
Çizelge 6.4. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 11-16)	67
Çizelge 7.1. İstasyonlara yapılması beklenen ortalama seyahat sayıları	71
Çizelge 7.2. İstasyonlara göre tur mesafeleri.....	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Sezgisel algoritma ve simülasyon modelinden oluşan hibrit yapı	41
Şekil 5.2. Sezgisel algoritmanın akış diyagramı	43
Şekil 5.3. En uygun yeniden sipariş noktasını arama yöntemi	45
Şekil 6.1. AGV sistemi yerleşim planı	49
Şekil 6.2. Kullanılması önerilen AGV aracı	51
Şekil 6.3. AGV'lerin olası çarpışma noktaları	53
Şekil 6.4. AGV'lerin görev bekleme noktası	54
Şekil 6.5. İş istasyonu	55
Şekil 6.6. Çakışma kontrol küreleri.....	57
Şekil 6.7. Trafik kontrol modülü	58
Şekil 6.8. Simülasyon modelinin genel görünümü.....	59
Şekil 6.9. Simülasyon modeli ekran görüntüsü – AS/RS çıkış bölgesi ve AGV yükleme noktası	60
Şekil 6.10. Simülasyon modeli ekran görüntüsü – 2. ve 3. İstasyonlar	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 2.1. Çatallı AGV	13
Resim 2.2. Yüksek Çatallı AGV	14
Resim 2.3. Konveyörlü AGV	14
Resim 2.4. Kaldıraçlı AGV	15
Resim 2.5. Konteynır Taşıyıcı AGV	15
Resim 2.6. Çekici AGV	16

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$D(\beta_i, \alpha_j)$	β_i ile α_j noktaları arasındaki mesafe
e	Araç verimliliği
f_{ij}	Belli bir zaman periyodunda yada bir vardiyada i noktasından j noktasına yapılması beklenen ortalama seyahat sayısı
n	Sistemdeki iş istasyonu sayısı
T	Belirlenen zaman periyodu
t	T zaman periyodunda araçların pil değiştirmek için harcadıkları zaman
t_l	Ortalama yükleme süresi
t_u	Ortalama boşaltma süresi
V	Ortalama araç hızı (m/dk)
α_i	i . iş istasyonunun boşaltma noktası
β_i	i . iş istasyonunun yükleme noktası

Kısaltmalar	Açıklama
AGV	Otomatik Yönlendirmeli Araç (Automated Guided Vehicle)
AS/RS	Otomatik Depolama ve Geri Çekme Sistemi (Automated Storage and Retrieval System)
FIFO	İlk Giren İlk Çıkar (First In First Out)

1. GİRİŞ

Günümüzde, gelişen teknoloji ve işgücü kaynaklarının maliyetlerindeki artış, özellikle gelişmiş ülkelerde faaliyet gösteren firmaların, üretim sistemlerindeki otomasyon seviyesini yükseltmesine neden olmaktadır. Bu dönüşüm başta rutin işler olmak üzere çok özel işler hariç tüm üretim faaliyetleri için gerçekleştirilebilir hale gelmektedir.

Günümüzde yaygın olarak otomasyon seviyesi yükseltilecek sistemler arasında malzeme taşıma ve depolama işlemlerini kapsayan fabrika içi lojistik sistemleri de yer almaktadır. Sektörden sektöre ve taşınan malzemeye göre birbirinden farklı taşıma ve depolama ekipmanlarının seçimi mümkündür. Bu ekipmanlar arasında, taşıma için, boru sistemleri, bant tipi, rulolu, zincirli, askılı, Power&Free, Elektrikli Power&Free konveyör sistemleri, raylı taşıyıcı sistemler, endüstriyel taşıtlar, forkliftler ve AGV sistemleri, depolama için yine her türlü konveyör sistemleri, raf sistemleri, raf arası forklift sistemleri, otomatik gantry vinçler, otomatik stoklama ve geri çekme sistemleri olarak adlandırılan AS/RS sistemleri ve buna benzer diğer sistemler yer alır. Kullanılacak ekipmanın seçimi, taşıma ve depolama işleminin yapılacağı malzemenin tipine, sistemin çalışacağı ortama ve sistemin istenilen otomasyon seviyesi ile maliyet oranına bağlı olan yatırım geri dönüş süresine göre yapılır.

Yüksek maliyetli ekipmanlardan meydana gelen bu sistemlerin ilk yatırım tutarları oldukça yüksek olduğundan en iyi şekilde tasarlanmaları çok önemlidir. Bu durum araştırmacıları bu konu üzerinde çalışmasını gerektirmiş ve sonuçta birçok çalışma ortaya çıkmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada matematiksel modeller, sezgisel yöntemler, algoritmalar ve simülasyon modelleri kullanılarak bu sistemler için performans kriterlerini en iyi seviyeye çekecek olan tasarım kriterleri araştırılmıştır.

Literatürde geçen çalışmaların hemen hemen hepsi inceledikleri örnek problemler için uygun sonuçlar vermektedir. Fakat asıl önemli olan bu sonuçların gerçek sistemler için ne kadar geçerli olduklarıdır. Fabrika içi lojistik sistemleri, yapıları gereği birçok değişkene maruz kalırlar ve fabrika içindeki birçok rassal olay bu sistemlerin performansını etkiler. Yapılan bir bilimsel çalışmanın gerçek sistemler için ne kadar geçerli olacağı, gerçekte bu sistemi etkilemesi muhtemel tüm etmenlerden hangilerinin kapsandığı ile doğrudan ilgilidir. Fakat özellikle stokastik özellik gösteren etmenlerin, ki gerçek etmenler genellikle stokastiktir, matematiksel modellere veya sezgisel algoritmalara eklenmesi hem zordur, hem de problemin çözümünü oldukça zorlaştırır hatta çoğu zaman imkansız hale getirir. Diğer yöntemlerin aksine simülasyon modellerine bu tip etmenleri eklemek o kadar da zor değildir. Bu durum simülasyon tekniğinin kullanımını cazip hale getirmektedir. Fakat simülasyon tekniği de yapısı gereği bir çözüm üretme aracı değil, üretilen çözümleri test etme aracıdır. Simülasyon modeli ile optimum çözüme ulaşmak için tasarım değişkenlerinin mümkün tüm kombinasyonları test edilir ve en iyi performansı veren değişken kombinasyonu optimum çözüm olarak belirlenir. Fakat bu çözüm yolu, değişkenlerin aldıkları aralıklar genişlediğinde ve değişken sayısı arttığında kombinasyon sayısının çok yükselmesi sebebiyle genellikle çok uzun sürmekte hatta çoğu zaman imkansız hale gelmektedir.

Bu çalışmada, AGV sistemleri için gerekli minimum araç sayısının belirlenmesi ve ara stoklarının (süreç içi stoklar) minimizasyonu amacıyla simülasyon modeli ile bir sezgisel algoritmanın entegre çalıştığı hibrit bir teknik geliştirilmiştir. Sezgisel algoritma, simülasyon modeline girdi verilerini göndererek geri besleme olarak modelin çıktılarını almakta ve aldığı çıktılarına göre yeni girdiler üreterek modeli tekrar çalıştırmakta ve bu süreci tekrarlayarak problem için uygun bir çözüm üretmektedir.

Geliştirilen bu hibrit teknik, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, seri üretim yapılan bir beyaz eşya fabrikasında yan sanayiden gelen malzemelerin

stoklandığı bir AS/RS sisteminden montaj hatlarına malzeme taşınması işleminde kullanılmak üzere tasarlanan bir AGV sistemi üzerinde uygulanmıştır. Tasarlanan sistem öncelikle ticari bir simülasyon yazılımı olan “Flexsim” kullanılarak modellenmiş daha sonra tez ile geliştirilen hibrit teknik ile çalıştırılarak sistemde kullanılması gereken minimum araç sayısı ve ara stokları minimize eden yeni istasyonlarda tutulması gereken minimum stok seviyeleri araştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde AGV sistemleri ve sanayide kullanılan AGV tipleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde literatür araştırması yer almaktadır. Dördüncü bölümde simülasyon ve Flexsim yazılımı ile ilgili bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde AGV sistemlerinde kullanılması gereken minimum araç sayısını belirlemek ve ara stokları minimize etmek için geliştirilen hibrit teknik detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Geliştirilen hibrit teknik, altıncı bölümde örnek bir AGV sistemi üzerinde uygulanmıştır. Yedinci bölümde aynı örnek AGV sistemi için analitik bir model ile araç sayısı tahmin edilmiş ve hibrit teknik ile analitik modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise geliştirilen tekniğin avantajları ve dezavantajları tartışılmış, gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. AGV SİSTEMLERİ

Otomatik kontrollü araç, kısaca AGV (Automated Guided Vehicle Systems) sistemleri günümüzde üretim ve depolama sistemleri için malzemelerin taşınmasında çok yaygın olarak kullanılmakta olan sistemlerdir. AGV'ler adlarından da anlaşılacağı gibi otomatik kontrollüdürler ve bir operatöre ihtiyaç duymazlar.

2.1. AGV Sistemleri Tarihçesi

50 yıldan fazla bir süredir AGV araçları endüstride yer almaktadır. İlk AGV aracı 1953 yılında yapıp kullanıldı. Bir römork çekicisinin, tavanda çekilen tel ile rotasını belirtmek suretiyle yapılan bu ilk AGV 1960'lara kadar birçok depo ve fabrikada kullanıldı. Ardından 1973 yılında Volvo firması, AGV aracını üretilen arabaların montaj platformu olarak kullanmaya başladı. AGV araçları, üzerlerinde yapım aşamasındaki arabaları istasyonlar arası gezdirerek montaj sistemlerinin gerçekleştirilmesini sağlıyordu. Geleneksel üretim bandına alternatif bir üretim yöntemi ortaya çıkmış oldu. Hareketli montaj platformları birim yük taşıyıcıları adında yeni bir AGV çeşidini ortaya çıkardı. Birim yük taşıyıcıları hem çalışma platformu hem de taşıma aracı olarak kullanıldığından çok yaygınlaştı. Günümüzde birim yük taşıyıcıları depolarda, fabrikalarda, hastanelerde ve daha birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. 1970'lerdeki AGV sistemlerinde yönlendirici olarak yere gömülmüş olan kablolar kullanılıyordu. "Yer denetleyicisi" tarafından akımın frekansı ayarlanıyor ve AGV'nin istenilen rotada gitmesi sağlanıyordu. Yol ayrımlarında ve araçların karşılaşmaları durumlarındaki sorunu ortadan kaldırmak için bu sistemde yere birden fazla kablo gömülmesi gerekiyordu. Aracın gideceği rota boyunca yere kablo döşenmesi gerekliliği problemi rotaların daha basit tasarlanmasını gerektirdi. "Dead Reckoning" adı verilen teknik, aracın bir karşılaşma esnasında yada kavşaklarda kablo ile belirtilen rotadan çıkıp belli bir yarıçap ile dönerek tekrar rotaya girmesini ve yoluna devam etmesini sağladı. Bu sayede kesişim noktalarındaki köşeli dönüşlerin

önüne geçebildi. Fakat hala yerde gömülü bir çift kabloya ihtiyaç vardı. 1980'lere gelindiğinde kablosuz yönlendiriciler ortaya çıkmaya başladı. Lazerli yönlendiriciler ve ardından 1990'larda jiroskoplu yön bulma sistemleri ortaya çıktı. Kablosuz sistemler AGV sistemlerine esneklik getirdi. 1970'lerde Amerika'da AGV üreten firma sayısı 6, araç çeşidi ise 3 iken 1990'lara gelindiğinde 40'tan fazla firma ve 15'ten fazla araç çeşidine ulaştı.

2.2. AGV Sistemlerinin Avantajları

Malzeme taşıma sistemlerinin en önemlilerinden birisi olan AGV sistemlerinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

Verimli Alan Kullanımı

AGV sistemleri işletme içindeki forklift gibi diğer malzeme araçları ile aynı yolları kullandığı ve bu yollar üzerinde kalıcı bir ekipman kullanımına gerek duymadığı için AGV aracı yolu kullandıktan sonra yol genel kullanıma açık hale gelmektedir. Bundan dolayı AGV sistemleri alanı diğer otomatik malzeme taşıma sistemlerine göre çok daha verimli kullanmış olurlar. Bu özellik AGV sistemlerinin en büyük avantajıdır.

Esneklik

Bir AGV'nin en önemli avantajı, esneklik ve adapte edilebilme özelliğinin olmasıdır. AGV sistemlerinde esneklik birçok alana uzanabilir. Bunlar:

Hacim Esnekliği: Üretim hacmindeki değişikliklere adaptasyon şeklinde tanımlanır.

Çizelge Esnekliği: Son anda yapılan bir değişikliğin çizelgede yer almasıdır.

Geri Alma Esnekliği: Aracın veya istasyonun hata yapması karşısında sistemin malzemeleri alternatif yolları kullanarak dağıtmaya devam etmesidir.

Donanım Esnekliği: Sistem kurulduktan sonra akış yollarının, toplama ve dağıtım istasyonlarının attırılmasında görölen kolaylık anlamındadır. Akış yollarının değiştirilmesi ile depo ilavesi yapmak daha kolay gerçekleşir.

Araç Esnekliği: Birçok araç tiplerinin farklı uygulamalarda kullanılabilmesidir.

Tesis Kuruluş ve Değiştirme Kolaylığı

AGV sistemleri, kılavuz yolları için çok az sabit eleman kullandığından ve araçların rotaları fiziksel elemanlardan ziyade yazılım vasıtası ile belirlendiğinden rulolu, zincirli veya raylı konveyörler gibi diğer malzeme taşıma sistemlerine kıyasla çok daha kolay kurulup değiştirilebilir.

İşgücü ve İşgücü Maliyetlerinde Azalma

Operatörsüz araçların kullanıldığı durumlarda işgücünün azaltılması yolu ile önemli kazançlar elde edilmektedir. AGV'ler sayesinde, bekleme zamanının ve işçilerin harcadığı sürenin azalması sonucu, makineden yararlanma ve verimlilik oranlarında artış görölmektedir. Kısacası dolaylı ve dolaysız işgücü maliyetleri, otomatik malzeme taşıma sistemleri kurulduğu zaman azalmaktadır. AGV'ler insan gücünü tamamen ortadan kaldırmamakta, yalnızca işgücü maliyetlerinin düşmesine neden olmaktadır.

Ergonomik Çalışma Ortamı

AGV araçlarının, yüksek sıcaklık, gürültü, titreşim gibi ergonomik açıdan olumsuz olan hiçbir etkisi bulunmamaktadır. AGV sistemi kullanılan çalışma ortamlarında malzeme taşıma ekipmanlarının sebep olduğu ergonomik problemlere rastlanmaz. Bunun yanında AGV araçlarının üstüne çeşitli

aparatlar monte edilebildiğinden AGV üzerinde işlem yapılan sistemlerde işlemin ergonomik olarak en iyi şekilde yapılabilmesi mümkündür.

Enerji Maliyetlerinin Azaltılması

AGV sistemlerinin çalıştırılmasında oldukça düşük enerji kullanılmaktadır. Çünkü AGV yalnızca görevini yaptığı zaman enerji kullanmaktadır. AGV büyük miktarda malzemelerin taşınması durumunda daha ekonomik bir durum sergilemektedir. AGV sistemlerinin çoğunda ekonomik geri dönüşüm süresi yaklaşık olarak üç yıl olarak belirlenmekte ve yapılacak iyileştirme çalışmaları sonucu bu süre daha da düşebilmektedir.

Taşıma Hasarlarının Azaltılması

AGV sistemlerinde araçlar önceden belirlenen rotalarda seyrettikleri ve sensörleri yardımıyla yol üzerindeki engelleri tespit edebildikleri için engellere ve diğer nesnelere çarpma ihtimalleri bulunmamaktadır. Ayrıca taşınan malzemeye her zaman önceden tespit edilen noktalardan ve önceden tespit edilen şekilde temasta bulunulur. Bu nedenden dolayı malzemelere verilen hasarlar azalmaktadır.

Etkin Stok Kontrolü

Malzeme taşıma sistemleri, malzemelerin hareketlerini kayıt ederek, en uygun durumun oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. AGV sistemi merkez depoda, tampon depoda, iş başında ve malzeme taşınmasında bulunan stokları kontrol etmektedir. Böylece doğru malzeme, doğru zamanda, doğru yere ulaşarak, malzeme akışı kontrol edilmektedir. Malzeme akışının kontrolü sayesinde tüm stoklar ve depoların yerleşim sayısı azalmaktadır.

Bütünleşik Tasarım

AGV sistemleri; diğer malzeme taşıma sistemleri ile otomatik etkileşimli olarak tasarlanmaktadır. AGV sistemlerinin bütünleşik tasarımda diğer bir görevi de birbirinden bağımsız olarak gerçekleşen birçok otomatik sistem arasında bağlantı kurarak, fabrikaları otomasyona daha uygun hale getirmektir.

2.3. AGV Uygulamaları

AGV çoğunlukla montaj sistemlerinde, depolama sistemlerinde ve esnek imalat sistemlerinde kullanılır.

2.3.1. Montaj sistemleri

AGV sistemlerinin birçok yeni montaj fabrikasında kullanılmasının nedeni, esneklik, verimlilik, kalite ve takım çalışması gerektirmesidir. Kullanılan AGV'lerin %70 kadarı montaj sektöründe özellikle otomotiv montaj hatlarında kullanılmaktadır.

AGV montaj sistemleri, Avrupa otomotiv endüstrisi tarafından geliştirilmiştir. Amerikan imalatçılar ise bunu yakın zamanlarda kabul etmiştir. Montaj sistemlerinde AGV kullanımı bütün üretim çevresi ile bütünleşir. AGV'lerin pozisyonları ve üzerindeki aparatlar diğer imalat ekipmanları ile birlikte merkezi bilgisayar sistemi ile birlikte kontrol edilebildiğinden tek merkezden tüm sistemin bütünleşik bir şekilde idare edilebilmesine olanak sağlar. AGV ile parçalar kolaylıkla taşınır, ürün tiplerine göre istenen iş istasyonları pas geçilebilir. AGV araçları her aracın taşıdığı ürün seçeneği ve ürüne göre programlanır.

Genel olarak AGV ekipmanı diğer ekipmanlardan daha pahalı olmasına rağmen tüm avantajları göz önüne alındığında daha etkin olarak kullanıldığı görülür ve daha çok maliyet avantajı sağlar.

2.3.2. Depolama sistemleri

AGV sistemlerinin en yaygın kullanıldığı yerlerden biri de depolardır. Üzerinde fork bulunan ve yüksek raflara malzeme yerleştirebilen AGV'ler verilen malzemeleri raflara otomatik olarak istifleyebilir. Yada alınması gereken malzemeleri raftaki yerinden bularak alabilir. Bu şekilde depodaki tüm taşıma, malzeme istifleme ve malzeme çekme işlemleri otomatik olarak yapılmış olur. Bunun dışında AS/RS sistemlerinin kullanıldığı otomatik depolar, malzemeyi tam olarak AGV'nin alacağı yere, AGV'nin alacağı şekilde getirebildiğinden AGV sistemleri ile tam bir uyum içinde çalıştırılmaya yatkındır. Malzemelerin AS/RS'de depolanıp AGV'ler ile kullanılacağı yere taşındığı sistemler otomasyonun en üst seviyeye çıktığı, yalın üretim ve tam zamanında üretim felsefelerinin ilkelerine en yakın şekilde çalışabilen sistemlerdir.

2.3.3. Esnek imalat sistemleri

Esnek imalat sistemleri, firmaların yüksek verimlilik ve karlılık amaçlarına ulaşmalarına yardımcı olan, merkezi bir taşıma sistemi ile fiziksel olarak birbirine bağlanmış üretim elemanlarının topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Esnek imalat sisteminin amacı çeşitliliği yüksek ürünleri düşük maliyetle, yüksek hızda ve ihtiyaç değişikliklerine cevap verebilen esneklikte üretimlerini gerçekleştirmektir. Malzeme taşıma sistemi ise esnek imalat sisteminin temel unsurudur. Malzeme taşıma sisteminin diğer esnek imalat sistemi elemanları olan makineler, robotlar, destek ekipmanları ve bilgisayar kontrolü ile uyuşması gerekmektedir. Esnek imalat sisteminde kullanılan çeşitli malzeme taşıma sistemlerinden bazıları konveyörler, raylı taşıyıcılar, çekmeli hatlar, AGV sistemleri ve robotlardır. Farklı malzeme taşıma sistemleri esnek imalat

sistemi için farklı esneklikler getirir. Raylı taşıyıcılar esnek değildir. Üzerinde yapılacak değişiklikler, yeni rotalar uzun zaman alır ve çok maliyetlidir. Ayrıca bu sistemlerden bazıları fabrika zemininde engeller oluşturur. Çekmeli hatlar rastlantısal parça dağıtımı için oldukça uygundur ancak yine rotalama zordur. Robotlar ise sınırlı alanı olan işyerlerinde daha verimli kullanılır. AGV sistemleri hatasız, güvenilir çalışmaları ve kullanım avantajları nedeni ile esnek imalat sisteminde en yaygın olarak kullanılan sistemlerden birisidir.

2.4. AGV Sistemlerinin Özellikleri ve Hareket Durumu

Sistem kategorisinin tipi belirlendikten sonra uygulamaya en iyi şekilde uyan aracın tipi düşünülür. AGV sisteminin başarısı, doğru aracın ve doğru sistem kontrol kategorisinin seçimine bağlıdır. AGV sistemi, robotlar, AS/RS sistemleri, konveyörler ve otomasyon parçaları ile ilişkilendirilerek tasarlanır.

AGV'ler bazı karakteristik özelliklere sahiptir. Bunlar yönlendirme mekanizması yük fişörleri, yük transfer mekanizmasının tipi, maksimum yük kapasitesi, yükselme tip ve büyüklüğü, araç büyüklüğü, manevra kabiliyeti, otomatik yükleme/boşaltma, bilgi düzenlenmesi şeklindedir.

2.5. Yönlendirme Sistemlerine Göre AGV Araç Tipleri

2.5.1. Kablo yönlendirmeli (wire-guided) araçlar

Kablo yönlendirmeli araçlarda zemin altına yerleştirilmiş bir kablo düşük frekansla, düşük akımla AC sinyalli ve eş merkezli elektromanyetik dalgalar yaymaktadır. AGV üzerindeki tarama bobini bu dalgaları almakta, aldığı sinyalleri direksiyon motorunu harekete geçiren kontrol ünitesine göndermekte ve rotayı başlatmaktadır.

