

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**MOBİL ROBOTLARLA YAPILAN SİPARİŞ TOPLAMA
OPERASYONLARININ SİMÜLASYON İLE
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

Tuba KOÇER

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR

MANİSA–2023

**TUBA
KOÇER**

**MOBİL ROBOTLARLA YAPILAN SİPARİŞ TOPLAMA
OPERASYONLARININ SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

İmza
Tuba KOÇER



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Mobil Robotlarla Yapılan Sipariş Toplama Operasyonlarının Simülasyon ile Modellenmesi ve Analizi

Tuba KOÇER

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR

Teknolojinin gelişmesi ve tüm pazarlarda firma sayısının artması ile birlikte, firmalar hem tedarik zinciri süreçlerini kolaylaştırmak hem de rakiplerinden sıyrılmak için çeşitli hamleler yapmaktadır. Depolama, tedarik zincirinin önemli bir parçasıdır ve teslim alma, istifleme, sipariş toplama, paketleme vb. depo operasyonlarının verimli yönetimini gerektirmektedir. Öte yandan, sipariş toplama depolar için en önemli operasyonlardan biridir ve tedarik zinciri performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Sipariş toplama operasyonlarında verimliliği artırmak için başvurulmuş uygulamaların önemli bir bölümünü otomasyona dayalı sistemler oluşturmaktadır. Mobil robotlar otomatik sistemlerin vazgeçilmez bir bileşenidir ve insanlarla işbirliği yapabilme özelliği sayesinde çalışma ortamında uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Öte yandan, bu robotların yatırım maliyeti yüksek olduğundan verimli bir şekilde kullanılmaları firmalar için oldukça önemli bir konudur.

Bu çalışmada bir e-ticaret firmasına ait hipotetik bir depo sistemi ele alınarak mobil robotların sipariş toplama süreçlerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, ele alınan sistemin simülasyon modeli Arena programı kullanılarak oluşturulmuş ve çeşitli robot atama politikaları için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, mobil robotların katettiği mesafeye bağlı olarak şarj seviyelerinin azalması ve şarj seviyesinin belli bir değere düşmesiyle robotların şarj istasyonuna yönlendirilerek şarj edilmesi kısıtı dikkate alınmıştır. Ortalama akış süresi performans ölçütü için robot atama politikası alternatifleri değerlendirilerek farklı sistem karakteristiklerine yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depolama, Sipariş Toplama, Otomasyon, Mobil Robot, Simülasyon

2023, 61 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Tuba KOÇER

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hülya GÜÇDEMİR

With the development of technology and the increase in the number of companies in all markets, companies make various moves both to facilitate their supply chain processes and to stand out from their competitors. Warehousing is an essential part of a supply chain and it requires efficient management of warehouse operations such as receiving, storage, picking, packing etc. On the other hand, order picking is one of the most important operation for warehouses and it has a great impact on supply chain performance.

Automation-based systems constitute an important part of the applications used to increase efficiency in order picking operations. Mobile robots are an essential component in automated systems and they provide ease of application in the workplace with its ability to cooperate with humans. On the other hand, the efficient use of these robots is an important issue for companies since the initial cost is high.

In this study, a hypothetical warehouse system of an e-commerce company is considered and the effect of mobile robots on order picking processes is investigated. In this context, simulation model of the system under-concern is developed using Arena software and analyzes are performed for various robot allocation policies. One of the most important aspects of this study is that it takes into account the charge levels of the robots. In the developed model, charge levels of the robots decrease depending on the distance they traveled and when the charge level of a robot drops to a certain value, the robot is directed to the charging station to be charged. Robot allocation alternatives are evaluated for mean flow time performance measure, and solutions are proposed for different system characteristics.