Kablolar zemin altında olduğu için, zemin üzerindeki trafiği engellememektedir. Bu durum, konveyör ve raylı sistemle ilgili ana problemi

ortadan kaldırmaktadır. Bu AGV sistemleri yeni bir rota ve buna bağılı olarak kablo döşeme söz konusu olmadıkça esneklik göstermektedir. Aynı zamanda araçlar tüm zemin yüzeylerinde çalışmak üzere tasarlanamamaktadır. Araç kirli veya düz olmayan bir zemin yüzeyi ile karşılaştığında verimli ve düzenli olarak çalışmamaktadır. Bu bakımdan zemin ile ilgili önlemlerin önceden ele alınması gerekmektedir. Sistemin kurulma maliyeti oldukça yüksek seviyelerdedir. Fakat AGV'lerin çalışmaları oldukça hatasız ve güvenilirdir.

2.5.2. Işık yönlendirmeli (light guided) araçlar

Bu tip AGV sistemleri, çok esnek olması ve rotasının rahat olarak değiştirilmesi özellikleri nedeni ile oldukça avantajlıdır. Bazı işleyiş farklılıkları dışında kablo yönlendirmeli araç tipine benzer bazı temel kriterler ile çalışmaktadır. Kablo yönlendirmeli AGV sistemlerindeki tarama bobininin yerini, ışığa duyarlı fotoseller almaktadır. Fotoseller zemindeki florasan, boya veya banttıan yansıyan ışığı algılamaktadır. Bu sistemdeki ana problem, ışık algılayıcıların veya zemindeki bantların kirlenmesi veya zarar görmesi nedeni ile ışığın şeklinin ve kalitesinin bozulmasıdır. Bunun sonucunda AGV rota dışına çıkabilmektedir. Rota dışına çıkan aracın gönderilmesinde karşılaşılan en büyük kayıp, taşıma işlem akışının durdurulmasıdır. Tek koruma yöntemi, temiz ve istenilen kalitede zemin yüzeyine ve iş çevresine sahip olabilmektedir. Bu nedenle bu tip AGV sistemleri uygulamaları, elektronik endüstrisi gibi temiz bir çevreye sahip olan sektörlerde kolayca uygulanabilir.

2.5.3. Lazer yönlendirmeli (laser guided) araçlar

Lazer yönlendirmeli AGV sistemleri, taşıdıkları lazer sensörü sayesinde taşıma rotası üzerinde çeşitli noktalara yerleştirilmiş yansıtıcıları kullanarak pozisyonlarını tespit etmektedirler. AGV üzerindeki bilgisayar, pozisyonu belirlemekte ve depolanmış yol programındaki sonuçlar ile karşılaştırmaktadır. Bu bilgisayar tarafından işlenen bilgi, kablosuz ağ bağlantısı ile kontrol bilgisayarının olduğu bir istasyona gönderilmektedir.

Yönetici bilgisayar, AGV'lerden ve istasyonlardan aldığı bilgiye göre oluşturduğu rotalama talimatlarını tekrar kablosuz ağ bağlantısı ile araçların üzerindeki bilgisayarlara iletir.

AGV'ler, çevresindeki engeller etrafında manevra yapmak ve sorun çıktığında kontrol bilgisayarına iletmek amacı ile programlanmıştır. Bu tip araçlar tahta ve çatlak beton gibi düz olmayan yüzeylerde bile kolaylıkla çalışabilmektedir. Sistemin kurulması yalnızca duvar ve sütunlara reflektörleri koymaktan ibaret olduğundan kurulum oldukça düşük maliyetli olmaktadır. Aynı zamanda zeminin kablo döşemek için açılmasına da gerek kalmamaktadır.

Lazer yönlendirmeli AGV sistemleri, yeni olmasına rağmen, mevcut AGV pazarının büyük bir kısmına egemendir.

2.5.4. Jiroskop yönlendirmeli (gyro guided) araçlar

Jiroskop yönlendirmeli araçlar, taşıdıkları jiroskop sayesinde hassas bir şekilde kendi açısal ivmelerini ölçer ve bu bilgiyi kat ettiği mesafeyi ölçen enkoderden gelen bilgilerle birleştirerek tam pozisyonunu hesaplar.

Bu sistemler için lazer yönlendirmeli araçlara benzer olarak zeminde herhangi bir kanal açılmasına gerek yoktur. Ayrıca bu cihazlar reflektörlere de ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla kurulum maliyeti en düşük olan sistemler bu sistemlerdir. Bunun yanında pahalı lazer sensörüne de ihtiyaç duymadıkları için araç maliyetleri de daha düşüktür.

Günümüzde çok yeni bir teknoloji olan jiroskop yönlendirmeli araçların gelecekte AGV sektörünün önemli bir kısmına sahip olması beklenmektedir.

2.6. Örnek AGV Araçları

AGV araçları taşıyacağı malzemenin şekline, ağırlığına, çalışılacak olan ortama, malzeme yükleme ve boşaltma istasyonlarına ve diğer etmenlere göre tamamen özel olarak tasarlanabilir.

Aşağıda bazı otomatik yönlendirmeli araçların resim ve özellikleri yer almaktadır:



Resim 2.1. Çatallı AGV

Çatallı AGV araçları, paletlerin ve ruloların bir yerden bir yere taşınması için iyi bir alternatiftir. Araçta bulunan iki yatay bacak yanıl destek sağlamaktadır. Yüklün kaldırılması ve indirilmesi sırasında ağırlığın iki taraflı dengelenmesini sağlar. Ortadaki çatal ise paletlerin veya ruloların kaldırılması için kullanılabilir. Aracın boyutları, taşıyacağı yükün ağırlığına, boyutlarına ve şekline göre değişiklik gösterir.



Resim 2.2. Yüksek Çatallı AGV

Yüksek çatallı AGV araçları, palet ve raf yüklerini taşımada iyi bir alternatiftir. Çatallı AGV aracına göre çok daha yüksek raflardan malzeme alıp bırakabilir.



Resim 2.3. Konveyörlü AGV

Konveyörlü AGV araçları malzemelerin konveyörden konveyöre taşınmasında kullanılır. Aracın üstünde çalışan bir rulolu konveyör mevcuttur.

Bu konveyöre değişken bir hız kontrol sistemi entegre edilerek yükleme veya boşaltma yapılacak konveyör ile aynı hızda çalışması sağlanabilir.



Resim 2.4. Kaldıraçlı AGV

Resim 2.4'te de görüldüğü gibi AGV araçlarına yükselip alçalabilen rampalar yerleştirilebilir. Bu tip kaldıraçlı AGV araçları yükün altına girerek rampasını yükseltir ve yükü almış olur daha sonra boşaltma istasyonuna yanaşarak rampasını alçaltır ve yükü bırakmış olur.



Resim 2.5. Konteyner Taşıyıcı AGV

Resim 2.5'te daha çok limanlarda kullanılan konteyner taşıyıcı AGV aracı görülmektedir. Diğer araçlardan farklı olarak dizel motor kullanan bu araçlar oldukça ağır yükleri taşımak üzere tasarlanmışlardır.



Resim 2.6. Çekici AGV

Resim 2.6'da görülen çekici AGV'ler arkasına takılan araçların istenilen yere götürülmesi amacıyla kullanılırlar.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Literatürdeki Mevcut Çalışmalar

AGV sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar basit olarak altı ana başlık altında incelenebilir. Bunlar, kılavuz yol tasarımı, gerekli araç sayısı tahmini, araç çizelgeleme, boş araç pozisyonlama, batarya yönetimi ve araç rotalama ve çakışmaların çözümü olarak sıralanabilir [Le-Anh ve De-Koster, 2004].

Tüm bu problemler karar verme aşamasının farklı seviyelerinde karşımıza çıkar. Kılavuz yol tasarımı stratejik seviyedeki bir problemdir. Bu seviyedeki karar diğer seviyeleri de büyük oranda etkiler. Taktik seviyedeki kararlar araç sayısı tahminini, araç çizelgelemeyi, boş araç pozisyonlamayı ve batarya şarj şeması yönetimini kapsar. Araç rotalama ve çakışmaların çözümü problemleri de operasyonel seviyede incelenebilir. Karar verme aşamasının farklı seviyelerindeki bu problemlerin çözümü birbirlerini de oldukça etkiler. Örneğin kılavuz yol tasarımı gerekli araç sayısını etkilerken araç çizelgeleme probleminin de zorluk seviyesini belirler. Bunun dışında çizelgeleme sisteminin de araç sayısına etkisi olur.

3.1.1. Kılavuz yol tasarımı ile ilgili çalışmalar

Kılavuz yol, yükleme noktaları, boşaltma noktaları, bu noktalar arasındaki yollar ve bu yolların yönlerinden meydana gelir. Kılavuz yol tasarımı ilk olarak çözümlenmesi gereken önemli bir problemdir. Kılavuz yol, üretim sisteminin ve stok bölgelerinin yerleşim planlarına ve hangi ürünlerin hangi noktadan hangi noktaya taşınacağı kararlarına büyük oranda bağımlı olarak tasarlanır. AGV sistemlerinin yerleştirileceği alanlardaki yeri değiştirilemeyen ekipmanlar da ve incelenen probleme kısıtlar ekler.

Kılavuz yol sistemleri üç grup altında toplanabilir; geleneksel, tek döngü ve tandem kılavuz yol sistemleri.

Geleneksel kılavuz yol sistemi, sistemdeki taşıma ihtiyacı olan tüm iş istasyonlarını birbirlerine bağlayan kılavuz yollardan oluşan bir ağ sistemidir. Bu ağ, bağlantılar, kesişmeler ve kestirme yollar içerebilir. Geleneksel kılavuz yol sistemleri tek yönlü veya çift yönlü olabilir. Tek döngü kılavuz yol sistemlerinde araçlar sadece tek bir döngü üzerinde hareket eder, yol sisteminde kestirme yollar ve alternatif rotalar yoktur. Tandem tipi kılavuz yollar ise araçların belli noktalarda birbirlerine malzeme transferi yaptıkları, bölümlendirilmiş yok sistemleridir.

Bu alandaki çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- [Egbelu ve Tanchoco, 1986] tek yönlü kılavuz yol tasarımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.
- [Gaskins ve Tanchoco, 1987],
- [Gaskins ve ark., 1989],
- [Kaspi ve Tanchoco, 1990],
- [Kim ve Tanchoco, 1993] tek yönlü geleneksel kılavuz yol sistemi tasarımı üzerinde çalışmışlardır.
- [Goetz ve Egbelu, 1990] çözüm zorluğunu azaltmak amacıyla sadece ana taşımaları dikkate alan bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Sinriech ve Tanchoco, 1991] geliştirdikleri dal sınır algoritmasında sadece kesişim noktalarını baz almışlardır.
- [Bozer ve Srinivasan, 1991] tandem tipi kılavuz yol tasarımını ilk defa ortaya atan çalışmayı yayınlamışlardır.
- [Johnson ve Brandeau, 1993],
- [Johnson ve Brandeau, 1994] ile,
- [Al-Sultan ve Bozer, 1998] yol konfigürasyonunu ve yükleme boşaltma noktalarını aynı anda belirleyen modeller geliştirmişlerdir.
- [Ross ve ark., 1996] tandem tipi ve geleneksel kılavuz yol sistemlerini farklı sistem konfigürasyonları ile karşılaştıran bir çalışma yapmıştır.

- [Türkbey ve Kalender, 2000] AGV sistemlerinde akış yolu düzenleme tasarımı ve bir algoritmik uygulama yapmışlardır.
- [Yu ve Egbelu, 2001] değişken rotalı bir tandem sistemi geliştirmişlerdir.
- [Türkbey ve Kalender, 2002] AGV sistemlerinin çok değişkenli modellenmesi ve malzeme akış yollarının ekonomik tasarımı konusunda bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Kaspi ve ark., 2002] araçların boş seyahat zamanlarını da inceleyen bir model geliştirmişlerdir.

Kılavuz yol tasarımı problemindeki önemli sorulardan biri hangi performans kriterinin en önemli olduğudur. Bu konudaki çalışmalar;

- [Gaskins ve Tanchoco, 1987] ve [Kaspi ve Tanchoco, 1990] kılavuz yol tasarımında en yaygın performans kriterinin verilen bir yerleşim planı için toplam araç seyahat mesafesinin minimizasyonu olduğunu öne sürmüşlerdir.
- [Kim ve Tanchoco, 1993] seyahat maliyetini ve her segment için ayrı bir maliyeti içeren bir çalışma yapmışlardır.
- [Beamon, 1998] birçok performans kriteri tanımlamıştır. Bunlar araç seyahat zamanı, araç kullanım oranı, kuyruk uzunluğu ve malzeme taşıma maliyetidir.
- [Chen ve arkadaşları, 1999] geliştirdikleri model için toplam seyahat zamanını ve seyahat içindeki arıza oranını performans kriteri olarak ele almışlardır.
- [Kaspi ve arkadaşları, 2002] araçların hem dolu hem de boş seyahat mesafelerinin amaç fonksiyonuna dahil eden bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Lim ve arkadaşları, 2002] araçların dolu ve boş seyahat zamanlarına ek olarak çeşitli nedenlerden dolayı bekledikleri süreleri de dahil eden bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Fenies ve ark., 2006] kılavuz yol seçimi hakkında bir ekonomik analiz modeli geliştirmişlerdir.

- [Farahani ve ark., 2007] tek döngülü AGV sistemleri için yükleme boşaltma istasyonları arasındaki döngü sırasının belirlenmesi için bir tabu search algoritması geliştirmişlerdir.
- [Asef-Vaziri ve Goetschalckx, 2008] çiftli yollar ve bölümlendirilmiş tekli yollara sahip tek yönlü kılavuz yolların tasarımı için bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Farahani ve ark., 2008] tabu search ve genetik algoritmalar ile tandem tipi AGV kılavuz yolu tasarımı üstüne bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Sedehi ve Farahani, 2009] Tek döngülü AGV sistemlerinde yerleşim planının, AGV akış güzergahlarının ve yükleme boşaltma istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi için entegre yaklaşım geliştirmişlerdir.

3.1.2. Gerekli araç sayısı tahmini ile ilgili çalışmalar

AGV sisteminde kullanılan araç sayısı, sistem performansı üstünde belirleyici bir rol oynar. AGV araçları genelde yüksek maliyetli olduğundan araç sayısının ve tiplerinin net olarak, doğru bir şekilde belirlenmesi önemli bir problemdir. Tandem tipi sistemler için araç sayısı yol sayısı ile eşittir fakat diğer sistemler için durum bu şekilde değildir. Araç sayısının belirlenmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- [Maxwell ve Muckstadt, 1982] minimum araç sayısının bulunması ile ilgili bir analitik model geliştirmişlerdir.
- [Newton, 1985] araç sayısını bulmak için bir simülasyon modeli geliştirmiştir.
- [Egbelu, 1987]'ya göre araç sayısının belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken üç faktör söz konusudur. Kılavuz yol yerleşim planı, yük transfer noktalarının yerleri, araç iş atama stratejileri. Egbelu çalışmasında bu faktörleri göz önünde bulundurarak gerekli araç sayısını tahmin eden dört analitik model geliştirmiştir. Geliştirilen bu analitik modeller bundan sonraki çalışmaların çoğunda bir çıkış noktası olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen yöntem de Egbelu'nun, 1987] geliştirdiği analitik modellerden biri ile karşılaştırılmıştır.

- [Tanchoco ve arkadaşları, 1987] toplam araç sayısını en küçükmeyi amaçlayan bir CAN_Q analizi yayınlamışlardır.
- [Lin, 1990] tüm sistemin talebini karşılayacak şekilde araç sayısını belirleyen Fortran temelli bir bilgisayar programı geliştirmiştir.
- [Mahadevan ve Narendran, 1990] araç sayısını belirlemek için bir analitik model ve sezgisel yaklaşım yayınlamışlardır.
- [Sinriech ve Tanchoco, 1992] toplam maliyeti minimize eden bir lineer model geliştirmişlerdir.
- [Johnson ve Brandeau, 1993] kuyruk modeli kullanan bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.
- [Mahadevan ve Narendran, 1993] bir esnek imalat sistemi için kullanılacak AGV sisteminde, araç sayısının tahmini için bir analitik model geliştirmişlerdir.
- [Mahadevan ve Narendran, 1994] önce analitik model ile araç sayısını tahmin eden daha sonra simülasyon ile test gerçekleştiren bir yöntem geliştirmişlerdir.
- [Ilic, 1994], bir esnek imalat sisteminde kullanılan AGV sisteminde ihtiyaç duyulan araç sayısını tahmin etmek için sayısal bir model geliştirmiştir.
- [Srinivasan ve ark., 1994] sadece tek bir aracın FIFO kuralına göre hareket ettiği bir sistem geliştirmişlerdir.
- [Kasilingam ve Gobal, 1996] AGV sayısının tahmininde bir simülasyon modeli kullanmışlardır.
- [Bilge ve Tanchoco, 1997] çok kapasiteli araçların tek kapasiteli araçlara göre ne kadar verimli olduklarını gösteren bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir.
- [Rajoita ve ark., 1998] önce lineer model ile araç sayısını tahmin eden daha sonra simülasyon ile test gerçekleştiren bir yöntem geliştirmişlerdir.

- [Van der Meer ve De Koster, 1999] çok kapasiteli araçların tüm sistem performansını nasıl yükselttiğini gösteren bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır.
- [Afirin ve Egbelu, 2000] araç sayısının tahmini için regresyon tekniği kullanan bir analitik model geliştirmişlerdir.
- [Vis ve ark., 2001] bir konteyner limanı içinde kullanılan bir AGV sistemi için gerekli araç sayısını tahmin etmek için bir algoritma geliştirmişlerdir.
- [Koo ve ark., 2004] önce lineer model ile araç sayısını tahmin eden daha sonra tabu search algoritması ile araç rotalamalarını yapan bir yöntem geliştirmişlerdir.
- [Koo, Jang ve Suh, 2004] araçların malzeme bekleme sürelerini bir kuyruk modeli ile hesaplayarak bu süreleri araç sayısını tahmin eden algorithmada kullanan bir teknik geliştirmişlerdir.
- [Kalender ve Türkbey, 2007] akış yol tasarımı ile ihtiyaç duyulan araçların sayısına ve tipine karar verilmesi problemine çözüm arayan bir bütünleşik karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önermişlerdir.
- [Raman ve ark., 2009] taşıyıcı araç sayısının belirlenmesi için bir kuyruk modeli kullanmışlardır.

3.1.3. Araç çizelgeleme ile ilgili çalışmalar

Araç çizelgeleme problemleri araçların görevleri ne zaman nerede ve nasıl üstleneceğini ve bu görevi hangi rotayı kullanarak gerçekleştireceğini belirleyen problemlerdir. Eğer tüm taşıma görevleri önceden biliniyor ise araç çizelgeleme problemleri offline olarak çözülebilir. Fakat gerçek hayatta bu durum her zaman böyle değildir ve online çizelgeleme yapılması gereken durumlar da söz konusu olabilir.

Bu konuda literatürde geçen bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir;

- [Dell'Amico ve ark., 1993] araç çizelgeleme için bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.
- [Bilge ve Ulusoy, 1995] makine çizelgeleri ile AGV çizelgelerini birlikte ele alan bir sezgisel yaklaşım öne sürmüşlerdir.
- [Savelsberg ve Sol, 1995] online çizelgeleme için geliştirilen birçok çözüm yöntemini derleyip karşılaştırmışlardır.
- [Savelsber ve Sol, 1998] zaman pencereli taşıma problemi için bir kümeleme modeli geliştirmişlerdir.
- [Sabuncuoğlu, 1998] iş atama konusunda simülasyon yaklaşımını kullanarak birçok kuyruk modeli geliştirmiştir.
- [Yang ve arkadaşları, 2004] dinamik araç çizelgeleme hakkında birçok prosedür öne sürmüşlerdir.
- [Baykoç ve Kesen, 2007] çalışmalarında tam zamanında üretimin uygulandığı ve parti tipi üretim yapılan bir sistemde yer alan AGV sistemi için bir dağıtım algoritması geliştirmişlerdir. Tasarlanan sistemin etkinliğini ve sistem tasarımındaki faktörlerin çıktılarına ne kadar etkisi olacağını hesaplamak için simülasyon modeli oluşturmuştur. Daha sonra bu model için bir tecrübe (experiment) planı oluşturmuş, sisteme etki edecek tüm faktörler için iki seviye belirlemiş ve bu tecrübe planı kapsamında tüm faktörlerin iki seviyesini de test ederek sistem çıktılarına ve birbirlerine olan etkilerini hesaplamıştır.
- [Ariffin ve ark., 2008] AGV çizelgeleme problemi için bir bulanık genetik algoritma geliştirmişlerdir.

3.1.4. Boş araç pozisyonlama ile ilgili çalışmalar

Bir AGV sisteminde araçların boş kalma durumları engellenemez. Araçları boş kaldıkları anlarda araç deposuna göndermektense belirlenecek park yerlerinde iş emri beklemek üzere park ettirmek veya belirlenen bir rotada sürekli döngü halinde bırakmak sistem etkinliği açısından daha verimli olacaktır. Park yerlerinin belirlenmesi ve bir sonraki olası talep noktasına

yakın bir park yerinin seçimi toplam sistem performansı bakımından üzerinde durulması gereken problemler arasında yer alır. Bu konuda yapılan çeşitli çalışmalar aşağıda sıralanmıştır;

- [Egbelu, 1993],
- [Kim, 1995],
- [Chang ve Egbelu, 1996], Dinamik araç pozisyonlama,
- [Kim ve Kim, 1997],
- [Hu ve Egbelu, 2000],
- [Gademan ve Van de Velde, 2000],
- [Lee ve Ventura, 2001] statik araç pozisyonlama konusu üstünde çeşitli çalışmalar yapmışlardır.
- [Hu ve Egbelu, 2000] AGV sistemindeki boş araçların pozisyonlanacağı yerlerin işletme içindeki uygun yerler arasından seçimi hakkında bir çalışma yapmışlardır.
- [Lee ve Ventura, 2001] araçların ortalama tepki süresini minimize edecek olan optimum park yeri seçimi hakkında bir çalışma yapmışlardır.
- [Kim ve Park, 2009] boş AGV'lerin sirkülasyonu hakkında bir çalışma yapmışlardır.