Keywords: Warehousing, Order Picking, Automation, Mobile Robot, Simulation

2023, 61 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, bir e-ticaret firmasına ait hipotetik bir depo sistemi ele alınarak mobil robotların sipariş toplama süreçlerindeki etkisi simülasyon modelleme ile araştırılmıştır. Bu kapsamda, robotların şarj seviyelerinin kontrolü de dikkate alınarak farklı robot atama politikalarının ortalama akış süresi üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve farklı sistem karakteristiklerine yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde, depo yönetimi, depo operasyonları ve sipariş toplama üzerine genel bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde, sipariş toplama operasyonlarında robot kullanımı üzerine yapılan literatür araştırmasına yer verilmiştir. Tez çalışması kapsamında ele alınan hipotetik depo sistemine ilişkin karakteristikler ve çözüm yöntemi olarak kullanılan simülasyon modellemeye ilişkin bilgiler üçüncü bölümde sunulmuştur. Dördüncü bölümde, robot atama politikalarına ilişkin oluşturulan simülasyon modelleri açıklanmış, modellerin doğrulanmasına yönelik yürütülen çalışmalar sunulmuş ve modellerin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Modellerin çalıştırılması ile edilen çıktıların istatistiksel olarak değerlendirilmesi ise beşinci bölümde sunulmuştur. Son olarak, altıncı bölümde çalışmaya dair elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmamın her aşamasında bana destek olup bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR'e ve öğretileriyle beni iş hayatına hazırlayan tüm hocalarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen, cesaret veren ve hep yanımda olan kıymetli aileme yürekten teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecimde destekleri bulunan ve çalışma konuma ilham kaynağı olan Bottobo Robotik ve Yapay Teknolojileri Anonim Şirketi'ne ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tuba KOÇER

Manisa, 2023

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGV	otomatik yönlendirmeli araç
AMR	otonom mobil robot
AS/RS	otomatik depolama ve geri alma sistemi
dk	dakika
ERP	kurumsal kaynak planlama
expo	eksponansiyel (üstel)
m	metre
RFID	radyo frekansı ile tanımlama



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tipik depo fonksiyonları ve iş akışları	5
Şekil 1.2. Sipariş toplama işlemindeki zaman dağılımı	6
Şekil 1.3. Depo maliyetlerinin operasyonlara göre dağılımı	6
Şekil 1.4. Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması	8
Şekil 1.5. Sipariş toplama operasyonlarında araç rotalama politikaları	11
Şekil 4.1. Model I iş akış şeması	23
Şekil 4.2. Şarj süreci iş akış şeması	24
Şekil 4.3. Model II iş akış şeması	25
Şekil 4.4. Model III iş akış şeması	26
Şekil 4.5. Model I Gantt şeması	28
Şekil 4.6. Model II Gantt şeması	29
Şekil 4.7. Model III Gantt şeması	30
Şekil 5.1. Model I- expo(63) ısınma periyodu grafiği	32
Şekil 5.2. Model I- expo(72) ısınma periyodu grafiği	32
Şekil 5.3. Model I- expo(81) ısınma periyodu grafiği	32
Şekil 5.4. Model II- expo(63) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.5. Model II- expo(72) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.6. Model II- expo(81) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.7. Model III- expo(63) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.8. Model III- expo(72) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.9. Model III- expo(81) ısınma periyodu grafiği	33
Şekil 5.10. Model I- expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	37
Şekil 5.11. Model I- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	37
Şekil 5.12. Model I- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	37
Şekil 5.13. Model II expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	38
Şekil 5.14. Model II- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	38
Şekil 5.15. Model II- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	38
Şekil 5.16. Model III- expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	38
Şekil 5.17. Model III- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	39
Şekil 5.18. Model III- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı	39
Şekil 5.19. expo(63) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	40
Şekil 5.20. expo(63) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	40
Şekil 5.21. expo(63) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	41
Şekil 5.22. expo(72) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	41
Şekil 5.23. expo(72) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	41
Şekil 5.24. expo(72) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	41
Şekil 5.25. expo(81) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	42
Şekil 5.26. expo(81) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması	42

Şekil 5.27. expo(81) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması

42



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Literatür araştırması özet tablo	13
Tablo 4.1. İstasyonlar arası mesafe matrisi	21
Tablo 4.2. Model I doğrulama verileri	27
Tablo 4.3. Model II ve Model III doğrulama verileri	27
Tablo 4.4. Sipariş geliş sıklığına bağlı robot faydalı kullanım oranları	31
Tablo 4.5. Farklı sipariş geliş sıklıkları için elde edilen sonuçlar	35
Tablo 5.1. Ortalama akış süresi için oluşturulan 95% güven aralığı değerleri	37
Tablo 5.2. Ortalama akış süresi için eşleştirilmiş örneklem t testi sonuçları	40

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLolar DİZİNİ	VII

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Depo Yönetimi	1
1.1.1. Depo Operasyonları	3
1.1.2. Depolarda Malzeme ve İş Akışı	4
1.2. Sipariş Toplama	5
1.2.1. Sipariş Toplama Stratejileri	7
1.2.2. Sipariş Toplama Sistemlerinin Sınıflandırılması	7
1.2.3. Sipariş Toplama Operasyonlarında Araç Rotalama Politikaları	9

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
-----------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Depo Sistemi Özellikleri	15
3.2. Simülasyon Modelleme ve Kullanım Alanları	15
3.3. Simülasyon Modelleme Yönteminin Sınıflandırılması	16
3.4. Simülasyon Modelleme Yönteminin Avantajları ve Zorlukları	17

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MOBİL ROBOTLARLA YAPILAN SİPARİŞ TOPLAMA OPERASYONLARININ SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ

4.1. Problem Tanımı	19
4.2. Model Kurulumu	22
4.3. Modellerin Doğrulanması	27

4.4. Hesaplamalı Analizler	31
4.4.1. Isınma Periyodunun Belirlenmesi	31
4.4.2. Modellerin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçlar	34

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Güven Aralığı Tahminlemesi	36
5.2. Eşleştirilmiş Örneklem t-Testi ile Modellerin Karşılaştırılması	39

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	44
EKLER	48
EK A. Model I Mod. Dosyası	48
EK B. Model I Exp. Dosyası	49
EK C. Model II Mod. Dosyası	52
EK D. Model II Exp. Dosyası	53
EK E. Model III Mod. Dosyası	57
EK F. Model III Exp. Dosyası	5

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle depo yönetimi, depolarda yürütülen temel operasyonlar ile depolarda malzeme ve iş akışları konularından söz edilmiştir. Ardından sipariş toplamada uygulanan stratejilere, çeşitli sipariş toplama sistemlerine ve sipariş toplama operasyonlarındaki araç rotalama politikalarına yer verilmiştir. Son olarak ise, sipariş toplama robotlarının depolardaki kullanımından bahsedilmiştir.

1.1. Depo Yönetimi

Depo yönetimi, bir depodaki operasyonları verimli bir şekilde organize etme ve kontrol etme sürecini ifade eder. Etkili depo yönetimi, işletmelerin operasyonlarını sorunsuz bir şekilde yürütmesi, maliyetlerini düşürmesi ve müşteri taleplerini karşılaması için oldukça önemlidir.

Günümüzde, depo yönetiminde süreçleri kolaylaştırmak ve otomatikleştirmek adına RFID, AS/RS, AGV, AMR ve depo yönetim sistemleri gibi çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Ayrıca, verimliliği artırmak ve israfı en aza indirmek için çapraz sevkiyat, tam zamanında envanter sistemi ve yalın ilkeler gibi stratejiler uygulanmaktadır. Bununla birlikte, depo personelinin uygun şekilde eğitilmesi ve denetlenmesi, operasyonların sorunsuz yürütülmesi ve hataların en aza indirgenmesi için gereklidir. Genel olarak depo yönetimi, tedarik zinciri yönetiminde hayati bir rol oynamakta ve bir şirketin karlılığını ve müşteri memnuniyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Depoların sahip olabildiği işlevler aşağıdaki gibi sıralanmıştır [1]:

- *Ürünlerin geçici şekilde depolanması:* Üretim, nakliyat ve ürünlerin işlenmesinde ölçek ekonomisine uyabilmek adına genellikle biten ürünlerin depolarda tutulması ve müşteri talebine göre depodan çekilmesi şeklinde gerçekleşir.