3.1.5. Pil yönetimi ile ilgili çalışmalar

Pil yönetimi AGV sistemlerinde çok önemli olmasına rağmen literatürde büyük oranda ihmal edilmiş ve üzerinde durulmamıştır. Normalde her aracın belli bir operasyon süresi sonunda şarj edilmesi gerekmektedir. Fakat otomatik malzeme taşıma sistemleri üzerine yapılan çoğu çalışmada pil probleminin sistemin genel performansına olan etkisinin çok az olduğu düşünülmektedir. Buna karşın gerçek hayatta pil değiştirme stratejisi uygulansa bile, araçlar pil değiştirmek için belli bir süre kullanılmaz durumda olacağından bu durumun sistem performansı açısından incelenmesi gerekmektedir. [McHaney, 1995] AGV şarj çizelgesi için üç farklı metot

geliştirmiş ve bu metotları test etmek için bir simülasyon modeli oluşturmuştur.

3.1.6. Araç rotalama ve çakışmaların önlenmesi ile ilgili çalışmalar

Operasyonel karar seviyesinde araç rotalama ve çakışmaların önlenmesi problemleri çözümlenmelidir. Dahili bir taşıma sisteminde araçların çakışma olmadan çizelgelenmesi ve rotalanması çok önemlidir. Bir çakışma tüm sistemin çökmesine yada bloke olmasına neden olabilir. Bu problemleri çözmenin birçok yolu mevcuttur.

Araç rotalama problemleri çizelgeleme problemleri ile yakından ilişkilidir ve genelde birlikte ele alınırlar. Tandem tipi kılavuz yola sahip sistemlerde rotalama problemi oldukça basitken geleneksel tip kılavuz yol ağına sahip sistemlerde bu problem biraz daha karmaşıktır. Araç rotalama hakkında literatürde karşımıza çıkan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir;

- [Egbelu ve Tanchoco, 1984],
- [Bartholdi III ve Platzman, 1989] dağıtılmış araç rotalama kontrol sistemi yayınlamışlardır.
- [Kim ve Tanchoco, 1991] Dijkstra'nın en kısa yol metodunu baz alarak düğümlerin zaman pencerelerini baz alan bir çizelgeleme metodu geliştirmişlerdir. Bu metot, çakışmanın olmadığı çizelgeler geliştirebilmesine karşın, yazarların da belirttiği gibi, çizelgedeki en ufak bir değişiklik sonucu tamamen kullanılmaz hale gelme tehlikesiyle karşı karşıyadır.
- [Sinriech ve Tanchoco, 1992] tek döngü sistemlerde boş araçların akışının sistemin performansına etkisini araştırmışlardır.
- [Taghaboni ve Tanchoco, 1995] aşamalı bir rota planlama ve çizelgeleme algoritması öne sürmüşlerdir.
- [Rajotia ve ark., 1998],
- [Qui ve Hsu, 2001]

- [Shen ve Kobza, 1998] bu konudaki diğer çalışmalardır.
- [Qui ve ark., 2002] bu konudaki diğer çalışmaların da bulunduğu bir derleme yayınlamışlardır.
- [Berman ve Edan, 2002] hiyerarşik, bulanık AGV kontrol metodolojisi.
- [De Koster ve ark., 2004] rota seçimi hakkında çeşitli algoritmalar.
- [Singh ve Tiwari, 2004] AGV araç rotalarını oluşturannesne tabanlı bir modelleme çalışması sunmuşlardır.
- [Briskorn ve ark., 2006] konteyner limanları için stok tabanlı bir rotalama sistemi geliştirmişlerdir.
- [Grunow ve ark., 2006] konteyner limanları için AGV rotalama stratejileri hakkında bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Lin ve ark, 2006] AGV rotalamaları için bir şebeke modeli geliştirmişlerdir.
- [Türkbey ve Kalender, 2007] AGV sistemi trafik kontrolü için matematiksel bir model sunmuşlardır.
- [Nishi ve ark., 2007], AGV araçları için beklenmeyen aksamaları da dikkate alan bir rotalama algoritması geliştirmişlerdir.
- [Morihiro ve ark., 2007], AGV rotalama problemi için bir başlangıç atama metodu geliştirmişlerdir.
- [Lin ve Gen, 2008], esnek imalat sistemlerinde AGV araçlarının rotalanması için bir genetik algoritma öne sürmüşlerdir.
- [Lau ve Woo, 2008], AGV sistemleri için dinamik rotalama stratejileri ile ilgili bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Gujjula ve Gunther, 2008], yüksek otomasyon seviyesine sahip konteyner limanlarında kullanılan AGV araçlarının rotalaması üstüne bir çalışma yayınlamışlardır.
- [Nishi ve ark., 2009], araç rotalama için langraj tekniği kullanmışlardır.
- [Guan ve Dai, 2009], tıkanmaları engelleyecek şekilde rotalama yapan bir teknik geliştirmişlerdir.
- [Kim ve ark., 2009], görev almayan araçların diğerlerini aksatmamasını sağlayacak bir rotalama tekniği geliştirmişlerdir.

Literatürde çakışmaların önlenmesi probleminin çözümü üstüne yayınlanmış çalışmalardan bazıları da aşağıdaki gibidir;

- [Egbelu ve Tanchoco, 1986] araçların kesişim noktalarında çarpışmadan rotalanabileceği bir algoritma geliştirmişlerdir.
- [Egbelu ve Tanchoco, 1984],
- [Mahadevan ve Narendan, 1994] ve
- [Kim ve arkadaşları, 1999] iş yükü dengeleme amaçlı iş atama kuralları geliştirmişlerdir.
- [Zeng ve ark., 1991] AGV'lerin diğer AGV'leri görebileceği bir sensör sistemi ile çarpışmaları önleyen bir sistem geliştirmişlerdir.
- [Evers ve Koppers, 1996] kesişme noktalarındaki trafiğin bir trafik lambası tarafından yönetiliyormuş gibi kabul edildiği "Semaphore" konseptini geliştirmişlerdir.
- [Ho, 2000] araç çarpışmasını engelleyen dinamik-alan stratejisini geliştirmiştir.
- [Reveliotis, 2000] araç rotalarını aşamalı olarak belirleyen bir alan kontrol stratejisi öne sürmüştür.
- [Ghasemzadeh ve ark., 2009], araç çakışmalarını engelleyen bir rotalama algoritması sunmuşlardır.
- [Ho ve Liao, 2009], alan kontrolü ile rotalama yaparak araç çakışmalarını engelleyecek bir teknik geliştirmişlerdir.

[Vis ve ark., 2006] ile [Le-Ahn ve De Koster, 2006] AGV sistemleri ile ilgili literatür araştırmaları yayınlamışlardır.

3.2. Çalışmanın Literatüre Katkısı

AGV sistemlerinin performansı, birçok stokastik etmene bağlı olduğundan hemen hemen tüm matematiksel modellerde araç verimliliği faktörü olarak tecrübeye dayalı bir katsayı kullanılmaktadır. Tecrübeye dayalı verimlilik katsayıları kullanmak yerine simülasyon modelleri kullanılarak gerçeğe daha yakın sonuçlar alınabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, özellikle araç sayısının tahmini ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda simülasyon tekniği kullanıldığı görülmüştür. Fakat simülasyon modelleri kullanılarak deneme yanılma yöntemi ile sonuca ulaşmak çoğu durumda çok fazla deneme gerektirmekte ve problemin çözümünü imkansız hale gelmektedir. Bundan dolayı simülasyon modeli ile birlikte çalışan hibrit teknikler de geliştirilmiştir [Mahadevan ve Narendran, 1994], [Rajoita ve ark., 1998].

Bu çalışmada önerilen hibrit teknik, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, simülasyon modelinden alınan çıktılarına göre yeni girdiler üreten bir sezgisel algoritma kullanmaktadır.

Ayrıca, literatürde AGV sistemlerinin istasyonlarında tutulan stokların (süreç için stoklar) minimizasyonu üzerine bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada önerilen teknik, süreç içi stokların minimizasyonunu da sağlayarak literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

4. SİMÜLASYON VE FLEXSİM YAZILIMI

4.1. Simülasyon

Simülasyon, teknolojik gelişmelerin baş döndürücü bir hızla devam ettiği günümüzde önemi gittikçe artan bir konudur. Simülasyon, gerçek bir sistemi temsil eden bir modelin oluşturulması işlemidir. Gerçek sistemde yapılması imkansız yada çok pahalı olan denemeler, oluşturulan modeller üstünde yapılarak hem zamandan hem de maliyetten kazanç sağlanır. Günümüzde çeşitli bilgisayar programları kullanılarak simülasyon modelleri oluşturulmaktadır.

Simülasyon çalışması problem çözmede son derece etkilidir. Dolayısıyla, simülasyon, farklı amaçları gerçekleştirmek için değişik alanlarda uygulanabilen ve günümüzde üretim sektöründe de yaygınlaşan bir yöntem olmuştur. Pek çok konuda olduğu gibi simülasyon kullanmanın da birçok avantajı yanında bazı dezavantajları mevcuttur. Bu avantaj ve dezavantajlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Simülasyon için geliştirilmiş başlıca diller şunlardır: GPSS, SIMCRIPPT, GASP, SIMAN, SIMULA, CSL, Q-gert. Bu dillerin zamanla gelişmiş versiyonları çıkarılmıştır. FORTRAN, PASCAL, C, C++ gibi genel amaçlı programlama dilleri kullanılarak da simülasyon modelleri oluşturulmaktadır. Ayrıca, genel amaçlı programlama dillerinin de simülasyon amaçlı geliştirilmiş versiyonları da bulunmaktadır.

Bunların yanında imalat sistemlerinin modellenmesinde kullanılan ProModel, Flexsim, Taylor II, Arena, SIMFACTORY, AutoMOD, Awesim, Simul8, WITNESS gibi paket programlar vardır. Bu yazılımlar özellikle imalat sistemlerinin modellenmesi için geliştirildikleri için modelleme aşamasında kullanıcılara büyük kolaylık sağlayarak modelleme sürecini oldukça hızlandırır.

Endüstri Mühendisliği problemlerinde, sosyal, askeri, ekonomik, temel bilim konuları ve özellikle üretim sistemlerinin test edilmesinde simülasyon artık çok kullanılan bir teknik olmuştur.

4.1.1. Simülasyonun tanımı

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile, geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır. (Halaç,1982) Bir başka tanıma göre simülasyon, gerçek bir prosesin veya sistemin zamana bağlı olarak modelini tanımlayan matematiksel bir modeldir. Simülasyon ister elle, isterse bilgisayar ile yapılsın, bir sistemin yapay kayıtlarının oluşturulması ve gerçek sistemin işletim karakteristikleriyle ilgili sonuçlarının elde edilmesinde bu yapay kaydın incelenmesini kapsamaktadır. (Banks ve Carson, 1986)

Simülasyon, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simülasyon, gerçek hayattaki olayların bilgisayar ortamına aktarılması, sistemlerin sanal ortamda derinlemesine analiz edilip her türlü teste tabi tutulması işlemidir. Simülasyon tekniği yaparak, yaşayarak öğrenmeyi sağlar.

Eğitimsel simülasyon, bir olay veya aktivitenin etkileşim sonucu öğrenilmesini sağlayan modellemedir.

Simülasyon; önerilen veya gerçek bir sistemin modellenmesi ve zaman içindeki davranışın gözlenmesi işlemidir. Bir simülasyon çalışması, herhangi bir sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile yapılır. Simülasyon çalışmalarında uygulanan iki adım; model tasarımı ve deneylerdir. Model

tasarımı sistemin tüm önemli durumlarını temsil eden bir modelin kurulmasıdır. Geçerli bir model kurulduktan sonra deneyler kısmı baslar. Simülasyon genellikle mevcut olmayan veya pahalı ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin denenmesine imkan sağlar.

4.1.2. Simülasyonun genel özellikleri

Stok kontrol ve kaynak sistemleri modellemesi gibi simülasyon tekniği bakımından kesikli olay simülasyonu kapsamında incelenen modelleme çalışmalarının bilgisayarda programlanmasında dikkati çeken temel özellikler Law ve Kelton (1990) tarafından belirtilmiştir;

- 0 ile 1 arasında uniform $U(0,1)$ dağılışımdan şans sayısı türetimi,
- Bilinen bir olasılık dağılışımdan şans değerlerinin türetimi,
- Simülasyon saatinin çalıştırılması,
- Uygun simülasyon bloklarına geçişte kontrol sisteminin kurulması,
- Simülasyon listesine kayıt ekleme, kayıt çıkarma olanakları,
- Uygun veri analiz yöntemlerinin kullanımı,
- Sonuçların yazdırılması,
- Hataların izlenmesi,

Bunlar ve kısmen ileride belirtilecek özellikler simülasyonda özel amaçlı simülasyon dillerinin kullanımını zorlamaktadır. Bu diller daha sonra simülasyon tekniklerinin kullanım alanının genişlemesine yol açmıştır. Ancak buna rağmen özel amaçlı simülasyon dilleri ile genel amaçlı programlama dillerinin arasında simülasyon senaryolarının bilgisayarda programlanması açısından uzun zamandan beri avantaj ve dezavantaj tartışmaları süregelmektedir.

4.1.3. Simülasyonun kullanım amaçları

Özel amaçlı simülasyon dilleri, düşük operasyon maliyetleri için yüksek hesaplama kabiliyetleri ve simülasyon metodolojisindeki gelişmeler, simülasyonu yöneylem araştırmasında ve sistem analizinde en çok kullanılan ve kabul edilen bir metot yapmıştır. Simülasyonun hangi şartlar altında kullanılması gerektiği birçok yazar tarafından incelenmiştir. Bunları genel olarak sınıflandırırsak, simülasyon aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir (Banks ve Carson, 1986):

1. Simülasyon, karmaşık bir sistemin iç yapısını veya karmaşık bir sistemdeki alt sistemi incelemek için kullanılabilir,
2. Bilgi, organizasyon el ve çevresel değişiklikler simüle edilebilir ve modelin davranışı üzerinde bu değişikliklerin etkileri incelenebilir,
3. Bir simülasyon modelinin tasarımından elde edilen bilgiler, incelenen sistemin geliştirilmesine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır,
4. Simülasyon girdilerini değiştirerek ve sonuçları inceleyerek, hangi değişkenlerin daha önemli olduğu ve değişkenlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri hakkında bilgi edinilir,
5. Simülasyon, analitik çözüm metodolojisini destekleyen bir bilgi verici araç olarak kullanılabilir,
6. Simülasyon, uygulamadan önce yeni tasarımlar ve politikalar deneyerek durumun ne olacağını görmek için kullanılabilir,
7. Simülasyon, analitik sonuçları test etmek için kullanılabilir.

4.1.4. Simülasyonun avantajları ve dezavantajları

Simülasyon çalışması problem çözmede son derece güçlü bir yardımcı olup, yaygın kullanımının çeşitli nedenleri vardır. Bunlar şu başlıklar altında derlenebilir:

1. Karmaşık yapıdaki gerçek sistemleri analitik olarak inceleyerek matematiksel modellerin kurulmasındaki güçlükler.
2. Simülasyon; yeni politikalar, parametreler veya çalışma koşullarının denemesine imkan sağlayarak sistem performansının bu yeni koşullar için tahmini sağlar.
3. Alternatif dizaynların birbiri ile karşılaştırılmasını mümkün kılar.
4. Gerçek sistemin rahatsız edilmeden, bozulmadan, tehlikeye atılmadan denenmesi sağlanır.
5. İncelenen sistemin farklı zaman akışlarında ele alınması mümkündür.

Örneğin, sıkıştırılmış bir zamanda çalışma hızlandırılarak sistem hakkında genel bilgi elde edilebileceği gibi, geniş bir zaman aralığında sistem hakkında ayrıntılı bilgi edinme mümkün olabilir.

Bu avantajlara rağmen, simülasyon çalışmalarının bazı dezavantajlarının da belirlenmesi gerekir.

1. Simülasyon modelleri pahalı ve geliştirilmesi zor modellerdir.
2. Simülasyon modellerinin stokastik yapısı, gerçek sistemle ilgili ancak tahminlerde bulunmayı sağlar
3. Simülasyon modelleri probleme en iyi çözümü bulmak yerine alternatif çözümleri karşılaştırır.
4. Simülasyon sonuçlarının incelenen sistemi doğru yansıtması için modelin geçerliliği çok önemlidir.
5. Simülasyonda bilgisayara olan bağımlılık, çalışmanın uzun sürmesine ve pahalı olmasına neden olur.

4.1.5. Simülasyonun uygulama alanları

Simülasyon, çok çeşitli alanlarda uygulama alanına sahiptir. Bu tekniğin geniş uygulama alanlarını belirtmek için aşağıdaki örnekler verilebilir:

1. İşletme politikaları ve uygulamalarındaki (bakım kapasitesi, tesislerin, yedek uçakların vb.) değişiklikleri test etmek için bir havayolu şirketi tarafından büyük bir havaalanındaki operasyonların simülasyonu,
2. En iyi trafik akışını belirlemek için, trafik ışıklarının simülasyonu,
3. Optimal tamir personeli sayısını belirlemek için bakım operasyonu simülasyonu,
4. Bir radyasyon kalkanına yansıyan radyasyonun yoğunluğunu belirlemek için, bakım operasyonu simülasyonu,
5. Bir radyasyon kalkanına yansıyan "radyasyonun yoğunluğunu belirlemek için, kalkandaki yüksüz parçacıkların akış simülasyonu,
6. Uygulama, kapasite ve tesislerin şekillerindeki değişiklikleri değerlendirmek için, çelik üretim operasyonunun simülasyonu,
7. Ekonomik politika kararlarının etkilerini tahmin etmek için ekonomi simülasyonu
8. Savunma ve saldırı silah sistemlerini değerlendirmek için büyük çaplı askeri savaşların simülasyonu,
9. Büyük çaplı dağıtım ve envanter kontrol sistemlerinin tasarımını geliştirmek için bu sistemlerin simülasyonu,
10. Firmanın politikaları ve operasyonlarındaki değişiklikleri değerlendirmek için tüm firmanın genel operasyonlarının simülasyonu,
11. En ekonomik düzeyde, tatmin edici servis sağlamak için, gerekli parça kapasitesini belirlemek maksadıyla bir telefon iletişim sisteminin simülasyonu,
12. En ideal baraj, elektrik santrali ve sulama işlerinin şeklini belirlemek için, ırmak havza operasyonlarının simülasyonu.

4.2. Simülasyon Modeli Türleri

Modeller, matematiksel veya fiziksel modeller olarak sınıflandırılabilir. Bir matematiksel model, sistemi temsil etmek için sembolik notasyon ve matematiksel denklemleri kullanır. Simülasyon modeli, belirli tipte bir matematiksel sistem modelidir.

Simülasyon modelleri, statik veya dinamik, deterministik veya stokastik ve kesikli veya sürekli olarak sınıflandırılabilirler. Monte Carlo Simülasyonu olarak bilinen statik simülasyon modeli, zamanın belirli bir anındaki sistemi temsil etmektedir. Dinamik simülasyon modelleri ise, zamana göre değişen sistemleri temsil etmektedir. Saat 8.00 ile 17.00 arasında çalışan bir bankanın simülasyonu, dinamik simülasyona bir örnek olarak verilebilir.

Rassal değişken içermeyen modeller ise deterministik modeller olarak sınıflandırılırlar. Deterministik modeller, tek bir çıktı kümesi veren girdi kümesine sahiptir. Deterministik modellere örnek olarak, tüm hastaların randevu saatlerine göre geldikleri bir dişçi muayenehanesini gösterebiliriz. Stokastik simülasyon modeli ise, girdi olarak bir veya daha fazla rassal değişkeni göz önüne almaktadır. Rassal girdiler, rassal çıktılar oluştururlar. Gerçek hayattaki girdiler genellikle rassal olduğu için, bu tip modeller sistemlerin gerçek karakteristiklerini daha iyi tahmin etme olarak göz önüne alınabilir. Bir bankanın simülasyonu, genellikle rassal gelişler arası süreleri ve rassal servis sürelerini kapsamaktadır. Bu nedenle, stokastik bir simülasyonda, çıktı ölçütleri (bekleyen ortalama müşteri sayısı, bir müşterinin ortalama bekleme zamanı) sistemin gerçek karakteristiklerinin istatistiksel tahminleri olarak ele alınırlar.

Kesikli ve sürekli modeller, analog bir şekilde tanımlanmıştır. Ancak, kesikli bir simülasyon modeli kesikli bir sistemi modellemek için; sürekli bir simülasyon modeli de sürekli bir sistemi modellemek için her zaman kullanılmaz. Ayrıca simülasyon modelleri, kesikli ve sürekli şekilde karma modeller olabilirler. Kesikli veya sürekli (veya hem kesikli hem sürekli) simülasyon modelini kullanma seçimi, sistem karakteristiklerinin ve çalışma amacının bir fonksiyonudur. Bu nedenle, her mesajın karakteristiğinin ve hareketinin çok önemli olduğu bir iletişim kanalı kesikli olarak modellenebilir. Aynı şekilde, kanaldaki mesajların akışı önemli olduğunda, sürekli simülasyon kullanarak sistem modelleme daha uygun olmaktadır. Burada ele

alınan modeller kesikli, dinamik ve stokastik yapıdadır. [Banks ve Carson, 1984].

4.3. Sistem Simülasyonu

Bir sistemin simülasyon modelini oluşturmaya başlamadan önce, sistemi iyi analiz etmek ve sistemin sınırlarını net olarak belirlemek gerekir. Sistemin nerede başladığı ve nerede tam olarak bittiği net olarak belirlenmemiş bir simülasyon projesinde gereksiz parçaların modellenmesi, çalışmanın gereksiz yere uzaması ve modelin gittikçe büyüyerek hantallaşması söz konusu olabilir. Bu durum projenin süresini ve bütçesini aşarak başarısız olarak sonuçlanmasına yol açabilir.

Sistem, bazen kendi dışında oluşan değişikliklerden de etkilenebilir. Bu etmenlerin hangilerinin modellenerek sisteme dahil edileceği, hangilerinin ise bir varsayım olarak tanımlanacağı önemli kararlardandır. Sistemi etkileyen tüm faktörleri modellemek projeyi zorlaştırır. Bunun yerine bazı faktörleri bir varsayım olarak tanımlayarak sisteme etkisini modelleme yapmadan yansıtmak faydalı olmaktadır.

4.3.1. Sistemin bileşenleri

Bir sistemi anlamak ve analiz etmek için, çok sayıda terim tanımlanmıştır. Bu terimleri eleman, özellik, faaliyet, durum, olay, sistem içi, sistem dışı olarak sınıflandırabiliriz. Eleman, sistemdeki ilgili unsurdur. Özellik, bir elemanın niteliğidir. Faaliyet, belirli uzunluktaki bir zaman periyodunu temsil eder. Bir banka örneği göz önüne alındığında, müşteriler elemanlardan biri, hesap bakiyeleri bir özellik ve para yatırma bir faaliyet olabilir.