- *Müşteri siparişlerini birleştirme:* Her bir müşteri siparişindeki ürünün toplanıp bir araya getirilmesinin ardından toplanan siparişler müşteriye ulaştırılır.
- *Müşteri hizmet merkezi fonksiyonu:* Ürünün bozuk olması, hatalı üretilmesi ya da üretiminden ulaşımına kadar geçen süreçte zarar görmesi halinde sorun yaşayan müşteriler ürün değişimi talebinde bulunduğunda bu depolar talep edilen hizmeti yerine getirebilmektedir. Bazı şirketler depolarında ürünlerinin bakım ve onarımını gerçekleştirmektedir.
- *Ürün muhafazası:* Depolamada ürün çeşidine uygun ortam koşulları oluşturulmalıdır. Ürünler yangın, sel vb. doğal afetlerden korunur, ürün patlayıcı tehlikeli madde ise işaret tabelalarıyla uyarılarda bulunulur veya herhangi bir hırsızlık vakasına karşı güvende tutulur.
- *Tehlikeli atık ve ürünlerin ayrı tutulması:* Tehlikeli atık ve ürünlerin üretim alanında tutulması risk oluşturduğu takdirde bu atık ve ürünlerin yerleştirildiği depolardır.
- *Katma değer hizmetleri:* Ürünlere etiket ve barkodların basılması, paketlenmesi, ürünlerin montaj işlemlerinin yapılması gibi hizmetler de depolarda gerçekleştirilmektedir.
- *Stok alanı olarak kullanım:* Ürün taleplerinde belirsizlik yaşanan işletmelerde talep tahmininin zorlaşması nedeniyle ürün stoklayan işletmeler depolarını stok alanı olarak kullanabilirler.

İşletmelerin farklı ihtiyaçlarına bağlı olarak birden fazla amaca hizmet edebilen depolar, tasarım ve işlevselliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [2].

- *Dağıtım Merkezleri:* Bu depolar, ürünlerin müşterilere verimli bir şekilde dağıtılmasını kolaylaştırmak için stratejik olarak konumlandırılmıştır. Genelde büyük hacimli ürünleri kontrol ederek sipariş karşılama ve zamanında teslimata odaklanırlar.
- *Sipariş Karşılama Merkezleri:* Sipariş karşılama merkezleri, e-ticaret operasyonlarını yürütmek için özel olarak tasarlanmıştır. Çevrimiçi siparişleri hızlı ve doğru bir şekilde işlemek için ileri teknoloji ve otomasyon sistemleri ile donatılmıştır.

- *Soğuk Hava Depoları:* Belirli sıcaklık ve nem kontrolü gerektiren gıda, ilaç ve kimyasallar gibi çabuk bozulabilen ürünleri depolamak için tasarlanmıştır. İstenen koşulları korumak için soğutma sistemleri bulunmaktadır.
- *Üretim Depoları:* Bu depolar üretim tesislerinin yakınında yer alır ve hammaddeleri, bileşenleri ve bitmiş ürünleri depolamak için kullanılır. Malzemelerin tedarik edilmesini ve bitmiş ürünlerin verimli bir şekilde depolanmasını sağlayarak üretim sürecini destekler.
- *Gümrüklü Depolar:* Gümrüklü antrepolar, ithal edilen malların gümrükten çekilmeden önce depolanması için hükümet tarafından yetkilendirilir ve güvenli bir depolama tesisi sağlar.
- *Otomatik Depolar:* Depo süreçlerini optimize etmek için robotik, konveyör sistemleri ve AS/RS gibi gelişmiş otomasyon teknolojilerini kullanır.

1.1.1. Depo Operasyonları

Depo operasyonları, bir depo tesisinin yönetimi ve organizasyonu ile ilgili tüm işlemleri ve süreçleri kapsar. Gelen ürünlerin alınması ve incelenmesi, ürünlerin depolanması ve düzenlenmesi, siparişlerin toplanması ve paketlenmesi ve ürünlerin müşterilere gönderilmesi bu operasyonlardandır. Depo operasyonları, envanter maliyetlerini en aza indirmek, siparişlerin zamanında ve doğru bir şekilde teslim edilmesini sağlamak ve tedarik zinciri performansını optimize etmek için oldukça önemlidir. Depo yönetim sistemleri ve otomasyon teknolojileri depo operasyonlarını daha verimli hale getirmektedir. Depo operasyonları ürün akışına paralel olarak şu süreçlerden oluşmaktadır [3].

- *Ürün kabul:* Tedarikçilerden gelen ürünlerin depo rampalarında ya da deponun dışında kalan alanlarda boşaltılarak depoya kabulüdür. Ürünlerin nakliye firmasının sorumlusuna teslimi ambar tesellüm fişi düzenlenerek gerçekleştirilir.
- *Raf Düzenlemesi ve Ürünlerin Yerleştirilmesi:* Kabulü yapılan ürünlerin depo dışından ya da yükleme/boşaltma alanından depoda bulunan raflara ya da blok halde tutulacak alanlara yerleştirilmesidir.
- *Depolama:* Ürünlerin deponun raflarında veya zemininde bekletildiği süreçtir.

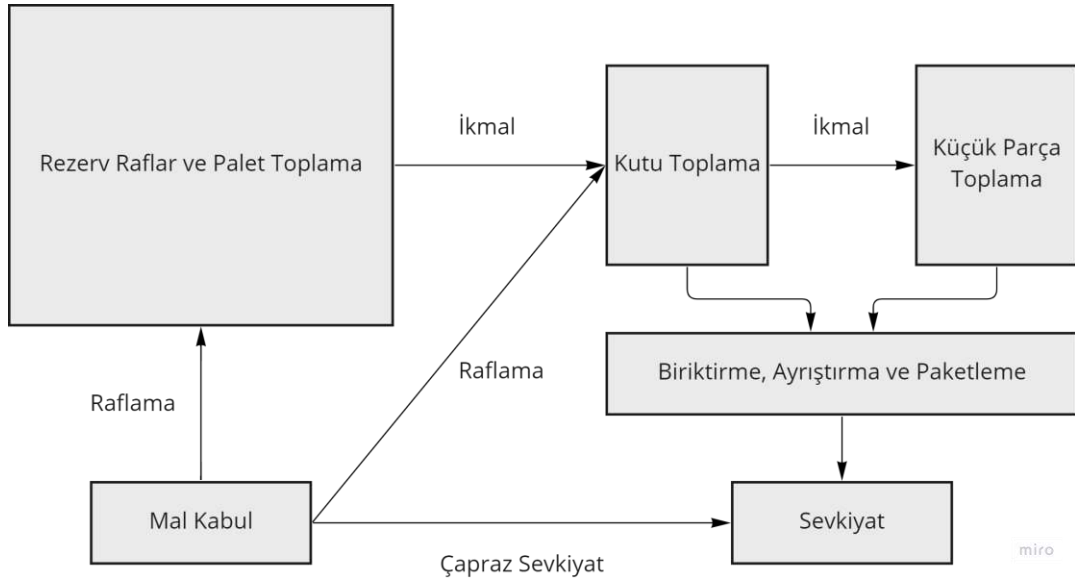
- *İkmal:* Palet toplama alanında ve paletlerde tutulan ürünlerin kutularla toplanmak suretiyle kutu toplama alanına ya da küçük parçalar halinde toplamak için küçük parça toplama alanına ikmalidir.
- *Sipariş toplama:* Bir siparişin teslimatına yönelik sürecin depoda gerçekleşen kısımlarından biridir. Müşteriden gelen siparişteki ürünler depoda bulundukları lokasyonlara göre çeşitli yerlerden toplanarak biriktirme, ayrıştırma ve paketleme işlemlerine hazır hale getirilir.
- *Biriktirme, ayrıştırma ve paketleme:* Sipariş toplama sürecinde toplanan ürünlerin siparişi tamamlamak üzere biriktirilmesi, her bir ürünün ait olduğu siparişe ayrıştırılması ve sipariş kutularının paketlenmesidir.
- *Sevkiyat:* Siparişin depodan müşteriye teslimatı için araçlara yüklenmesidir.