Bir çalışmadaki sistemi oluşturan elemanların kümesi, başka bir çalışmadaki tüm sistemin bir alt kümesi olabilir. Örnek olarak, para çekme ve yatırma için gerekli veznedar sayısının belirlenmesinde yukarıdaki banka incelendiğinde

sistem, veznedarlar ve hatta bekleyen müşterilerin bulunduğu kısım olarak tanımlanabilir. Eğer çalışma özel veznedar (seyahat çeki veren veznedar, ticari çek veren veznedar gibi) sayısını belirlemek üzere genişletilirse, sistemin tanımı genişletilebilir.

Sistem durumu, çalışmanın amacına bağlı olarak, herhangi bir anda sistemi tanımlamak için gerekli değişkenler kümesi şeklinde tanımlanabilir. Banka örneğindeki durum değişkenleri, meşgul veznedarların sayısı, hatta bekleyen veya servis gören müşterilerin sayısı ve bir sonraki müşterinin geliş zamanıdır. Olay ise, sistemin durumunu değiştirebilen ani oluşumdur. Sistem içi terimi, bir sistem içinde ortaya çıkan faaliyetleri ve olayları tanımlamak için; sistem dışı terimi ise, sistemi etkileyen çevredeki olayları ve faaliyetleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Banka Örneğinde, müşterinin geliş bir sistem dışı olay ve müşteri servisinin tamamlanması da bir sistem içi olaydır.

4.3.2. Sürekli ve süreksiz (kesikli) sistem

Sistemler, kesikli veya sürekli olarak sınıflandırılabilir. Kesikli sistem, durum değişkenlerinin zamana göre sadece kesikli noktalarda değiştiği bir sistemdir. Banka, kesikli sisteme bir örnek olarak gösterilebilir, çünkü durum değişkeni, örneğin bankadaki müşteri sayısı, bir müşteri geldiğinde veya müşteriye verilen servis tamamlandığında değişmektedir.

Sürekli sistem ise, durum değişkenlerinin zamana göre sürekli olarak değiştiği bir sistemdir. Sürekli sisteme örnek olarak, bir barajdaki su yüksekliği gösterilebilir. Yoğun yağmur yağışından sonra sular, barajın gölüne toplanmaktadır. Aynı zamanda elektrik üretmek için barajdaki su salınmakta bir yandan da buharlaşma su düzeyini azaltmaktadır. Böylece, durum değişkeni olan barajdaki su yüksekliği, bu etkiler altında sürekli bir değişim göstermektedir.

4.3.3. Karmaşık sistemler ve modelleme

Karmaşık sistemler, artan bir şekilde birçok alan da kullanılmaktadır. Bu alanlar arasında yazılım sistemleri, üretim sistemleri, bilgisayar sistemleri, ulaştırma sistemleri, ekolojik sistemler vb. sayılabilir. Bu sistemlerin karmaşıklığı, onların boyutlarının (sistem içindeki elemanların adedi) ve operasyonlarının (sistemin elemanları arasındaki etkileşimlerin tipi ve sayısı) birleştirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Karmaşık sistemlerde ele alınan ana problemler, bunların boyutları, operasyonların anlaşılabilirliği, sistemin verimliliğinin artırılması ve sistemin performansının hesaplanması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistemin elemanları arasındaki ilişkileri anlamak veya yeni bir politika altında sistemin nasıl davranacağını tahmin etmek için bir sistemi incelemek gereklidir. Bir sistemi incelemek için, sistemin kendisi ile deney yapmak da bir çözüm yolu olabilir. Ancak, bu durum her zaman mümkün değildir. Yeni bir sistem oluşmadan önce sistem, teorik formda veya tasarım safhası şeklindedir. Mevcut sistem ile deney yapmak çoğu zaman da pratik bir yöntem değildir. Örnek olarak, enflasyon altında çalışanların etkilerini belirlemek için işsiz kişilerin oranını iki katına çıkarmak mümkün değildir. Banka örneğinde, bekleme hattı uzunluğuna etkisini incelemek için veznedar sayısını azaltmak, müşterileri memnun etmez ve bu nedenle müşteriler, hesaplarını rakip bankaya yatırabilirler. Sonuç olarak, sistemlerin incelenmesi sistemin bir modeli ile yapılmaktadır.

Pratikte bir model, modellenecek olan gerçek bir sistemin gözlemleri baz alınarak oluşturulur. Eğer bir sistem mevcutsa, bir bilgi modeli gözlem safhası esnasında elde edilmiş olan bilgilerin tümünü içermektedir. Eğer bir sistem mevcut değilse, o zaman bir bilgi modeli, topoloji ve tasarımcıların işlem spesifikasyonlarını kapsar. Faaliyet modeli ise, bilgi modelinin bir matematiksel formülasyona veya bir programlama diline dönüştürülmesidir.

Model, sistemi incelemek üzere sistemin bir örneği olarak tanımlanır. Birçok çalışma için, sistemin tüm detaylarını göz önüne almak gereksizdir. Bu nedenle model, sistemin sanal ortamda hazırlanan bire bir kopyası değil, daha basit bir şeklidir. Diğer yandan model, incelenen problem hakkında yapılan testlerle ilgili olarak gerçek sistemin vereceği sonuçların aynısını verecek detayı da içermelidir. Değişik araştırmalar için, aynı sistemin farklı modelleri de kurulabilir.

4.4. Simülasyon ile Sonuca Ulaşmak

Simülasyonun bir sonuç üretme aracı olmadığı, üretilen sonuçları test etme aracı olduğu unutulmamalıdır. Yalnız, kurulan modeller karar değişkenlerinin farklı değerleri için çalıştırılıp değerler kaydedilerek deneme yanılma yöntemi ile en iyi karar değişken değerlerinin tespiti için kullanılabilir. İncelenen problemin tipine göre tüm mümkün karar değişkeni değerleri test edilebiliyor ise tüm kombinasyonların test edilmesi ve istenen performans kriterlerinin en iyi değerlerini veren karar değişkeni kombinasyonunun tespiti bir optimizasyon çalışması olarak görülebilir. Fakat çoğu problemde birçok karar değişkeninin bulunması ve bu değişkenlerin büyük bir aralıkta değer alabiliyor durumda olması ortaya çok büyük sayıda kombinasyonun çıkmasına neden olmakta ve sözü edilen şekilde deneme yanılma yolu ile optimizasyon yapılmasını imkansız hale getirmektedir. Bu durumda, simülasyon modelinden alınan çıktılarına göre yeni girdi değerleri üreterek her defasında çözüme yaklaştıran ve dene sayısını kaydadeğer bir şekilde azaltan bir sezgisel algoritma kullanmak iyi bir yöntem olacaktır.

4.5. Flexsim Simülasyon Yazılımı

Flexsim, özellikle üretim sistemlerinin simülasyon modellerinin oluşturulmasında kullanılan, kesikli olay modellemesi yapabilen, simülasyon yazılımıdır.

Eski nesil benzetim dillerinin hantallığından uzak bir yazılım olan Flexsim, yerleşik sistem fonksiyonları, önceden tanımlı hazır yapıları, kullanıcı dostu arayüzü ve kolay modelleme yaklaşımı ile kullanıcının, sistemdeki problemleri kolaylıkla bulmasını ve alternatif çözümleri deneyebilmesini sağlar. Sistemdeki bir takım hedeflere göre (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kaynakların boş kalma sürelerinin minimuma indirilmesi gibi), sistem içindeki operatör sayıları, makine kapasiteleri, katile büyüklükleri vs. gibi bir takım parametrelerin optimum değerlerinin bulunmasını kolaylaştıran bir optimizasyon modülü de içeren Flexsim'in bu özelliği Flexsim'i gerçek anlamda "optimizasyon yapabilen bir benzetim yazılımı" haline getirmektedir.

Flexsim'i diğer simülasyon yazılımlarından ayıran en temel özelliği modellemenin tamamen 3 boyutlu bir ortamda gerçekleştiriliyor olmasıdır. Bu özelliği Flexsim'i AS/RS sistemleri gibi hem yatay hem dikey hareketlerin sistem performansına direkt etki ettiği sistemlerin modellenmesinde öne geçirmektedir. Ayrıca 3 boyutlu olma özelliği tasarlanan sistemlerin son derece gerçekçi görselleştirilmesine olanak sağlamakta, önerilen çözümlerin karar vericilere net bir şekilde aktarılmasına yardımcı olmaktadır.

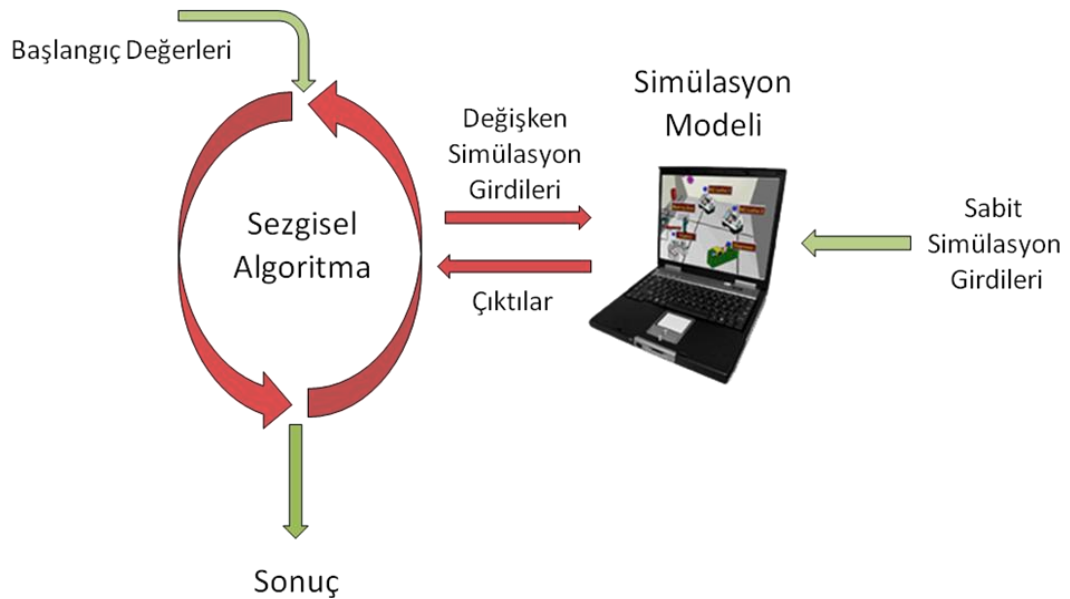
Flexsim'in diğer bir belirgin özelliği ise C++ programlama dili ile entegre çalışması, bu sayede C++ ile programlanabilen tüm algoritmaların yani hemen hemen tüm algoritmaların simülasyon modelinde kullanılabilmesine olanak sağlamasıdır. Diğer simülasyon programlarında modele yansıtılamayan çoğu mantığın Flexsim'de modele yansıtılması bir şekilde mümkün olmaktadır.

Tüm bu avantajlarının yanında öğrenilmesinin ve kullanımının oldukça zor olması Flexsim'in en büyük dezavantajıdır. Küçük ve basit modellerin kurulumu kolay iken, model biraz detaylanmaya başlayınca, modele, incelenen sisteme özgü bir mantığı aktarmak gerektiğinde modelleme gittikçe zorlaşmaktadır.

5. AGV SİSTEMLERİNDE ARAÇ SAYISININ BELİRLENMESİ VE ARA STOKLARIN MİNİMİZASYONU İÇİN GELİŞTİRİLEN HİBRİT TEKNİK

Çalışmanın önceki bölümlerinde de belirtildiği gibi simülasyon modelleri ile sonuca ulaşmak için problemin karar değişkenlerinin tüm kombinasyonları test edilerek en iyi performansı veren değişken kombinasyonu en iyi sonuç olarak belirlenir. Fakat karar değişkenlerinin alabildiği değer aralığı genişledikçe ve değişken sayısı arttıkça kombinasyon sayısı üstel olarak artmakta ve bu teknik uygulanamaz hale gelmektedir. Modern simülasyon yazılımları deneme sayısını azaltmak için çeşitli teknikler uygulatır. Fakat bu teknikler incelenen sisteme özel olarak geliştirilmemiş, tüm sistemlere uygulanan genel teknikler olduğu için yeterince etkin değildirler.

Bu çalışmada geliştirilen hibrit teknik, problemin amacına özel olarak geliştirilmiş olan bir sezgisel algoritma ve incelenen sistemin simülasyon modelini kullanarak sonuca ulaşmayı amaçlamaktadır. Hibrit tekniği temsil eden bir şema Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Sezgisel algoritma ve simülasyon modelinden oluşan hibrit yapı

Yukarıda tarif edilen yaklaşım, bu çalışmada AGV sistemlerinde gerekli minimum araç sayısının belirlenmesi ve ara stokların minimizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Geliştirilen sezgisel algoritma, özellikle araç sayısını belirlemek ve ara stokları minimize etmek amacıyla geliştirildiğinden simülasyon modelini oldukça etkili bir şekilde yönlendirmekte ve az sayıda deneme ile uygun bir sonuç ortaya çıkarmaktadır.

AGV sistemlerinin tasarımında kullanılan genel karar değişkenleri, kılavuz yol tasarımı, yükleme, boşaltma noktalarının pozisyonları, yükleme, boşaltma süreleri, malzeme taşıma frekansları, araç sayısı ve istasyonların yeniden sipariş noktalarıdır. Genel performans kriterleri ise sistemin görevini yerine getirip getiremediğini gösteren, iş istasyonlarının doluluk oranı, AGV araçlarının kullanım yüzdeleri, bir malzemenin sistemde geçirdiği ortalama süre ve süreç içi ortalama stok miktarı olarak sıralanabilir. Bu çalışmada üzerinde durulan problemin karar değişkenleri AGV sisteminde kullanılacak araç sayısı ve her bir istasyon için yeniden sipariş noktaları, performans kriterleri ise istasyonların doluluk oranları ve süreç içi ortalama stok miktarıdır.

Problemin çözümü için geliştirilen sezgisel algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1- BAŞLA

Adım 2- Simülasyon modeli girdilerine başlangıç değerlerini ata.

(Araç Sayısı=1, Yeniden Sipariş Noktaları=100)

Adım 3- Simülasyon modelini çalıştır.

Adım 4- Simülasyon modelinin çıktılarına göre istasyonların tamamının doluluk oranının %100 olup olmadığını kontrol et. Tüm doluluk oranları %100 ise Adım 6'ya, değilse Adım 5'e git.

Adım 5- Araç sayısını 1 arttır, adım 3'e git.

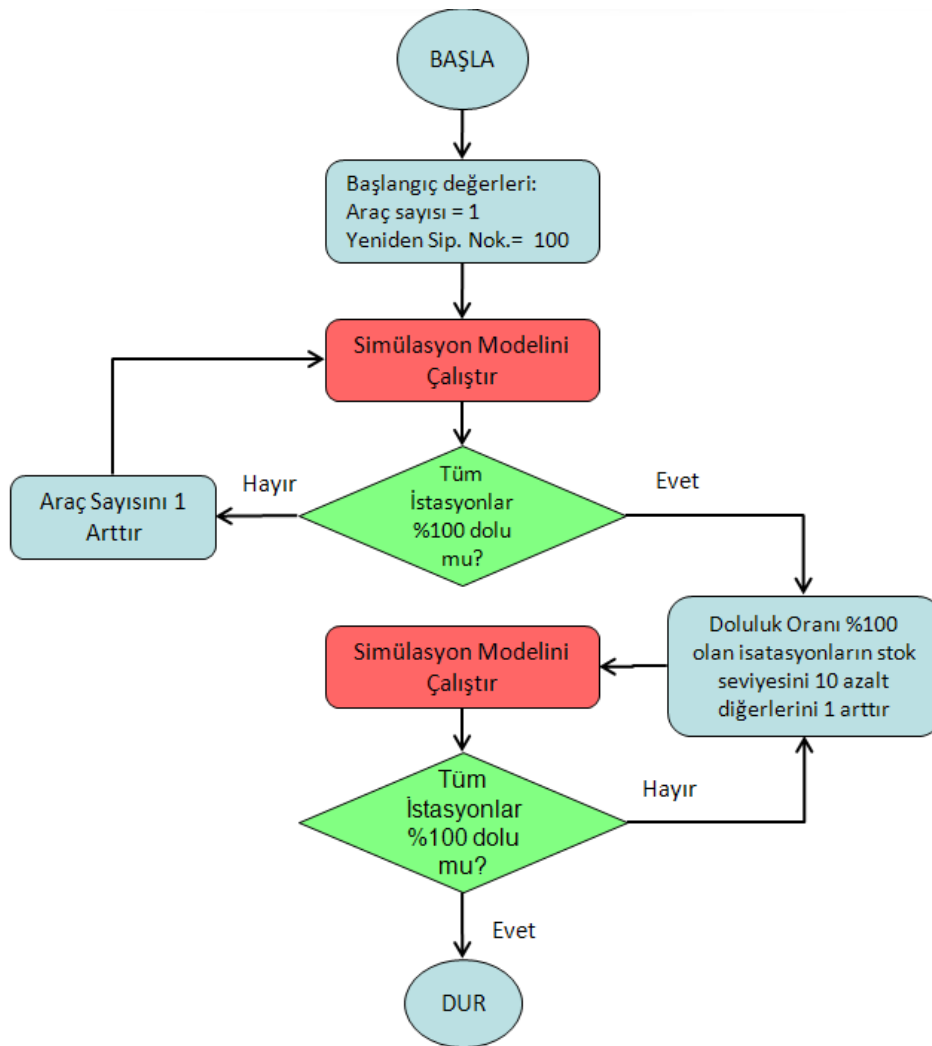
Adım 6- Doluluk oranı %100 olan istasyonların yeniden sipariş noktasını 10 birim azalt diğerlerini 1 birim arttır.

Adım 7- Simülasyon modelini çalıştır.

Adım 8- Simülasyon modelinin çıktılarına göre istasyonların tamamının doluluk oranının %100 olup olmadığını kontrol et. Tüm doluluk oranları %100 ise Adım 9'a, değilse Adım 6'ya git.

Adım 9- DUR

Sezgisel algoritmanın akış diyagramı Şekil 5.2'de verilmiştir.

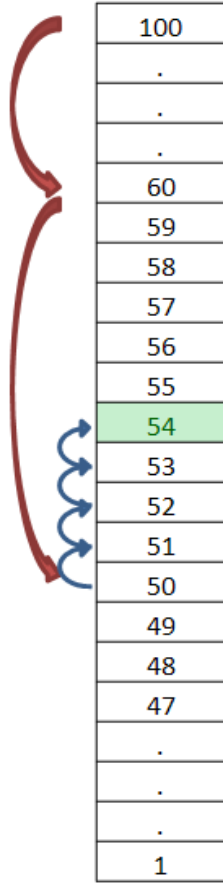


Şekil 5.2. Sezgisel algoritmanın akış diyagramı

Sezgisel algoritma öncelikle gereken minimum araç sayısını araştırır, daha sonra belirlenen sayıda aracın kullanıldığı durum için ara stokların minimizasyonunu gerçekleştirir.

Gereken minimum araç sayısının tespit edilebilmesi için 1 araçtan başlayıp her dafasında araç sayısı artırılarak denemeler yapılır. Sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığını gösteren istasyon doluluk oranlarının tümünün %100'e ulaştığı denemede kullanılan araç sayısı bu sistem için gereken minimum araç sayısıdır. İstasyon doluluk oranlarının %100 olmadığı durumlarda AGV sistemi montaj hattı istasyonlarına malzeme besleyemiyor ve montaj hattı malzeme gelmediği için duruyor demektir. Bu aşamadaki denemeler yapılırken, istasyonların yeniden sipariş noktalarının düşük olmasından kaynaklanan aksamaların yaşanmaması adına, istasyonlar için kullanılan yeniden sipariş verme seviyeleri için önceden belirlenen bir maksimum değer kullanılır.

Sezgisel algoritma, gereken minimum araç sayısını tespit ettikten sonra, ara stok seviyelerini düşürmek için denemeler yapmaya başlar. Denemelere daha önceden belirlenen maksimum yeniden sipariş noktaları kullanılarak başlanır. Daha sonra her bir sonraki denemede yeniden sipariş noktaları aşağı çekilerek sistemin sorunsuz çalışacağı minimum yeniden sipariş noktaları belirlenir. Yeniden sipariş noktaları birer birer azaltılarak en uygun noktayı bulmaya çalışmak en az deneme ile çözüme gitmek için en uygun yol değildir. Bunun yerine her denemede birden büyük bir sayı ile azaltma yapılarak sistemin çalışıp çalışmayacağı test edilir, sistemin çalışmadığı noktadan sonra her denemede birer birer artırılarak en uygun nokta bulunur. Bu yöntem Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. En uygun yeniden sipariş noktasını arama yöntemi

Bu yöntemde, azaltma işleminde kullanılacak olan sayının tespiti önemlidir. Bu sayı, iki ile maksimum değer arasında olabilir. Burada seçilen sayı, deneme sayısına doğrudan etki edecektir. Dolayısıyla, en az deneme ile doğru sonuca ulaştırması beklenen sayının seçilmesi gerekir. Tüm sayılar için ortalama kaç denemede doğru sonuca ulaşılacağı hesaplandıktan sonra ortalama deneme sayısı en küçük olan sayı seçilir. Örneğin belirlenen maksimum yeniden sipariş noktası değeri 100 olsun. Bu durumda, azaltma işlemi için kullanılacak sayı 2 ile 100 arasındadır. Bu aralıktaki tüm sayılar için tek tek “Gerekecek deneme sayısı” hesaplanır. Bu sayı, 1 ile 100 arasındaki olası tüm hedef değerlere ulaşmak için gerekecek olan deneme sayılarının ortalamasıdır. Azaltma işlemi için 10 sayısının seçildiği durum için beklenen deneme sayıları örnek olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Gerekecek deneme sayıları

Olası Hedef Değer	Gerekecek Deneme Sayısı	Olası Hedef Değer	Gerekecek Deneme Sayısı	Olası Hedef Değer	Gerekecek Deneme Sayısı	Olası Hedef Değer	Gerekecek Deneme Sayısı
1	11	26	14	51	6	76	9
2	12	27	15	52	7	77	10
3	13	28	16	53	8	78	11
4	14	29	17	54	9	79	12
5	15	30	7	55	10	80	2
6	16	31	8	56	11	81	3
7	17	32	9	57	12	82	4
8	18	33	10	58	13	83	5
9	19	34	11	59	14	84	6
10	9	35	12	60	4	85	7
11	10	36	13	61	5	86	8
12	11	37	14	62	6	87	9
13	12	38	15	63	7	88	10
14	13	39	16	64	8	89	11
15	14	40	6	65	9	90	1
16	15	41	7	66	10	91	2
17	16	42	8	67	11	92	3
18	17	43	9	68	12	93	4
19	18	44	10	69	13	94	5
20	8	45	11	70	3	95	6
21	9	46	12	71	4	96	7
22	10	47	13	72	5	97	8
23	11	48	14	73	6	98	9
24	12	49	15	74	7	99	10
25	13	50	5	75	8	100	0

Yukarıdaki tabloda verilen gerekecek deneme sayılarının ortalaması, yani 10 sayısı için beklenen deneme sayısı 9,9'dur.