1.1.2. Depolarda Malzeme ve İş Akışı

Depo operasyonlarında malzeme akışı ve iş akışı, tesisin verimliliğini ve üretkenliğini belirleyen önemli unsurlardır. Malzeme akışı, malzemelerin teslim alınmasından depolanmasına, toplanmasına, paketlenmesine ve sevkiyatına kadar depo içindeki hareketini ifade eder. Envanterin doğru şekilde düzenlenmesini, uygun depolama sistemlerinin kullanılmasını ve verimli nakliye yöntemlerinin uygulanmasını içerir.

İş akışı, operasyonları sorunsuz şekilde gerçekleştirmek için depoda yerine getirilmesi gereken görev ve faaliyetlerin sırasını ifade eder. Bu görev ve faaliyetler, gelen sevkiyatların alınması ve incelenmesini, ürünlerin belirlenen yerlerde depolanmasını, siparişlerin doğru ve verimli bir şekilde toplanmasını, ürünlerin güvenli bir şekilde paketlenmesini ve zamanında sevk edilmesini içerir. Tipik depo fonksiyonları ve iş akışları Şekil 1.1’de verilmiştir.

Öte yandan depolardaki malzeme ve iş akışını optimize etmek için, gezinme mesafelerini en aza indirmeyi hedefleyen iyi tasarlanmış bir düzen uygulamak, barkod tarama ve otomasyon sistemleri gibi teknolojilerden yararlanmak ve her görev için açıkça tanımlanmış işletim prosedürleri oluşturmak gibi çeşitli stratejiler kullanılmaktadır.



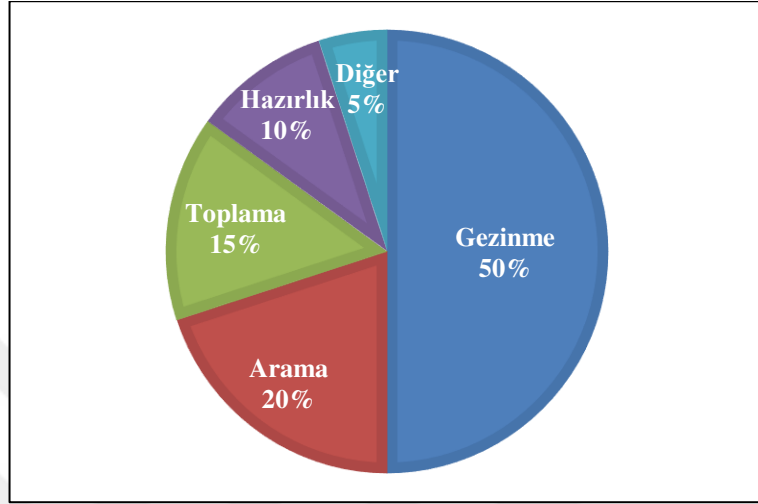
Şekil 1.1. Tipik depo fonksiyonları ve iş akışları [4]

1.2. Sipariş Toplama

Sipariş toplama operasyonları müşterilerin sipariş verilerinin şirketlerin ERP sistemine gelmesiyle başlayan, siparişlerin içerdiği ürünlerin depoların çeşitli noktalarında bulunan raflardan toplanarak birleştirme, ayırıştırma ve paketleme süreçlerine hazır hale getirildiği faaliyetlerdir. Tedarik zincirinde özellikle lojistik hizmeti veren şirketlerin yönettiği depolarda siparişlerin toplanmasında; siparişlerin gruplanması ve belirli bir sırayla toplanarak biriktirme noktasına getirilmesi olmak üzere iki temel aşama bulunmaktadır [5].

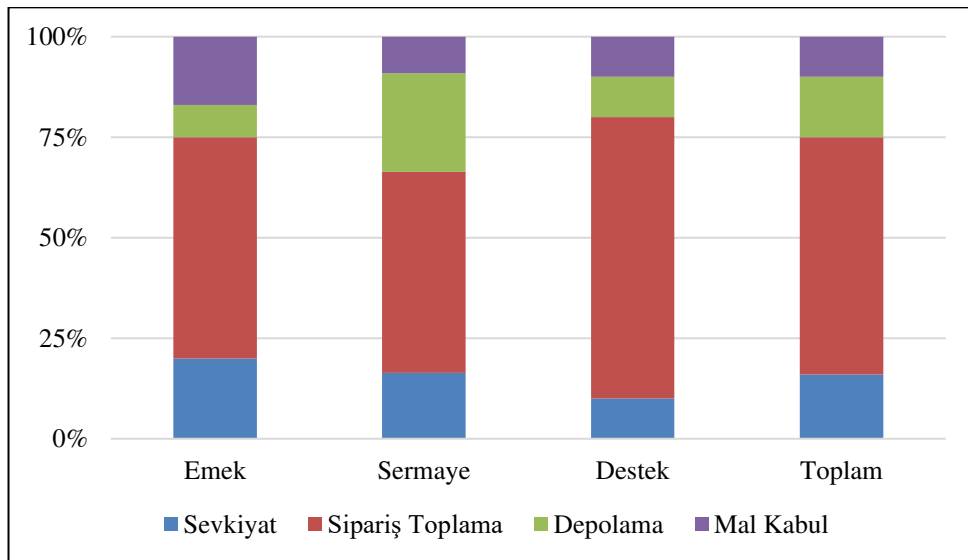
Depolarda ve dağıtım merkezlerinde gerçekleşen sipariş toplama süreçleri personel operasyonlarının 60%'a yakın bölümünü oluşturmaktadır [6]. Bununla birlikte operasyonel maliyetlerde 55%-65% gibi yüksek oranlarda payı bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sipariş toplama süreçlerinde yapılabilecek bir iyileştirmenin depo faaliyetlerindeki verimliliğin artırılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu süreçlerde iyileştirme sağlanmasında, sipariş toplama operasyonlarında geçen sürelerin minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Toplam sipariş toplama süresi, toplanacak ürünlere ait sipariş listelerinin temin ediliş süresi, ürünlerin toplanması için gidilecek lokasyonlara varış süresi, ürünlerin bulundukları lokasyonlardan toplanma süresi ve ürünleri boşaltmak üzere gereken süre gibi çeşitli sürelerle ayrılmıştır [7].

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi, ürünleri bulundukları lokasyonlardan toplamak üzere yapılan depo içindeki gezinme faaliyetleri sipariş toplama sürecinin en çok zaman harcanan aşamasıdır. Bu nedenle, gezinme faaliyetlerinde yapılabilecek iyileştirmeler süreci doğrudan olumlu yönde etkileyebilecek bir öneme sahiptir.



Şekil 1.2. Sipariş toplama işlemindeki zaman dağılımı [4]

Öte yandan, depolarda gerçekleştirilen operasyonlarda maliyet unsuru da oldukça önem taşımaktadır. Şekil 1.3’de yer alan grafik incelendiğinde, sipariş toplama maliyetinin toplam depo maliyeti içerisindeki payının diğer operasyonlara kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3. Depo maliyetlerinin operasyonlara göre dağılımı [8]