Daha sonra, seçilebilecek tüm sayılar için beklenen deneme sayıları hesaplanır. (Bkz. Çizelge 5.2) Beklenen deneme sayısı en küçük olan sayı azaltma işlemi için seçilir.

Çizelge 5.2. Beklenen deneme sayıları

Azaltma Sayısı	Beklenen Deneme Sayısı	Azaltma Sayısı	Beklenen Deneme Sayısı	Azaltma Sayısı	Beklenen Deneme Sayısı	Azaltma Sayısı	Beklenen Deneme Sayısı
10	9,9	29	17,1	52	27,88	77	44,88
9	9,9	30	17,46	53	28,8	78	45,3
11	9,9	31	17,7	54	29,7	79	45,7
8	10,17	3	17,82	55	30,58	80	46,08
12	10,17	32	17,82	56	31,44	81	46,44
13	10,42	33	17,82	57	32,28	82	46,78
7	10,5	34	18,75	58	33,1	83	47,1
14	10,5	35	19,62	59	33,9	84	47,4
15	10,98	36	20,43	60	34,68	85	47,68
6	11,19	37	21,18	61	35,44	86	47,94
16	11,19	38	21,87	62	36,18	87	48,18
17	11,52	39	22,5	63	36,9	88	48,4
18	12,06	40	23,07	64	37,6	89	48,6
5	12,3	41	23,58	65	38,28	90	48,78
19	12,3	42	24,03	66	38,94	91	48,94
20	12,45	43	24,42	67	39,58	92	49,08
21	13,2	44	24,75	68	40,2	93	49,2
22	13,75	45	25,02	69	40,8	94	49,3
23	14,1	46	25,23	70	41,38	95	49,38
4	14,25	47	25,38	71	41,94	96	49,44
24	14,25	48	25,47	72	42,48	97	49,48
25	14,46	2	25,5	73	43	1	49,5
26	15,3	49	25,5	74	43,5	98	49,5
27	16,02	50	25,98	75	43,98	99	49,5
28	16,62	51	26,94	76	44,44	100	50,49

Sezgisel algoritma, gerekli minimum AGV sayısını ve her bir istasyon için en düşük yeniden sipariş verme noktasını tespit ettikten sonra sonlanır.

6. HİBRİT TEKNİĞİN ÖRNEK BİR SİSTEMDE UYGULANMASI

6.1. Sistemin Tanımı

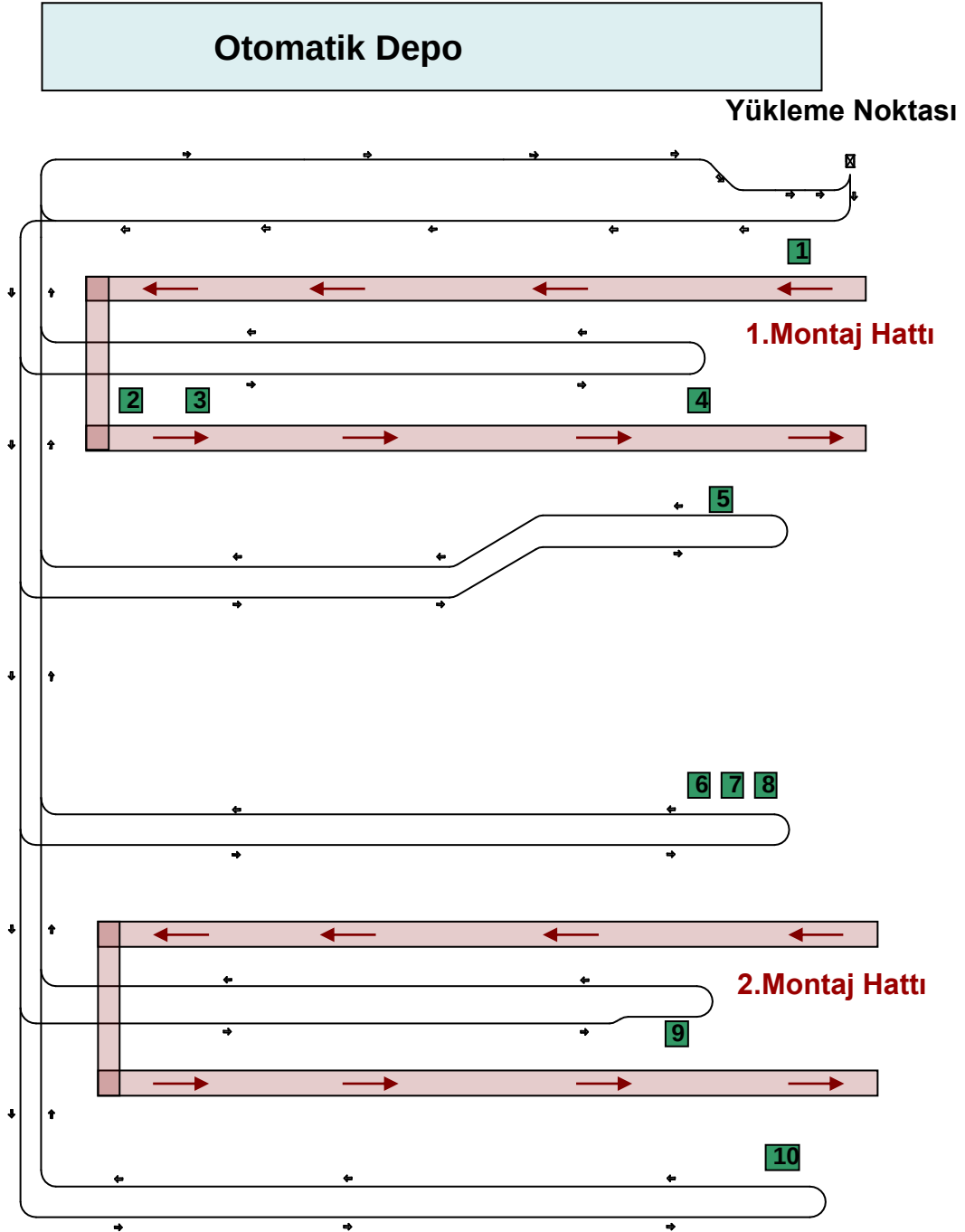
Çalışmanın önceki bölümünde anlatılan hibrit teknik, seri üretim yapılan bir beyaz eşya fabrikasında, yan sanayiden gelen kutulu malzemelerin stoklandığı bir AS/RS sisteminden montaj hatlarına malzeme transfer işleminde kullanılmak üzere tasarlanan bir AGV sistemi üzerinde uygulanmıştır. Sistemin yükleme, boşaltma noktalarını ve kılavuz yollarını gösteren yerleşim planı Şekil 6.1’de verilmiştir.

Sistemin yükleme noktası, malzemelerin stoklandığı AS/RS sisteminin çıkış noktasıdır. Boşaltma noktaları ise, beslenen iki montaj hattının muhtelif bölgelerinde bulunmaktadır. Sistemde her iki montaj hattına 5’er farklı tipte malzeme taşınması yapılmaktadır. Bundan dolayı her montaj hattı için 5 adet olmak üzere toplamda 10 adet boşaltma noktası bulunmaktadır. Boşaltma noktalarının yerleri, taşınan malzemenin montaj hattında kullanıldığı istasyonların pozisyonları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Sistemin kılavuz yolları ise kapalı döngü olarak fabrika yerleşimi göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Tasarımda fabrikanın fiziksel kısıtları belirleyici rol oynamıştır. Bu sistemde kullanılan kılavuz yol sistemi tek döngü kılavuz yol sistemidir. Sistemdeki tüm yollar tek yönlüdür, kestirme yollar ve alternatif rotalar söz konusu değildir.

Malzeme taşıma frekansları montaj hatlarının çevrim sürelerine ve taşınan malzemedan bir kasanın içinde kaç adet bulunduğuna göre hesaplanmıştır. Örneğin çevrim süresi 25 sn olan bir montaj hattına içinde 100 adet malzeme bulunan bir kasa taşınıyor ise 2500 sn’de bir kasa malzeme montaj hattı tarafından kullanılıyor demektir.

Yukarıda belirtilen kısıtlara göre tasarlanan AGV sisteminin yerleşim planı Şekil 6.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.1. AGV sistemi yerleşim planı

Sistemde malzemeler tek tip plastik kasaların içinde taşınacaktır. Taşınan malzemeler için bir kasa içindeki malzeme miktarı ve buna bağlı olarak iki taşıma arası çevrim süreleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Taşınan malzemeler ve çevrim süreleri

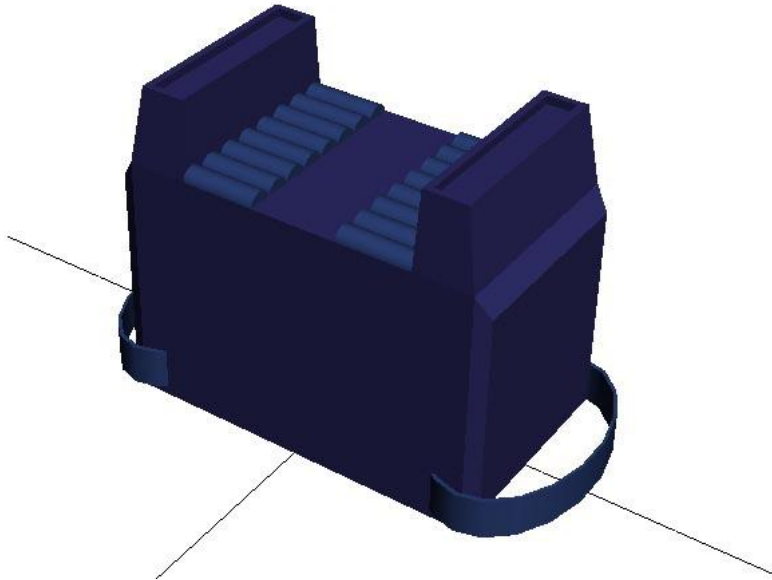
		İstasyon	Kasa İçindeki Sayı	Montaj Çevrim Süresi(sn)	Kasa Çevrim Süresi (sn)
Montaj 1	Malzeme 1	1	61	20,64	1259
	Malzeme 2	2	350	20,64	7224
	Malzeme 3	3	240	20,64	4954
	Malzeme 4	4	34	20,64	702
	Malzeme 5	5	190	20,64	3922
Montaj 2	Malzeme 1	6	61	23,45	1431
	Malzeme 2	7	350	23,45	8209
	Malzeme 3	8	240	23,45	5629
	Malzeme 4	9	34	23,45	797
	Malzeme 5	10	190	23,45	4456

Araçların yükleme ve boşaltma süreleri 15'er saniyedir.

Tasarlanan sistemde kullanılacak AGV araçlarının AS/RS çıkışındaki yerden yaklaşık 1 metre yüksekliğe sahip zincirli konveyörden, en fazla 200 kg ağırlığa sahip, 80*60*80 ölçülerindeki plastik kasaları alıp boşaltma istasyonlarındaki rulolu yada zincirli konveyörlere bırakabilmeleri gerekmektedir. Bu işlevi yerine getirebilmek için AGV araçlarının üzerine rulolu konveyörler monte edilmesi uygun görülmüştür.

Araçların hızlanma ve yavaşlama ivmeleri $0,5 \text{ m/sn}^2$, düzlükteki maksimum hızları 1 m/sn^2 , virajlardaki hızları ise $0,5 \text{ m/sn}^2$ 'dir.

İncelenen probleme AGV araçlarının yönlendirme şeklinin etkisi olmayacağından herhangi bir yönlendirme şekli kullanılabilir. Günümüzün en yaygın yönlendirme şekli olan lazerli yönlendirme sisteminin kullanımı önerilebilir. Sistemde kullanılması önerilen AGV araçlarını temsil eden grafik Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kullanılması önerilen AGV aracı

6.2. Örnek Sistem İçin Flexsim Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Sistemin simülasyon modeli Flexsim yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin oluşturulma aşamaları şu şekildedir; AS/RS sisteminin modellenmesi, AGV kılavuz yollarının modellenmesi, AGV araçlarının ve görevlendirme sisteminin modellenmesi, iş istasyonlarının modellenmesi, varışlar, AS/RS'den malzeme talep etme sistemi, çakışmaların kontrolü.

6.2.1 AS/RS sisteminin modellenmesi

Simülasyon modelinde AS/RS sistemi, iş istasyonlarını beslemek için kullanılacak malzemeleri depolamak için kullanılacaktır. İncelenen üretim sisteminde mevcut olan AS/RS sistemi her koridorda iki sıra olmak üzere toplam 4 koridorda 8 sıra rafla sahiptir. Her sıra rafta 5 katlı 70 bölümde toplam 350 hücre bulunmaktadır. AS/RS sisteminin toplam kapasitesi 8 sıra rafta her sırada 350 hücre olmak üzere toplam 2800 hücredir.

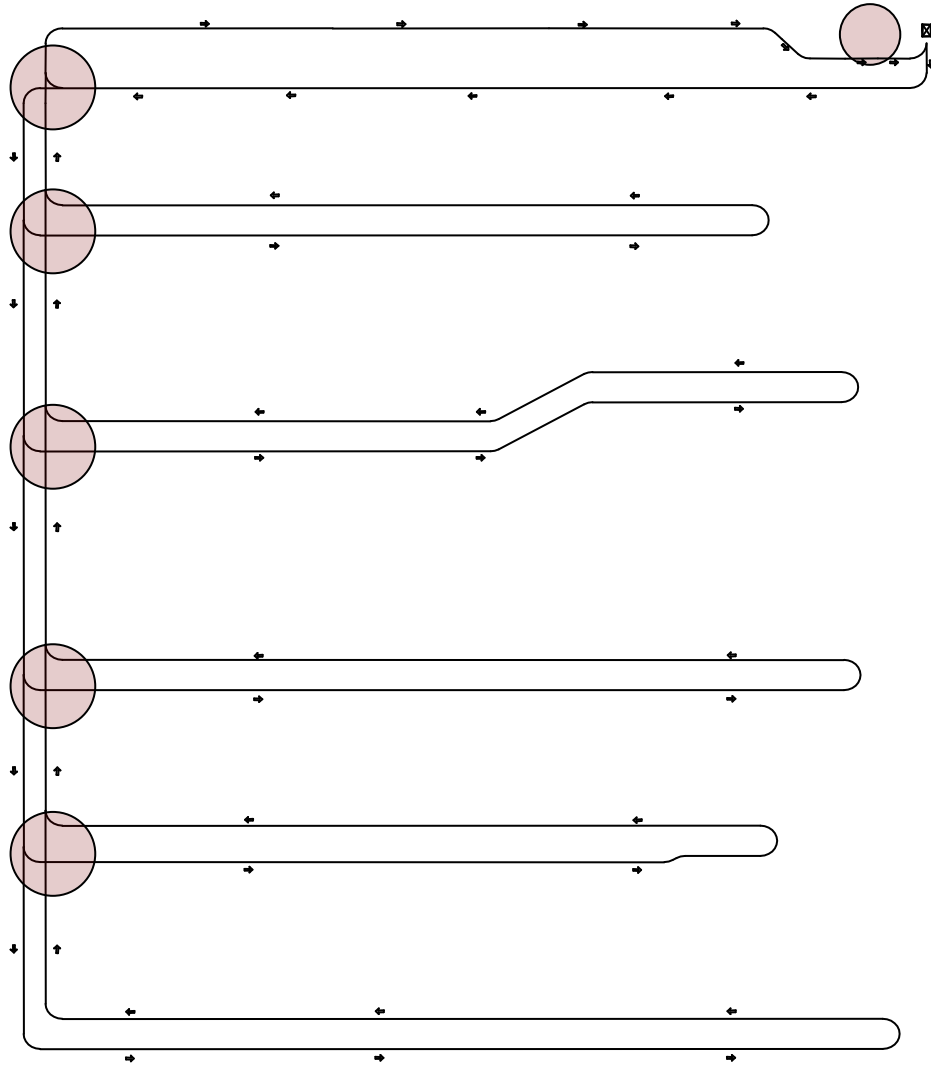
Sisteme giriş yapan malzemeler ilk olarak AS/RS sisteminin raflarına rassal olarak yerleştirilir. Sistemden talep edilen malzemeler bulunduğu hücreden o koridorun stacker crane'i ile alınarak koridor sonundaki çıkış konveyörüne getirilir. AS/RS çıkış bölümünde koridorlara dik olarak yerleştirilmiş raylar üzerinde hareket eden ve shuttle olarak adlandırılan araç, malzemeyi koridorun çıkış konveyöründen alarak AS/RS'nin genel çıkış konveyörüne götürür. Bu şekilde tüm koridorlardan çıkan malzemeler shuttle ile tek bir konveyöre getirilmiş olur.

Bu sistemin modellenmesinde raflar için Flexsim'in "Rack" modülü, Stacker Crane'ler ve Shuttle için "AS/RS Vehicle" modülü ve diğer konveyörler için de "Conveyor" modülü kullanılmıştır. Modüllerin çalışma prensilerini düzenlemek için herhangi özel bir kod kullanılmamış, modüllerin varsayılan değerleri olduğu gibi bırakılmıştır.

6.2.2. AGV kılavuz yollarının modellenmesi

AGV kılavuz yolu Şekil 6.1'de gösterilen yapıyı oluşturacak şekilde Flexsim'in "Network Node" modülü kullanılarak hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle her dönüş noktasına, her kavşağa ve her yükleme boşaltma noktasına birer Network Node yerleştirilmiş sonra bu noktalar birbirlerine bağlanmıştır. Daha sonra yolların yönleri belirlenmiştir. Tasarlanan sistemin tüm yolları tek yönlü olarak belirlenmiş bu şekilde çakışmaların en aza indirilmesi planlanmıştır.

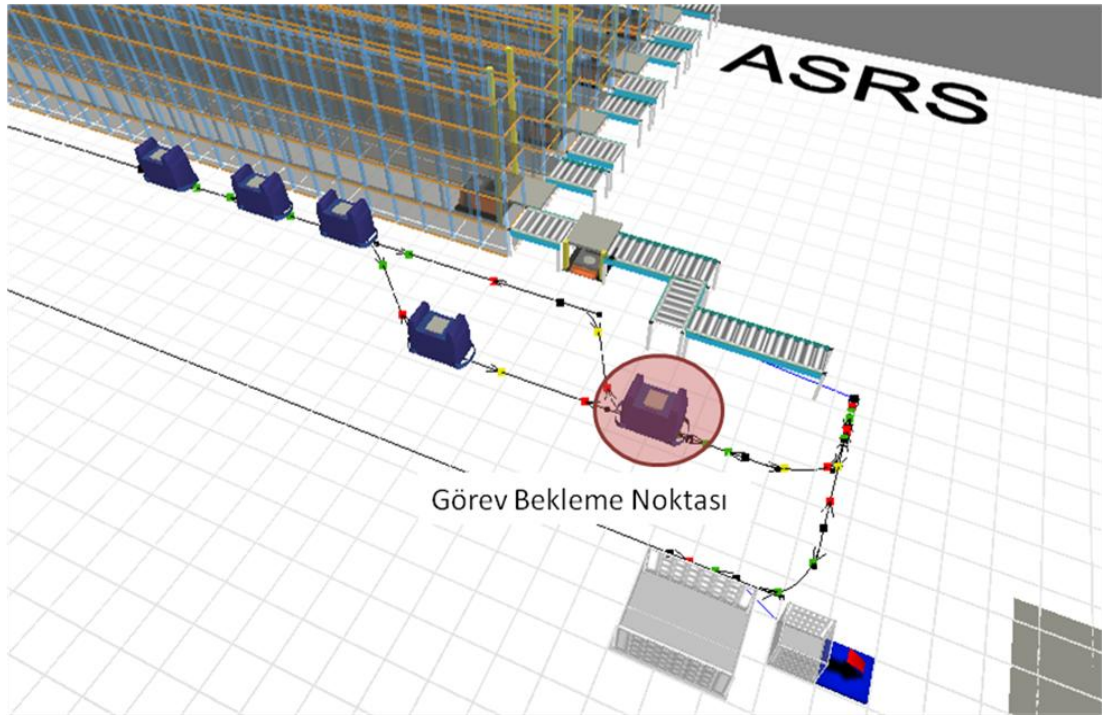
AGV araçları aynı yol üzerinde birbirlerine doğru gidip çarpışmaları imkansız olsa da Şekil 6.3'de gösterilen, bir yolun diğerinin üstünden geçtiği noktalarda ve yükleme bölgesine giriş çıkışta bu tip çarpışmalar mümkündür. Bu çarpışmalar kılavuz yolun modellenmesinde kullanılan özel kodlar ile engellenmiştir.



Şekil 6.3. AGV'lerin olası çarpışma noktaları

6.2.3. AGV araçlarının ve görevlendirme sisteminin modellenmesi

AGV araçları Flexsim'in "Task Executer" modülü kullanılarak modellenmiştir. Flexsim modellerinde Task Executer'lar verilen görevleri yerine getiren araçlardır. Bu modelde AGV cihazlarını simgeleyen Task Executer'lara simülasyonun başında AS/RS'nin çıkış noktasına yakın bir yerde bulunan görev bekleme bölgesine seyahat görevi verilir. Görev bekleme bölgesi Şekil 6.4'de gösterilmiştir. AGV araçları bu noktada AS/RS çıkış konveyörüne herhangi bir malzeme gelene kadar bekler. AS/RS çıkış konveyörüne gelen malzeme bekleme noktasının çıkışını açarak bu noktada bekleyen AGV'nin salınmasını ve yükleme noktasına gelmesini sağlar. Yükleme noktasına gelen AGV aracına sırası ile şu görevler verilir; çıkış konveyöründeki malzemeyi yükle, malzemenin tipini kontrol ederek götürülmesi gereken iş istasyonuna götür, malzemeyi iş istasyonunun önündeki stok alanına bırak, bekleme noktasına seyahat et.

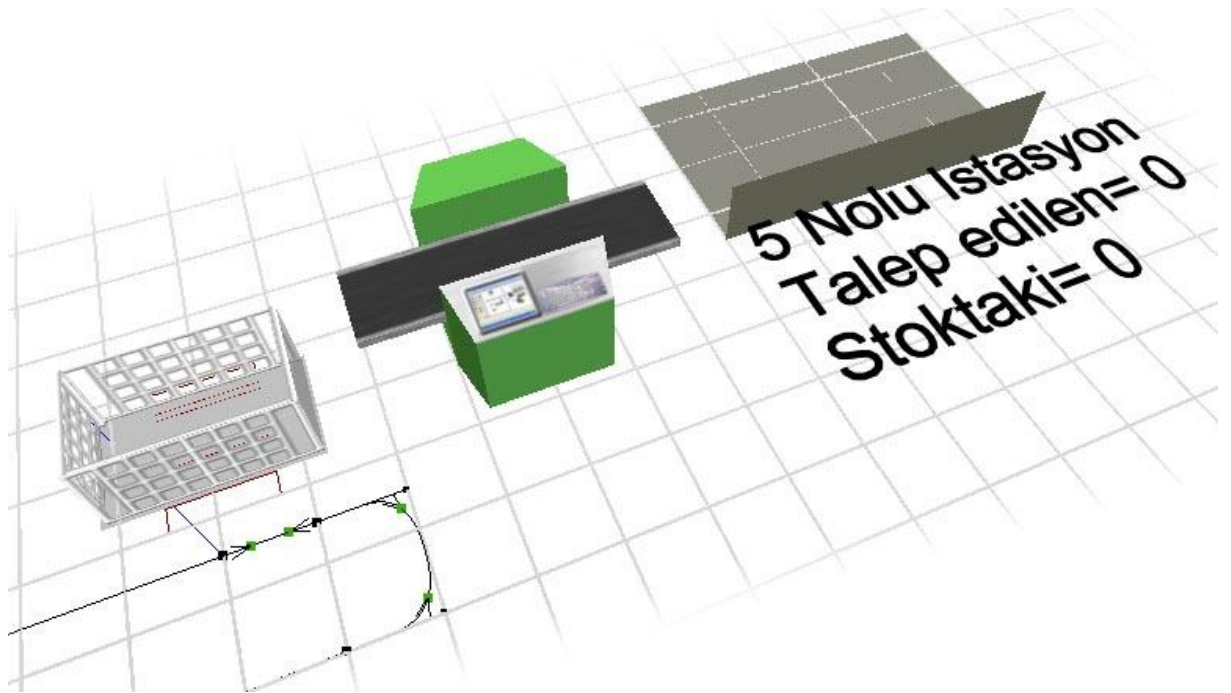


Şekil 6.4. AGV'lerin görev bekleme noktası

Bu görevlendirme sayesinde AGV'lerin sürekli bir şekilde malzeme taşıma işlemlerini yapması ve görev alma noktasına geri dönmesi sağlanmaktadır. Görevlendirmenin yapılması için yükleme noktasındaki Network Node'un ilgili kısmına Ek 1'de verilen kodlar ile programlama yapılmıştır.

6.2.4. İş istasyonlarının modellenmesi

Her bir iş istasyonu bir adet stok alanı, bir istasyon ve bir temsili noktadan meydana gelir. Temsili nokta Flexsim'in "Queue" modülü kullanılarak modellenmiştir. AGV'ler getirdikleri kasaları bu alana bırakırlar. Bu alana bırakılan kasalar stok alanında kasanın kapasitesi kadar parça oluşturur ve sistemden çıkarlar. Stok alanı da Flexsim'in "Queue" modülü kullanılarak modellenmiştir. Parçalar bu alanda stoklanır ve ihtiyaç duyuldukça birer birer istasyona alınırlar. İstasyonlar "Processor" modülü kullanılarak modellenmiştir. Malzemeler istasyona geldiğinde istasyonun bağlı olduğu montaj hattının çevrim süresi kadar burada kalır. Bu süre sonunda malzeme istasyondan ayrılırken anlık emniyet stoğu seviyesi 1 azaltılır. Şekil 6.5'te bir iş istasyonunun modeldeki görünümü gösterilmektedir.



Şekil 6.5. İş istasyonu

6.2.5. Varışlar

Flexsim’de varışlar “Source” isimli modül kullanılarak modellenmektedir. Simülasyon modelinde tek bir varış noktası kullanılmış, tüm malzemelerin aynı noktadan sisteme giriş yapması sağlanmıştır. Varışlar arası süre olarak tüm istasyonların malzeme çekiş hızlarını karşılayacak bir süre olan 189 sn kullanılmıştır.

Sisteme giriş yapan malzemeler daha önce de belirtildiği gibi ilk olarak AS/RS sistemine gönderilir. Burada malzemenin yerleştirileceği raf sırası, raftaki bölüm ve kat rassal olarak belirlenir. Modelin rassallığı bu yerleştirme sistemi ile sağlanmaktadır. Model her çalıştırıldığında talep edilen malzemelerin yerleri farklı olduğundan Stacker Crane’lerin malzemeleri alıp getirmeleri farklı sürelerde gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle her seferde gelen malzemelerin sırası farklı olmakta, böylelikle her çalıştırmada AGV’ler farklı rotalara yönlendirilmektedir.

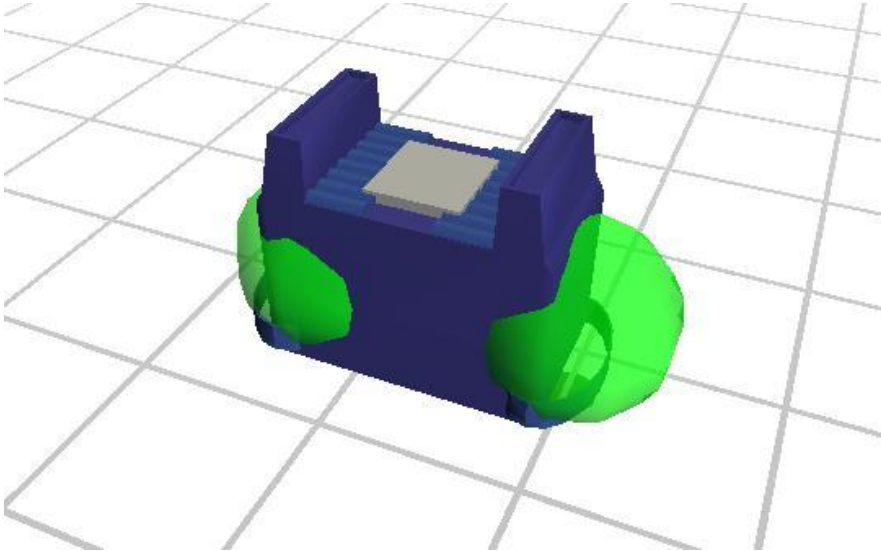
6.2.6. AS/RS’den malzeme talep etme sistemi

Simülasyon modeli çalışırken ara stokların kontrol edilip gerektiği takdirde malzeme talep edilebilmesi için her 5 sn’de bir bir kod çalıştırılır. Bu kod Flexsim’in “User Events” modülüne yerleştirilmiştir. Bu kod basit olarak şu şekilde çalışır; her malzeme tipi için ara stoğu kontrol et, ara stok istenilen seviyenin altında ise AS/RS’den herhangi bir malzeme talep et ve bu malzemeye söz konusu tipi ata. Malzeme tipinin bu kodda malzeme talep edildikten sonra atanmasının amacı modelin bilgisayarını daha az zorlayarak denemelerin daha hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktır. Çünkü bilgisayarlar için, istenen tipteki malzemenin hangi rafın hangi bölümünün hangi katında yer aldığını bulmak, herhangi bir malzemeyi talep ettikten sonra o malzemeye istenen tipi atamaktan çok daha zordur. Bu uygulamanın AGV sisteminin performansına herhangi bir etkisi yoktur. Malzeme talep etme algoritması Ek 2’de verilen kod ile programlanmıştır.

6.2.7. Çakışmaların kontrolü

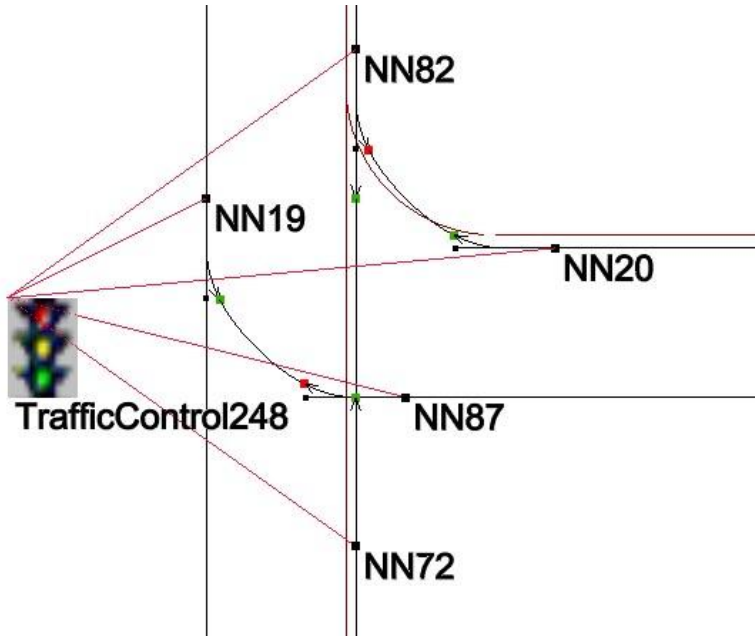
Modelde AGV araçlarının birbirleri ile çarpışmaları iki şekilde engellenmiştir. Araçların arka arkaya gelerek öndeki aracın durması sonucu meydana gelecek çarpışmalar araçların “Collisions” kısmında yapılan programlama ile, burun buruna çarpışmalar ise bazı noktalarda kılavuz yolun Network Node’larının “Triggers” adı verilen ve araçların bu noktalarına giriş ve çıkışlarında tetiklenen kodlarla, bazı noktalarda ise Flexsim’in “Traffic Control” modülü kullanılarak engellenmiştir.

Araçların arka arkaya geldiklerinde çarpışmalarını engellemek için Collisions kısmında AGV’nin önünde ve arkasında yer almak üzere iki adet görünmez küre (Collision Sphere) çizdirilmiştir. Bu kürelerin görünümü Şekil 6.6’te verilmiştir. Bu kürelerden herhangi biri bir diğer aracın herhangi bir küresi ile temas ederse “Handle Collision” kısmına yerleştirilmiş özel bir kod çalıştırılır. Bu kodun amacı söz konusu aracın çarpılan araca göre önde mi yoksa arkada mı olduğunu belirlemek, eğer önde ise işine devam etmesini, arkada ise beklemesini sağlamaktır. Bu bölümde kullanılan kod Ek 3’te verilmiştir.



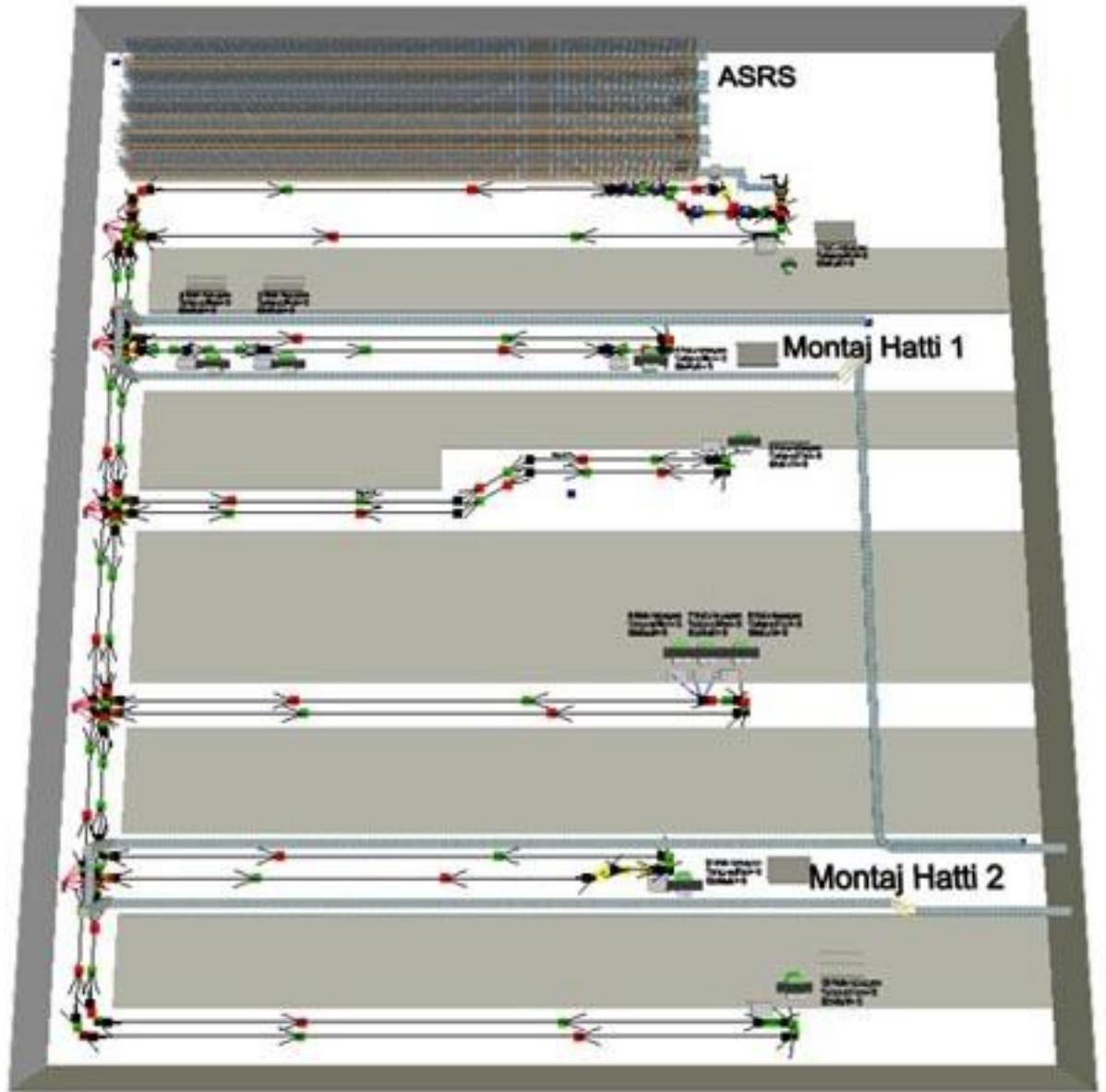
Şekil 6.6. Çakışma kontrol küreleri

Araçların burun buruna çarpışma riskleri olan kavşak noktalarında ise bu tip çarpışmaların önüne geçmek için Flexsim'in "Traffic Control" modülü kullanılmıştır. Bu modül, bağlandığı Network Node'ların arasındaki bağlantılardan oluşan yol kümesine aynı anda yalnızca 1 adet Task Executer'ın girmesine izin veriyor. Yani ilgili kavşağın tüm noktaları bu modül ile ilişkilendirildiğinde kavşakta aynı anda sadece 1 adet AGV olması sağlanıyor, bu şekilde kavşaktaki çarpışmaların önüne geçilmiş oluyor. Traffic Control modülünün bir kavşağa bağlanmış hali Şekil 6.7'de verilmiştir.

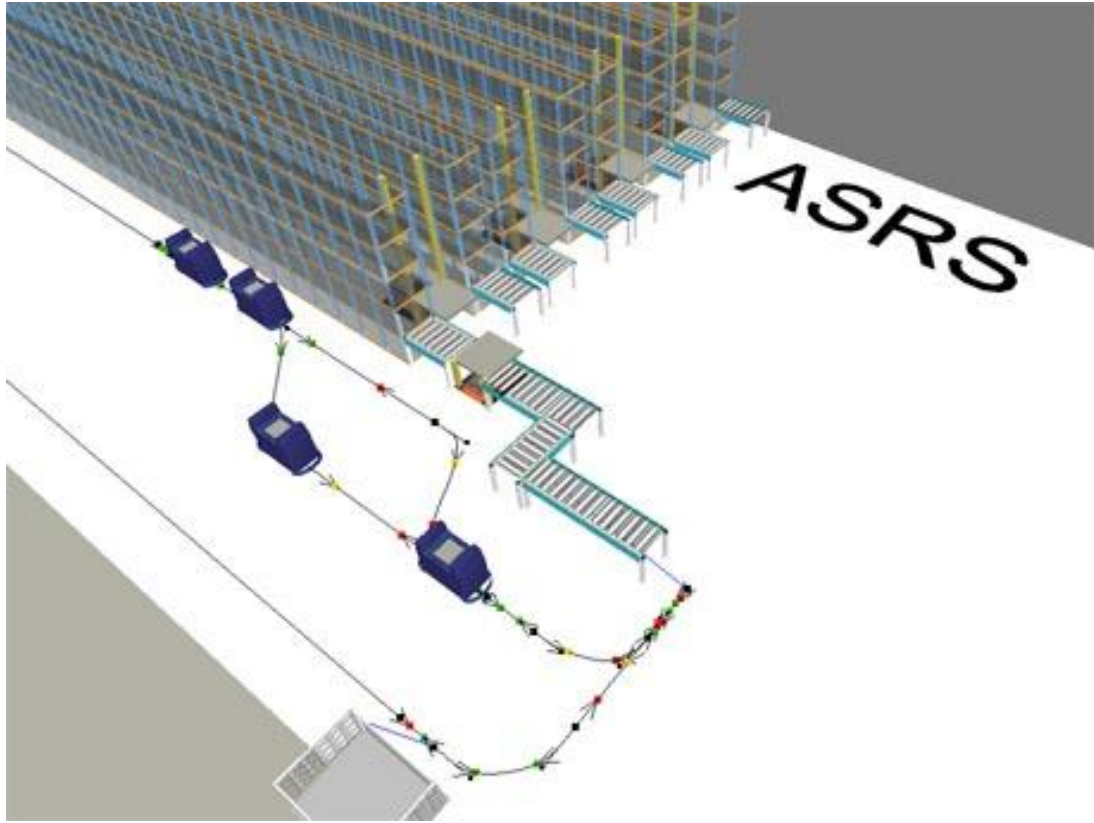


Şekil 6.7. Trafik kontrol modülü

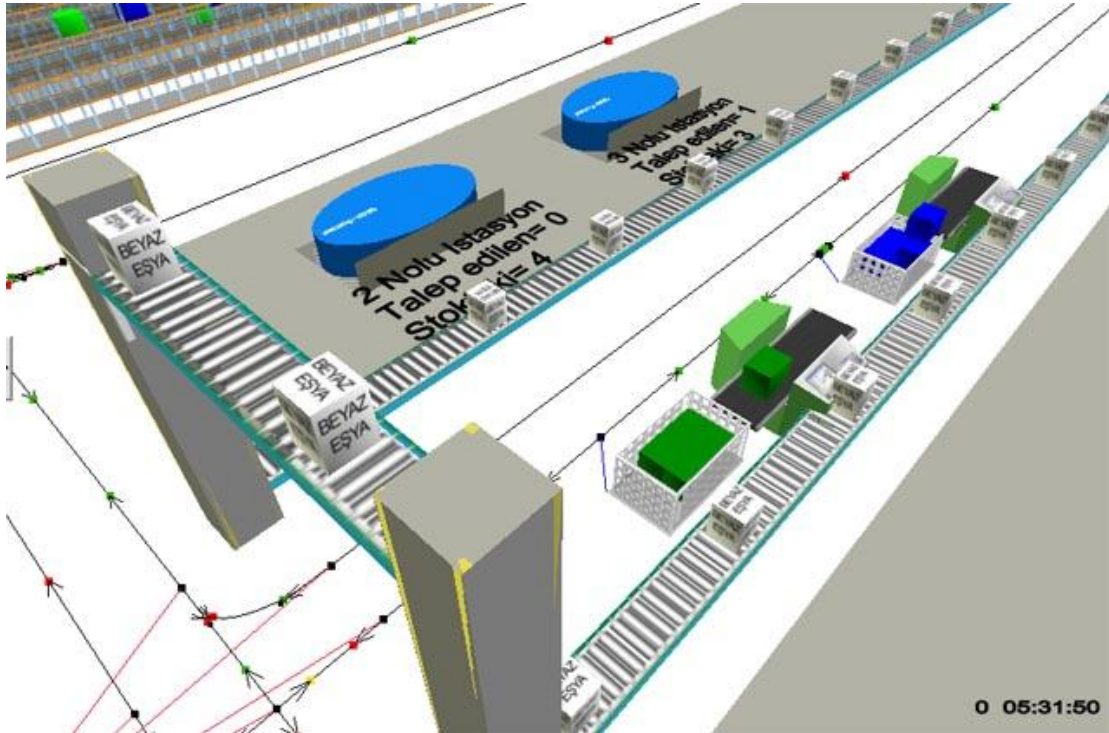
Sistemin tamamlanmış simülasyon modelinin ekran görüntüleri Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir. İşletmede kullanıma müsait olmayan bölgeler gri olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Simülasyon modelinin genel görünümü



Şekil 6.9. Simülasyon modeli ekran görüntüsü – as/rs çıkış bölgesi ve AGV yükleme noktası



Şekil 6.10. Simülasyon modeli ekran görüntüsü – 2. ve 3. istasyonlar

6.3. Flexsim Simülasyon Modelinin Çalıştırılması

Oluşturulan Flexsim simülasyon modelini kullanarak örnek AGV sistemi için kullanılması gereken minimum araç sayısının belirlenmesi ve ara stokların minimizasyonu için öncelikle problemin karar değişkenleri ve performans kriterleri belirlenmiştir. Simülasyon tekniğinde, oluşturulan modeller karar değişkenlerinin farklı değerleri kullanarak çalıştırılır ve çıktıların analizi ile elde edilen performans kriterleri değerlendirilerek en iyi performans kriterlerini sağlayan karar değişkenleri kombinasyonu en iyi tasarım olarak seçilir. Bu şekilde deneme yanılma yolu ile problem çözülmüş olur. Burada en önemli nokta karar değişkenlerinin farklı değerleri kullanılarak kombinasyonların yani denemelerin oluşturulmasıdır. Karar değişkenlerin değer aralığının olabildiğince daraltılması gereklidir. Çünkü geniş aralıklar çok sayıda kombinasyonun ortaya çıkmasına neden olarak problemin çözümünü imkansız hale getirebilir. Buradaki problem karar değişkenlerinin değer aralığının daraltılması bazı mümkün sonuçların hiç denenmemesine, hatta en iyi sonucun problemin başında elenmesine neden olabilmesidir.

İncelenen örnek AGV sistemi için iki adet karar değişkeni söz konusudur. Bunlar AGV araç sayısı ve iş istasyonlarının yeniden sipariş noktalarıdır. AGV sayısı için değer aralığını 1 ile 5 araç arasında, iş istasyonları için emniyet stoğu seviyesini de 1 ile 100 parça arasında olmak üzere belirlenirse, AGV sayısı için 5, 10 istasyonun emniyet stokları için 100^{10} olmak üzere toplam $5 * 100^{10} = 500.000.000.000.000.000.000$ deneme yapılması gerekecektir. Her denemenin günümüzün standart bir bilgisayarı ile yaklaşık 3 dk sürdüğü düşünülürse, denemelerin çalıştırılması 570.776.255.707.763 yıl gibi bir zaman alacağı hesaplanabilir. Ayrıca bu sayıda denemenin sonuçlarının analizi de mümkün değildir. Bundan dolayı böyle bir problemin karar değişkenlerinin değer aralığı daraltılmadan deneme yanılma yöntemi ile çözülmesi imkansızdır.

6.3.1. Karar değişkenleri

Alışıldık bir AGV sistemi için karar değişkenleri oldukça fazladır. Bunlar kılavuz yol tasarımı, araç çizelgeleme yapısı, boş araç pozisyonlama noktası yada noktaları, batarya yönetim sistemi ve batarya sayıları, araç rotalama kuralları, çakışmaların çözüm yöntemleri, araç kapasitesi, araç sayısı ve iş istasyonları için emniyet stok seviyeleri sıralanabilir. Fakat karar değişkeni sayısı ne kadar fazla olursa ve bu değişkenlerin değer aralıkları ne kadar geniş tutulursa simülasyon modelleri için deneme sayısı o kadar artar. Bu artış karar değişkeni sayısı arttıkça geometrik olarak gerçekleşir ve çok yüksek sayılara ulaşır. Bu çalışmada karar değişkenleri mümkün olduğunca daraltılmıştır. Zaten çalışmanın uygulandığı gerçek üretim sisteminin kısıtları sistemin tasarım kriterlerini oldukça daraltmıştır.

İncelenen AGV sistemi için AGV sayısı araştırılacağı için karar değişkeni olarak AGV araç sayısı ve iş istasyonları için emniyet stok seviyeleri ele alınmıştır. İş istasyonlarının emniyet stoğu alan kısıtı nedeni ile en fazla 50 parça ile sınırlıdır.

6.3.2. Performans kriterleri

Sistemin amacı işletmedeki malzeme stoğunu kullanarak montaj hatlarını beslemek olduğundan en önemli performans kriteri iş istasyonlarının doluluk oranıdır. İstasyonların doluluk oranının %100'n altına inmesi montaj hattının malzeme eksikliği sebebi ile durduğunu gösterir. Aslında doluluk oranları bir performans kriterinden çok sistemin bir kısıtı olarak da görülebilir. Çünkü herhangi bir iş istasyonunun doluluk oranının %100'n altında çıktığı bir alternatif hiçbir şekilde kabul edilemez.

Diğer bir performans kriteri ise araçların kullanım oranıdır. Bu kriter araç sayısı ile doğrudan orantılıdır. Tüm istasyonların doluluk oranının %100 olduğu alternatifler arasında sistemin yatırım maliyetini düşürmek amacıyla

araç kullanım oranının en yüksek olduğu dolayısı ile araç sayısının en düşük olduğu alternatif tercih edilmelidir. Tercih edilen alternatif için geçerli olan araç kullanım oranları sistemin araç arızalarına karşı ne kadar duyarlı olduğu hakkında bilgi verir. %100'e yakın kullanım oranları araç sayısının sınırdan hesaplandığını, herhangi bir araç arızası durumunda bu arızanın çok kısa sürede montaj hattına yansıtacağını gösterir.

6.3.3. Isınma ve çalıştırma sürelerinin belirlenmesi

Simülasyon modeli çalıştırıldığında, AS/RS sisteminde hiç malzeme bulunmamaktadır. Öncelikle bir süre AS/RS sisteminin doldurulmasının beklenmesi gerekmektedir. Daha sonra emniyet stoklarının kontrol edilerek malzeme talep eden sistem çalıştırılmaya başlanır. Bu andan itibaren de AGV araçları iş istasyonlarının yanındaki stok alanlarına malzeme götürmeye stokları arttırmaya başlarlar. Stoklar belirlenen emniyet stok seviyelerine ulaşıncaya üretime ve istatistiklerin kaydına başlanabilir. Bu ana kadar geçen süre bu model için ısınma süresidir. Isınma süresi AGV araç sayısına ve emniyet stok seviyelerine göre değişiklik gösterir. En yüksek ısınma süresi 1 aracın çalıştığı, stok seviyelerinin maksimum değeri olan 50 parça olduğu durumda ortaya çıkar. Bu alternatif için ısınma süresi yaklaşık 8.500 sn olarak ölçülmüştür. 2 araç için 4.500 sn, 3 araç için 3.000 sn, 4 araç için 2.400 sn, 5 araç için ise 2.000 sn olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerden yola çıkarak her araç sayısı değeri için farklı ısınma süreleri kullanılmıştır.

Modelin çalıştırılma süresi bazı araştırmacılara göre ısınma süresi kadar, bazı araştırmacılara göre ise ısınma süresinin 2 ila 10 katı arasında olmalıdır. Bu çalışmada incelenen AGV sistemi için montaj hatlarının çevrim sürelerinin zamana göre değişim göstermediğinden yapılan malzeme taşıma hareketlerinin sıklığı da değişmeyecek dolayısı ile AGV araç ihtiyacı da sabit kalacaktır. Bundan dolayı modelin çalıştırma süresinin çok uzatılması sistemin performans kriterlerini etkilemeyecektir. Yine de güvenilir sonuç

vermesi açısından, yapılan denemelerde en uzun ısınma süresinin 10 katından yüksek olan 100.000 sn kullanılmıştır.

6.4. Örnek Probleme Hibrit Tekniğin Uygulanması

Önceki bölümlerde tanımlanan hibrit teknik bu bölümde örnek sisteme uygulanmıştır. Oluşturulan sezgisel algoritma, başlangıç değerleri olarak araç sayısı için 1, istasyonların yeniden sipariş noktaları için 100 sayılarını kullanarak çalışmaya başlatılmıştır. Sezgisel algoritma ilk olarak bu değerler ile Flexsim simülasyon modelini çalıştırmıştır. Daha sonra alınan çıktılarına göre yeni girdiler üreterek denemelere devam etmiştir. Denemelerin girdileri ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.2. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 1-5)

Deneme No	1		2		3		4		5	
Araç Sayısı	1		2		3		3		3	
Isınma Süresi (Sn)	8.500		4.500		3.000		3.000		3.000	
Çalışma Süresi (Sn)	100.000		100.000		100.000		100.000		100.000	
	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı
İst. 1	100	69.14%	100	91.17%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 2	100	70.50%	100	95.29%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 3	100	69.95%	100	86.09%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 4	100	68.70%	100	77.26%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 5	100	64.95%	100	87.52%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 6	100	72.48%	100	89.09%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 7	100	60.86%	100	82.72%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 8	100	63.16%	100	87.00%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 9	100	63.20%	100	83.40%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%
İst. 10	100	66.26%	100	83.67%	100	100.00%	90	100.00%	80	100.00%

Çizelge 6.3. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 6-10)

Deneme No	6		7		8		9		10	
Araç Sayısı	3		3		3		3		3	
Isınma Süresi (Sn)	3.000		3.000		3.000		3.000		3.000	
Çalışma Süresi (Sn)	100.000		100.000		100.000		100.000		100.000	
	Yen. Sip. Nok.	Doluluk Oranı	Yen. Sip. Nok.	Doluluk Oranı	Yen. Sip. Nok.	Doluluk Oranı	Yen. Sip. Nok.	Doluluk Oranı	Yen. Sip. Nok.	Doluluk Oranı
İst. 1	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 2	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 3	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 4	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 5	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	99.68%
İst. 6	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 7	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 8	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	100.00%
İst. 9	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	99.99%
İst. 10	70	100.00%	60	100.00%	50	100.00%	40	100.00%	30	99.25%

Çizelge 6.4. Simülasyon modeli çıktıları (Deneme 11-16)

Deneme No	11		12		13		14		15		16	
Araç Sayısı	3		3		3		3		3		3	
Isınma Süresi (Sn)	3.000		3.000		3.000		3.000		3.000		3.000	
Çalışma Süresi (Sn)	100.000		100.000		100.000		100.000		100.000		100.000	
	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı	Yen.Sip.Nok.	Doluluk Oranı
İst. 1	20	99.92%	21	100.00%	21	100.00%	21	100.00%	21	100.00%	21	100.00%
İst. 2	20	99.89%	21	99.94%	22	99.98%	23	100.00%	23	100.00%	23	100.00%
İst. 3	20	99.78%	21	99.80%	22	99.96%	23	100.00%	23	100.00%	23	100.00%
İst. 4	20	99.85%	21	99.88%	22	99.95%	23	100.00%	23	100.00%	23	100.00%
İst. 5	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%
İst. 6	20	99.25%	21	99.33%	22	99.34%	23	99.58%	24	99.98%	25	100.00%
İst. 7	20	99.73%	21	99.85%	22	99.93%	23	99.96%	24	100.00%	24	100.00%
İst. 8	20	99.88%	21	99.90%	22	99.88%	23	99.93%	24	100.00%	24	100.00%
İst. 9	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%	31	100.00%
İst. 10	31	99.92%	32	99.96%	33	99.99%	34	100.00%	34	100.00%	34	100.00%

Yapılan denemeler sonucunda en iyi karar değişkeni kombinasyonu Deneme 16'da elde edilmiştir. Buna göre sistemde 3 adet AGV aracının kullanılması malzeme taşıma faaliyetlerini tam olarak gerçekleştirmek için yeterlidir.

Ayrıca emniyet stok seviyesi de 1. İstasyon için 21, 2. İstasyon için 23, 3. İstasyon için 23, 4. İstasyon için 23, 5. İstasyon için 31, 6. İstasyon için 25, 7. İstasyon için 24, 8. İstasyon için 24, 9. İstasyon için 31, 10. İstasyon için 34, olarak belirlenmiştir.

Gerekli araç sayısı ile ilgili elde edilen sonuç, çalışmanın bir sonraki bölümünde aynı problemin bir matematiksel model ile çözümü sonucu elde edilen sonuç ile karşılaştırılacaktır.

7. GELİŞTİRİLEN HİBRİT TEKNIĞIN BİR ANALİTİK MODEL İLE KARŞILAŞTIRMASI

Bu çalışmada geliştirilen hibrit tekniğin araç sayısını tahmin etmedeki etkinliği bir analitik model ile karşılaştırılmıştır. Aynı örnek problem analitik bir model ile çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

AGV sistemlerinde gerekli araç sayısının hesabı için Egbelu (1987)'nin geliştirdiği 4 temel analitik model çok geniş kabul görmüştür. Daha sonra bu konuda geliştirilen modellerin çoğu ise bu 4 temel modeli baz almıştır. Dolayısı ile bu çalışmada geliştirilen modelin Egbelu (1987)'nin geliştirdiği model ile karşılaştırılması uygun görülmüştür.

7.1. Egbelu'nun Analitik Modeli

Notasyonlar:

- n : Sistemdeki iş istasyonu sayısı
- β_i : i. iş istasyonunun yükleme noktası.
- α_i : i. iş istasyonunun boşaltma noktası.
- f_{ij} : Belli bir zaman periyodunda yada bir vardiyada i noktasından j noktasına yapılması beklenen ortalama seyahat sayısı.
- T : Belirlenen zaman periyodu.
- t : T zaman periyodunda araçların pil değiştirmek için harcadıkları zaman.
- $D(\beta_i, \alpha_j)$: β_i ile α_j noktaları arasındaki mesafe.
- V : Ortalama araç hızı (m/dk). Sabit hız varsayılmıştır.
- t_l : Ortalama yükleme süresi
- t_u : Ortalama boşaltma süresi
- e : Araç verimliliği

Bu analitik modelde gerekli araç sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$N = \left[2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{f_{ij} d(\beta_i, \alpha_i)}{V} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} (t_l + t_u) \right] / (60T - t)e \quad (1)$$

7.2. Problemin Analitik Model ile Çözümü

Analitik modelin notasyonları yerine incelenen problemin değerleri aşağıdaki gibi yerleştirilmiştir.

Sistemdeki iş istasyonu sayısı (n) 10'dur.

Belli bir zaman periyodunda yada bir vardiyada i noktasından j noktasına yapılması beklenen ortalama seyahat sayıları olan f_{ij} değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. İstasyonlara yapılması beklenen ortalama seyahat sayıları

		İst.	Kasa İçindeki Sayı	Montaj Çevrim Süresi(sn)	Kasa Çevrim Süresi (sn)	f_{ij}
Montaj 1	Malz.1	1	61	20,64	1259	20.49
	Malz.2	2	350	20,64	7224	3.57
	Malz.3	3	240	20,64	4954	5.21
	Malz.4	4	34	20,64	702	36.75
	Malz.5	5	190	20,64	3922	6.58
Montaj 2	Malz.1	6	61	23,45	1431	18.03
	Malz.2	7	350	23,45	8209	3.14
	Malz.3	8	240	23,45	5629	4.58
	Malz.4	9	34	23,45	797	32.37
	Malz.5	10	190	23,45	4456	5.79

Belirlenen zaman periyodu (T) bir vardiyaya tekabül eden 25800 sn'dir.

T zaman periyodunda araçların pil değiştirmedeği varsayılmıştır.

Yükleme noktası ile istasyonlar arasındaki mesafeler ($D(\beta_i, \alpha_j)$) Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelde 7.2. İstasyonlara göre tur mesafeleri

	İstasyon	Tur Mesafesi (m)
Montaj 1	1	172
	2	333
	3	333
	4	333
	5	394
Montaj 2	6	442
	7	442
	8	442
	9	458
	10	512

Ortalama araç hızı (V) 0,8m/sn olarak alınmıştır. Fiziksel sistemde araçların hızlanma ve yavaşlama ivmeleri $0,5 \text{ m/sn}^2$, düzlükteki maksimum hızları 1m/sn^2 , virajlardaki hızları ise $0,5 \text{ m/sn}^2$ 'dir.

Ortalama yükleme ve boşaltma süreleri (t_l, t_u) 15 sn'dir.

Araç verimliliği (e) 0,85 alınmıştır.

Gerekli araç sayısını hesaplayan formül aşağıdaki gibi de gösterilebilir.

$$N = \left[\left(\text{Toplam seyahat Mesafesi} / \text{Ortalama Araç Hızı} \right) + \right. \\ \left. \text{Yükleme Boşaltma Süreleri} \right] / \left(\text{Periyot} - \text{Batarya Süresi} \right) \\ * \text{Araç verimliliği}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Seyahat Mesafesi} &= \sum \text{Tur Mesafesi} * \text{Yapılacak Seyahat Sayısı} \\ &= (172 * 20,49) + (333 * 3,57) + (333 * 5,21) + (333 * 36,75) + \\ &\quad (394 * 6,58) + (442 * 18,03) + (442 * 3,14) + (442 * 4,58) + \\ &\quad (458 * 32,37) + (512 * 5,79) \\ &= 50.449,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Toplam seyahat Süresi = Toplam Seyahat Mesafesi / Ortalama Araç Hızı

$$= 50.449,7 \text{ m} / 0,8 \text{ m/sn}$$

$$= 63.062,16 \text{ sn}$$

Yükleme Boşaltma Süreleri = (Yükleme Süresi + Boşaltma Süresi)

* Yapılacak Seyahat Sayısı

$$= (15 + 15) * 136,51$$

$$= 4.095,3 \text{ sn}$$

$$N = (63.062,16 \text{ sn} + 4.095,3 \text{ sn}) / (25,800 * 0,85)$$

$$= \mathbf{3,06 \text{ araç}}$$

Sonuçta Egbelu'nun (1987) geliştirdiği analitik model incelenen sistem için 3.06 aracın gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

7.3. Geliştirilen Hibrit Teknik ile Egbelu'nun Analitik Modelinin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Egbelu'nun analitik modelinden elde edilen sonuç 3.06 araçtır. Bu sonuca göre sistemde 3 araç kullanıldığında araçların yetersiz kalacağı, sistemin düzgün çalışması için en az 4 aracın bulunması gerektiği söylenebilir.

Fakat kurulan simülasyon modeli üzerinde yapılan denemelere göre 3 araç kullanıldığı durumda da sistemin düzgün çalıştığı, araç sayısının yeterli geldiği görülmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen hibrit teknikle elde edilen sonuç analitik yöntemle elde edilen sonuca göre 1 araç farklılık göstermektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

AGV sistemlerinde kullanılması gerekli minimum araç sayısının hesaplanması için geliştirilen teknikler incelendiğinde, literatürdeki analitik tekniklerin de, simülasyon modeli kullanan tekniklerin de birtakım dezavantajları olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, simülasyon modelinin en büyük dezavantajı olan, çok sayıda deneme gereksinimini azaltarak gerekli araç sayısını tespit eden bir hibrit teknik geliştirilmiştir. Bu şekilde analitik tekniklerin ve simülasyon modellerinin dezavantajlarının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Literatürdeki analitik modellerde, tamamen tecrübeye dayalı olarak belirlenen ve problemin sonucuna doğrudan etki eden iki adet faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi araç verimliliği katsayısı, diğeri ise ortalama araç hızıdır. Bu çalışmada geliştirilen hibrit teknik ile karşılaştırılan Egbelu'nun analitik modelinde de aynı durum söz konusudur.

İncelenen sistemin analitik model ile çözümü sonucu elde edilen 3,06 sayısı %85 verim ve 0,8 m/sn ortalama hız için geçerlidir. Bu faktörler, herhangi bir bilimsel formülasyona göre değil, tecrübeye dayalı kararlara göre belirlenmektedir. Simülasyon modelinde ise araçların ortalama hızları, gerçek ivme ve maksimum hız değerlerine ve kılavuz yollardaki virajlara göre otomatik olarak simülasyonun sonunda ortaya çıkar. Aynı şekilde araç verimlilikleri de, tüm çakışma ve beklemler tıpkı gerçek sistemdeki gibi yaşandıktan sonra hesaplanabilir. İncelenen sistemde araçların hızlanma ve yavaşlama ivmeleri $0,5 \text{ m/sn}^2$, düzlükteki maksimum hızları 1 m/sn^2 , virajlardaki hızları ise $0,5 \text{ m/sn}$ iken analitik modelde ortalama hız $0,8 \text{ sn}$ alınmıştır. Aslında bu ortalama hız, kılavuz yollardaki virajların sayısına ve uzunluğuna, araçların durup kalkma miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Hızlanma ve yavaşlama ivmeleri de göz önüne alındığında ortalama hızın hesabı oldukça güçtür.

Tamamen tecrübeye dayalı olarak belirlenen bu katsayıların genellikle kullanılan değerler arasında en iyi durumları yani, 0,95m/sn ortalama hız ve %100 verim için sonuç 2,22 araç, en kötü durumları yani 0,8m/sn hız ve %85 verim içinse 3.06 araç olmaktadır. Bu iki değer arasındaki %38'lik fark bu tip bir problem için kesinlikle kabul edilebilir değildir. Bu durumda en güvenilir sonucun sadece ve sadece simülasyon modeli ile ortaya konabileceği söylenebilir.

Simülasyon modellerinin dezavantajı ise optimum sonuçlar elde etmenin çoğu zaman çok güç, değişkenlerin fazla olduğu durumlarda ise imkansız olmasıdır.

Bu çalışmada geliştirilen hibrit teknik ile simülasyon modeli kullanılarak sonuca ulaşmak, karar değişkenlerinin alabileceği değer aralığı çok geniş olmasına rağmen mümkün hale getirilmiştir. Netice olarak öne sürülen tekniğin tek bir dezavantajı kalmıştır, o da simülasyon modellerini hazırlama işleminin maliyetli olması ve zaman gerektirmesi. Fakat tek bir AGV aracının maliyetinin bile modelleme maliyetinden yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda, araç sayısının belirlenmesinde simülasyon modeli kullanma yönteminin en ekonomik ve en doğru yöntem olduğu görülmektedir.

Gelecek çalışmalarda AGV sistemleri için sadece araç sayısı ve ara stok seviyeleri değil, aynı zamanda kılavuz yol tasarımı, rotalama alternatifleri ve batarya yönetimi gibi tasarım değişkenleri de çözüme dahil edilerek daha kapsamlı simülasyon modelleri ve bu modelleri çözüme götürecek daha kapsamlı sezgisel algoritmalar kullanılabilir. Bunun yanında, AGV sistemlerinden bağımsız olarak, bu çalışmada öne sürülen hibrit yaklaşım, farklı sezgisel algoritmaları kullanarak, farklı alanlarda, farklı problemlerin çözümünde de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Al-Sultan, K.S., Bozer, Y.A., "Network Configuration And Machine Layout In Fixed-Path Material Handling Systems", ***Annals Of Operations Research***, 76: 21-54 (1998).
2. Ariffin M, Badakhshian M, Sulaiman S, "Automated Guided Vehicles Scheduling Optimization By Fuzzy Genetic Algorithm", ***12th World Multi-Conference On Systemics***, 6: 111-117 (2008).
3. Arifin, R., Egbelu, P.J., "Determination Of Vehicle Requirements In Automated Guided Vehicle Systems: A Statistical Approach", ***Production Planning & Control***, 11 (3): 258-270 (2000).
4. Asef-Vaziri A, Goetschalckx M, "Dual Track And Segmented Single Track Bidirectional Loop Guidepath Layout For AGV Systems", ***European Journal Of Operational Research***, 186 (3): 972-989 (2008).
5. Bartholdi III, J.J., Platzman, L.K., "Decentralized Control Of Automated Guided Vehicles On A Simple Loop", ***IIE Transactions***, 21 (1): 76-81 (1989).
6. Baykoç, Ö., Kesen, S., "Simulation Of Automated Guided Vehicle (AGV) Systems Based On Just-In-Time (Jit) Philosophy In A Job-Shop Environment", ***Simulation Modelling Practice And Theory***, 15 (3): 272-284 (2007).
7. Beamon, B.M., "Performance, Reliability, And Performability Of Material Handling Systems", ***International Journal Of Production Research***, 36 (2): 377-393 (1998).
8. Berman, S., Edan, Y., "Decentralized Autonomous AGV System For Material Handling", ***International Journal Of Production Research***, 40 (15): 3995-4006 (2002).
9. Bilge, Ü., Tanchoco, J.M.A., "AGV Systems With Multiload Carriers: Basic Issues And Potential Benefits", ***Journal Of Manufacturing Systems***, 16 (3): 159-174 (1997).
10. Bilge, Ü., Ulusoy, G., "A Time Window Approach To Simultaneous Scheduling Of Machines And Material Handling System in An Fms", ***Operations Research***, 43 (6): 1058-1070 (1995).
11. Bozer, Y.A., Srinivasan, M.M., "Tandem Configurations For Automated Guided Vehicle Systems And The Analysis Of Single Vehicle Loops", ***IIE Transactions***, 23 (1): 72-82 (1991).

12. Briskorn, D., Drexl, A., Hartmann, S., "Inventory-Based Dispatching Of Automated Guided Vehicles On Container Terminals", **OR Spectrum**, 28 (4): 611-630 (2006).
13. Chang, S., Egbelu, P.J., "Dynamic Relative Positioning Of AGVs in A Loop Layout To Minimize Mean System Response Time", **International Journal Of Production Research** , 34 (6): 1655-1673 (1996).
14. Chen, M.T., McGinnis, L., Zhou, C., "Design And Operation Of Single-Loop Dual-Rail Inter-Bay Material Handling System", **International Journal Of Production Research** , 37 (10): 2217-2237 (1999).
15. Newton, D., "Simulation Model Calculates How Many Automated Guided Vehicles Are Needed", **Industrial Engineering**, 17 (2): 68-78 (1985).
16. De Koster, R., Le Anh, T., Van Der Meer, J.R., "Testing And Classifying Vehicle Dispatching Rules In Three Real-World Settings", **Journal Of Operations Management** , 22 (4): 369-386 (2004).
17. Dell'amico, M., Fischetti, M., Toth, P., "Heuristic Algorithms For The Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem", **Management Science**, 39 (1): 115-125 (1993).
18. Egbelu, P.J., "The Use Of Non-Simulation Approaches In Estimating Vehicle Requirements In An Automated Guided Vehicle Based Transport System", **Material Flow**, 4: 17-32 (1987).
19. Egbelu, P.J., "Positioning Of Automated Guided Vehicles In A Loop Layout To Improve Response Time", **European Journal Of Operational Research** , 71 (1): 32-44 (1993).
20. Egbelu, P.J., Tanchoco, J.M.A., "Potentials For Bi-Directional Guide-Path For Automated Guided Vehicle Based Systems", **International Journal Of Production Research**, 24 (5): 1075 - 1097 (1986).
21. Egbelu, P.J., Tanchoco, J.M.A., "Characterization Of Automated Guided Vehicle Dispatching Rules", **International Journal Of Production Research**, 22 (3): 359-374 (1984).
22. Evers, J.J.M., Koppers, S.A.J., "Automatic Guided Vehicle Traffic Control At A Container Terminal", **Transportation Research Part A: Policy And Practice**, 30 (1): 21-34 (1996).
23. Farahani, R., Laporte, G., Miandoabchi, E., "Designing Efficient Methods For The Tandem AGV Network Design Problem Using Tabu Search And Genetic Algorithm", **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** , 36 (12): 996-1009 (2008).

24. Farahani, R., Pourakbar, M., Miandoabchi, E., "Developing Exact And Tabu Search Algorithms For Simultaneously Determining AGV Loop And P/D Stations In Single Loop Systems", ***International Journal Of Production Research*** , 45 (22): 5199-5222 (2007).
25. Fenies, P., Gourgand, M., Tchernev, N., "Combined Performance Evaluation And Economic Analysis For Guided Path Layout Choice Of Unit Load AGVS", 2006 International Conference On Service Systems And Service Management, (): 519-525 (2006).
26. Gademann, N., Velde, V., "Positioning Automated Guided Vehicles In A Loop Layout", ***European Journal Of Operational Research***, 127 (3): 565-573 (2000).
27. Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A., "Flow Path Design For Automated Guided Vehicle Systems", ***International Journal Of Production Research***, 25 (5): 667-676 (1987).
28. Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A., Taghaboni, F., "Virtual Flow Paths For Free-Ranging Automated Guided Vehicle Systems", ***International Journal Of Production Research***, 27 (1): 91-100 (1989).
29. Ghasemzadeh, H., Behrangi, E., Azgomi, M., "Conflict-Free Scheduling And Routing Of Automated Guided Vehicles In Mesh Topologies ", ***Robotics And Autonomous Systems***, 57 (6): 738-748 (2009).
30. Goetz, W.G., Egbelu, P.J., "Guide Path Design And Location Of Load Pick-Up/Drop-Off Points For An Automated Guide Vehicle System", ***International Journal Of Production Research***, 28 (5): 927-941 (1990).
31. Grunow, M., Gunther, H., Lehmann, M., "Strategies For Dispatching AGVs At Automated Seaport Container Terminals", ***OR Spectrum***, 28 (4): 587-610 (2006).
32. Guan, X., Dai X., "Deadlock-Free Multi-Attribute Dispatching Method For AGV Systems", ***International Journal Of Advanced Manufacturing Technology***, 45 (5): 603-615 (2009).
33. Gujjula, R., Gunther, Ho., "The Impact Of Storage Block Assignment For Import Containers On AGV Dispatching In Highly Automated Seaport Container Terminals", ***IEEM: 2008 International Conference On Industrial Engineering And Engineering Management***, 1 (3): 1739-1743 (2008).
34. Ho, Y., Liao, T., "Zone Design And Control For Vehicle Collision Prevention And Load Balancing In A Zone Control AGV System", ***Computers & Industrial Engineering***, 56 (1): 417-432 (2009).

35. Ho, Y.C., "A Dynamic-Zone Strategy For Vehicle-Collision Prevention And Load Balancing In An AGV System With A Single-Loop Guide Path", ***Computers In Industry***, 42 (2): 159-176 (2000).
36. Hu, C.H., Egbelu, P.J., "A Framework For The Selection Of Idle Vehicle Home Locations In An Automated Guided Vehicle System", ***International Journal Of Production Research***, 38 (3): 543-562 (2000).
37. Ilic, O., "Analysis Of The Number Of Automated Guided Vehicles Required In Flexible Manufacturing Systems", ***International Journal Of Advanced Manufacturing Technology***, 9 (6): 382-389 (1994)
38. Johnson, M.E., Brandeau, M.L., "An Analytic Model For Design And Analysis Of Single-Vehicle Asynchronous Material Handling Systems", ***Transportation Science*** , 28 (4): 337-353 (1994).
39. Johnson, M.E., Brandeau, M.L., "An Analytic Model For Design Of A Multivehicle Automated Guided Vehicle System", ***Management Science***, 39 (12): 1477-1489 (1993).
40. Johnson, M.E., Brandeau, M.L., "An Analytic Model For Design Of A Multivehicle Automated Guided Vehicle System", ***Management Science***, 39 (12): 1477-1489 (1993).
41. Kalender, Y., Türkbey, O., "Otomatik Yönlendiricili Araç Sistemlerinin Tasarım Problemleri İçin Bir Matematiksel Programlama Modeli", ***Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi***, 22 (4): 779-789 (2007).
42. Kasilingam, R.G., Gobal, S.L., "Vehicle Requirements Model For Automated Guided Vehicle Systems", ***The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology***, 12 (4): 276-279 (1996).
43. Kaspi, M., Tanchoco, J.M.A., "Optimal Flow Path Design Of Unidirectional AGV Systems", ***International Journal Of Production Research***, 28 (6): 1023-1030 (1990).
44. Kaspi, M., Kesselman, U., Tanchoco, J.M.A., "Optimal Solution For The Flow Path Design Problem Of A Blanced Unidirectional AGV System", ***International Journal Of Production Research*** , 40 (2): 389-401 (2002).
45. Kim, B.I., Shin, J., Chae, J., "Simple Blocking Prevention For Bay Type Path-Based Automated Material Handling Systems", ***International Journal Of Advanced Manufacturing Technology***, 44(7-8):809-816, (2009)

46. Kim, B.I., Park, J., "Idle Vehicle Circulation Policies In A Semiconductor FAB", ***Journal Of Intelligent Manufacturing***, 20(6): 709- 717 (2009)
47. Kim, C.W., Tanchoco, J.M.A., "Conflict-Free Shortest-Time Bidirectional AGV Routeing", ***International Journal Of Production Research***, 29 (12): 2377-2391 (1991).
48. Kim, C.W., Tanchoco, J.M.A., Koo, P.H., "AGV Dispatching Based On Workload Balancing", ***International Journal Of Production Research***, 37 (17): 4053-4066 (1999).
49. Kim, K.H., "Positioning Of Automated Guided Vehicles In A Loop Layout To Minimize The Mean Vehicle Response Time", ***International Journal Of Production Economics***, 39 (3): 201-214 (1995).
50. Kim, K.H., Kim, J.Y., "Estimating Mean Response Time And Positioning Idle Vehicles Of Automated Guided Vehicle Systems In Loop Layout", ***Computers & Industrial Engineering***, 33 (3): 669-672 (1997).
51. Kim, K.H., Tanchoco, J.M.A., "Economical Design Of Material Flow Paths", ***International Journal Of Production Research*** , 31 (6): 1387-1407 (1993).
52. Koo, P., Jang, J., Suh, J., "Estimation Of Part Waiting Time And Fleet Sizing In AGV Systems", ***International Journal Of Flexible Manufacturing Systems***, 16 (3): 211-228 (2004).
53. Koo, P.H., Lee, W.S., Jang, D.W., "Fleet Sizing And Vehicle Routing For Container Transportation In A Static Environment", ***OR Spectrum*** , 26 (2): 193-209 (2004).
54. Lau, H., Woo, S., "An Agent-Based Dynamic Routing Strategy For Automated Material Handling Systems", ***International Journal Of Computer Integrated Manufacturing***, 21 (3): 269-288 (2008).
55. Le-Anh, T., De Koster, M., "A Review Of Design And Control Of Automated Guided Vehicle Systems", ***European Journal Of Operational Research***, 171 (1): 1-23 (2006).
56. Lee, C., Ventura, J.A., "Optimal Dwell Point Location Of Automated Guided Vehicles To Minimize Mean Response Time In A Loop Layout", ***International Journal Of Production Research***, 39 (17): 4013-4031 (2001).
57. Lim, J.K., Lim, J.M., Yoshimoto, K., Kim, K.H., Takahashi, T., "A Construction Algorithm For Designing Guide Paths Of Automated Guided

- Vehicle Systems", *International Journal Of Production Research* , 40 (15): 3981-3994 (2002).
58. Lin, L., Gen, M., "A Random Key-Based Genetic Algorithm For AGV Dispatching Problem In Fms", *Proceedings Of The 4th International Conference On Intelligent Logistics Systems*, 318-330 (2008).
 59. Lin, L., Shinn, S., Gen, M., "Network Model And Effective Evolutionary Approach For AGV Dispatching In Manufacturing System", *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 17 (4): 465-477 (2006).
 60. Lin, J., "Determine How Many AGV's Are Needed", *International Journal Of Production Research*, 53(4): 22 (1990).
 61. Mahadevan, B., Narendran, T.T., "Design Of An Automated Guided Vehicle-Based Material Handling System For An Fms", *International Journal Of Production Research*, 28 (9): 1611-1622 (1990).
 62. Mahadevan, B., Narendran, T.T., "A Hybrid Modelling Approach To The Design Of An AGVsbased Material Handling System For An Fms", *International Journal Of Production Research*, 32 (9): 2015 - 2030 (1994).
 63. Mahadevan, B., Narendran, T.T., "Estimation Of Number Of AGVs For An Fms: An Analytical Model", *International Journal Of Production Research*, 31 (7): 1655-1670 (1993).
 64. Maxwell, W.L., Muckstadt, J.A., "Design Of Automated Guided Vehicle Systems", *IIE Transactions*, 14(2): 114-124 (1982).
 65. Mchaney, R., "Modelling Battery Constraints In Discrete Event Automated Guided Vehicles Simulations", *International Journal Of Production Research*, 33 (11): 3023-3040 (1995).
 66. Morihiro, Y., Miyamoto, T., Kumagai, S., "An Initial Assignment Method For Tasks Assignment And Routing Problem Of Autonomous Distributed AGVs", *IEICE Transactions On Fundamentals Of Electronics Communications And Computer Sciences*, E90a (11): 2465-2471 (2007).
 67. Nishi, T., Morinaka, S., Konishi, M., "A Distributed Routing Method For AGVs Under Motion Delay Disturbance", *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing*, 23: 517-532 (2007).
 68. Nishi, T., Shimatani, K., Inuiguchi, M., "Decomposition Of Petri Nets And Lagrangian Relaxation For Solving Routing Problems For AGVs",

- International Journal Of Production Research***, 47 (14): 3957-3977 (2009).
69. Qiu, L., Hsu, W., "A Bi-Directional Path Layout For Conflict-Free Routing Of AGVs", ***International Journal Of Production Research***, 39 (10): 2177-2195 (2001).
 70. Qiu, L., Hsu, W., Huang, S. And Wang, H., "Scheduling And Routing Algorithms For AGVs: A Survey", ***International Journal Of Production Research***, 40 (3): 745-760 (2002).
 71. Rajotia, S., Shanker, K., Batra, J.L., "A Semi-Dynamic Time Window Constrained Routeing Strategy In An AGV System", ***International Journal Of Production Research***, 36 (1): 35-50 (1998).
 72. Rajotia, S., Shanker, K., Batra, J.L., "Determination Of Optimal AGV Fleet Size For An Fms", ***International Journal Of Production Research***, 36 (5): 1177-1198 (1998).
 73. Raman, D., Nagalingam, S., Gurd, B., "Quantity Of Material Handling Equipment-A Queuing Theory Based Approach ", ***Robotics And Computer-Integrated Manufacturing***, 25 (2): 348-357 (2009).
 74. Reveliotis, S.A., "Conflict Resolution In AGV Systems", ***IIE Transactions***, 32 (7): 647-659 (2000).
 75. Ross, E.A., Mahmoodi, F. And Mosier, C.T., "Tandem Configuration Automated Guided Vehicle Systems: A Comparative Study", ***Decision Sciences*** , 27 (1): 81-102 (1996).
 76. Sabuncuoglu, İ., "A Study Of Scheduling Rules Of Flexible Manufacturing Systems: A Simulation Approach", ***International Journal Of Production Research***, 36 (2): 527-546 (1998).
 77. Savelsbergh, M., Sol, M., "Drive: Dynamic Routing Of Independent Vehicles", ***Operations Research***, 46 (4): 474-490 (1998).
 78. Savelsbergh, M.W.P., Sol, M., "The General Pickup And Delivery Problem", ***Transportation Science***, 29 (1): 17-29 (1995).
 79. Sedehi, M., Farahani, R., "An Integrated Approach To Determine The Block Layout, AGV Flow Path And The Location Of Pick-Up/Delivery Points In Single-Loop Systems", ***International Journal Of Production Research*** , 47 (11): 3041-3061 (2009).
 80. Singh, S., Tiwari, M., "Object Oriented Modelling And Development Of A Dispatching Algorithm For Automated Guided Vehicles", ***International***

Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 23 (9): 682-695 (2004).

81. Sinriech, D., Tanchoco, J.M.A., "Intersection Graph Method For AGV Flow Path Design", ***International Journal Of Production Research***, 29 (9): 1725-1732 (1991).
82. Sinriech, D., Tanchoco, J.M.A., "Impact Of Empty Vehicle Flow On Performance Of Single-Loop AGV Systems", ***International Journal Of Production Research***, 30 (10): 2237-2252 (1992).
83. Sinriech, D., Tanchoco, J.M.A., "An Economic Model For Determining AGV Fleet Size", ***International Journal Of Production Research***, 30 (6): 1255-1268 (1992).
84. Srinivasan, M.M., Bozer, Y.A., Cho, M., "Trip-Based Material Handling Systems: Throughput Capacity Analysis", ***IIE Transactions***, 26 (1): 70-89 (1994).
85. Taghaboni, F., Tanchoco, J.M.A., "Comparison Of Dynamic Routing Techniques For Automated Guided Vehicle Systems", ***International Journal Of Production Research***, 33 (10): 2653-2669 (1995).
86. Tanchoco, J.M.A., Egbelu, P.J., Taghaboni, F., "Determination Of The Total Number Of Vehicles In An AGV-Based Material Transport System", ***Material Flow***, (4): 33-51 (1987).
87. Türkbey, O., Kalender, Y., "Multi Variable Modelling Of AGVs And Economical Design Of Material Flow Paths", ***Association For The Advancement Of Modelling & Simulation Techniques In Enterprises***, 23: 2-7 (2002).
88. Türkbey, O., Kalender, Y., "Otomatik Yönlü Araç Sistemlerinde (AGVs) Akiş Yolu Düzenleme Tasarımı Ve Bir Algoritmik Uygulama", ***Gazi Ü. Fen Bil. Ens. Dergisi***, 3 (2): 29-39 (2000).
89. Van Der Meer, J.R., De Koster, R., "Using Multiple Load Vehicles For Internal Transport With Batch Arrivals Of Loads", ***New Trends In Distribution Logistics Book Series: Lecture Notes In Economics And Mathematical Systems***, 480 (): 197-214 (1999).
90. Vis, I.F.A., "Survey Of Research In The Design And Control Of Automated Guided Vehicle Systems", ***European Journal Of Operational Research***, 170 (3): 677-709 (2006).
91. Vis, I.F.A., De Koster, R., Roodbergen, K.J., "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 (2001).
92. Yang, J., Jaillet, P., Mahmassani, H., "Real-Time Multi-Vehicle Truckload Pickup And Delivery Problems", ***Transportation Science*** , 38 (2): 135 - 148 (2004).
93. Yu, W., Egbelu, P.J., "Design Of A Variable Path Tandem Layout For Automated Guided Vehicle Systems", ***Journal Of Manufacturing Systems***, 20 (5): 305-319 (2001).
94. Zeng, L., Wang, H.P.B., Jin, S., "Conflict Detection Of Automated Guided Vehicles: A Petri Net Approach", ***International Journal Of Production Research***, 29 (5): 865-879 (1991).

EKLER

EK 1 AGV görevlendirme kodları

```

treenode traveler = parnode(1);
treenode current = ownerobject(c);
int toedge = parval(2); //the number of the edge that the traveler is going to
next
int fromedge = parval(3); // the number of the edge the traveler came from

if(fromedge == 2)
{
setrot(traveler,0,0,270);
treenode malzeme = first(cikis);
int tip = getitemtype(malzeme);

treenode hedef = bufferlar[tip];
treenode ts = createemptytasksequence(traveler,0,0);
inserttask(ts, TASKTYPE_TRAVEL, cikis);           //Malzeme      yükleme
noktasına seyahat et
inserttask(ts, TASKTYPE_LOAD, malzeme, cikis);    //Malzemeyi yükle
inserttask(ts, TASKTYPE_TRAVEL, hedef);           //İş istasyonuna git
inserttask(ts, TASKTYPE_UNLOAD, malzeme, hedef);  //Malzemeyi
boşalt
inserttask(ts, TASKTYPE_TRAVEL, yukleme);         //Görev      bekleme
noktasına geri dön
dispatchtasksequence(ts);
}

```

EK 2 AS/RS'den malzeme talep etme kodları

```

treenode malzeme;
for(int tip=1;tip<=10;tip++) /** Her tip için talep sistemini çalıştır.*/
{
    if(arastoklar[tip]<emniyetstoklari[tip])
    {
        rafno = duniform(1,8);
        for(int sıra=1;sıra<=100;sıra++)
        {
            malzeme = rank(raflar[rafno],sıra); /** Alınması muhtemel
malzemeye referans al */
            if(getlabelnum(malzeme,1) == 1)
            {
                break;
            }
        }

        releaseitem(malzeme); /** Malzemeyi talep et */
        setlabelnum(malzeme,1,2); /** Malzemeyi talep edildi olarak
işaretle */
        setlabelnum(malzeme,2,kapasite[tip]);
        setitemtype(malzeme,tip);
        colorarray(malzeme,tip);
        arastoklar[tip] = arastoklar[tip] + kapasite[tip]; /** Stoğu arttır */
    }
}

```

EK 3 AGV çakışmalarını kontrol eden kodlar

```
treenode thisobject=ownerobject(c);
treenode otherobject=parnode(1);
treenode thissphere=parnode(2);
treenode othersphere=parnode(3);
```

```
double zrot1 = zrot(thisobject);
double xloc1 = xloc(thisobject);
double xloc2 = xloc(otherobject);
double yloc1 = yloc(thisobject);
double yloc2 = yloc(otherobject);
```

```
int front = 0;
```

```
if(zrot1 >= 0 && zrot1 < 45)
```

```
{
    if(xloc1 > xloc2)
    {
        front = 1;
    }
}
```

```
else if(zrot1 >= 45 && zrot1 < 135)
```

```
{
    if(yloc1 > yloc2)
    {
        front = 1;
    }
}
```


EK 3 (Devam) AGV çakışmalarını kontrol eden kodlar

```
else if(zrot1 >= 135 && zrot1 < 225)
{
    if(xloc1 < xloc2)
    {
        front = 1;
    }
}

else if(zrot1 >= 225 && zrot1 < 315)
{
    if(yloc1 < yloc2)
    {
        front = 1;
    }
}

else if(zrot1 >= 315)
{
    if(xloc1 > xloc2)
    {
        front = 1;
    }
}

else if(zrot1 <= -135 && zrot1 >= -225)
{
    if(xloc1 < xloc2)
    {
        front = 1;
    }
}
```

EK 3 (Devam) AGV çakışmalarını kontrol eden kodlar

```
else if(zrot1 <= -45 && zrot1 > -135)
```

```
{
    if(yloc1 < yloc2)
    {
        front = 1;
    }
}
```

```
else if(zrot1 < 0 && zrot1 > -45)
```

```
{
    if(xloc1 > xloc2)
    {
        front = 1;
    }
}
```

```
if(front == 0)
```

```
{
    createdelaytask(thisobject,0.3,1,0,1);
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KORÇAK, Enver Burak
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 28.04.1984 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 286 65 33
 Faks : 0 (312) 285 07 18
 e-mail : enverburak@gmail.com

Eğitim

Derece

Lisans

Lise

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh.

Çağrıbey Anadolu Lisesi

Mezuniyet tarihi

2005

2001

İş Deneyimi

Yıl

2005-2007

2007-2010

Yer

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi

TRSİM Ltd. Şti.

Görev

Üretim Mühendisi

Kurucu Ortak

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Korçak, E.B., Şenses, E.U., Sunar, O., Erol, S., Taplamacıoğlu, M.C., Gemalman, N., “Seri Üretim Bandında Robot Kolu İle Malzeme Sınıflandırma Ve Depolama Otomasyonu”, Endüstri Otomasyon Dergisi, Sayfa 2426, 2008.

Hobiler

Uzun yol bisiklet turları, formula 1, karting, snooker, fotoğraf, sinema, bilgisayar oyunları.