1.2.1. Sipariş Toplama Stratejileri

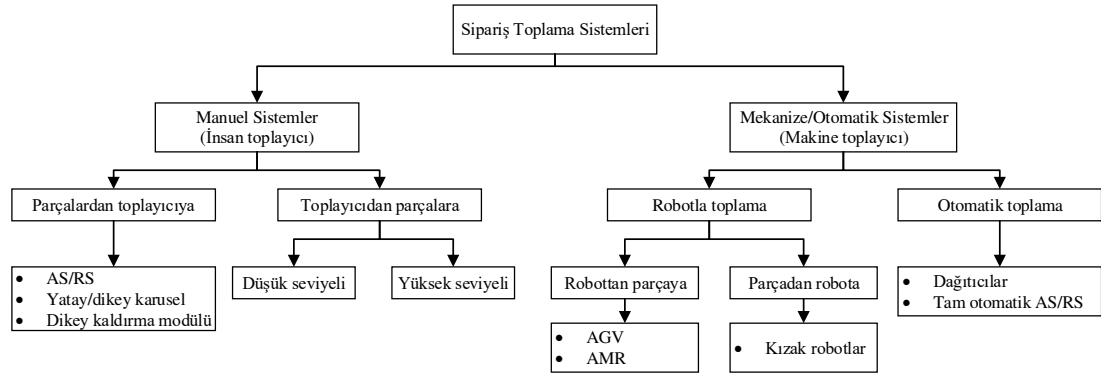
Sipariş toplama, müşterilerden gelen siparişlerdeki ürünlerin depo personelleri ya da depoda kullanılan sipariş toplama araçları tarafından toplanmak üzere depolama alanlarına gidilmesi olarak tanımlanabilir. Sipariş toplamada, ayrık toplama (discrete picking), bölgesel toplama (zone picking), dalgalı toplama (wave picking), grup toplama (batch picking) ve insan zinciri toplama (bucket brigade picking) gibi pek çok farklı strateji izlenebilmektedir [9].

- *Ayrık toplama (Discrete Picking)*: Gerçek zamanlı işlemlerde yaygın olarak kullanılan bu stratejide tek bir müşterinin siparişindeki ürünler toplanana kadar başka bir siparişin ürünü toplanmaz. Bir toplayıcı tarafından aynı anda tek bir siparişin yönlendirilmesi nedeniyle basit ve güvenilirdir [10].
- *Bölgesel Toplama (Zone Picking)* : Bu stratejide toplayıcılar depoda belirlenmiş sipariş toplama bölgelerine atanarak atandıkları bölgelerde bulunan ürünlerden sorumlu tutulur [11].
- *Dalgalı Toplama (Wave Picking)*: Dalga halinde gruplanan siparişlerin bir grup toplayıcı tarafından her bir partinin bir toplayıcıyla toplanması kaydıyla aynı anda toplandığı sipariş toplama stratejisidir [12].
- *Grup Toplama (Batch Picking)*: Toplayıcıların birçok siparişi gruplayarak bir toplama turu süresince birden fazla sipariş topladıkları stratejidir [13].
- *İnsan Zinciri Toplama (Bucket Brigade Picking)*: Siparişi verilen bir ürünün sipariş toplama sürecinde aşama aşama depo personelleri tarafından toplanmasını yönetme amacıyla süreçteki her bir personelin aşağıya doğru bir diğer personelin teslim almasına kadar gerekli işlemleri yapması ve yukarıya doğru önceki personelin yeni bir ürünü teslim almasıdır [14].

1.2.2. Sipariş Toplama Sistemlerinin Sınıflandırılması

Depolarda sipariş toplama sistemleri ürünlerin kim tarafından toplandığına (insan/makine), sipariş toplanan alanda nelerin hareket halinde olduğuna (toplayıcılar/parçalar), sipariş toplanan alanlar arasında bulunan malzeme aktarma sistemlerine (konveyör, karosel vb.) ve hangi sipariş toplama yönteminin

uygulandığına göre farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda sipariş toplama sistemleri Şekil 1.4’de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 1.4. Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması [15, 16]

Sipariş toplama sistemleri temel olarak manuel sistemler ve mekanize/otomatik sistemler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Manuel sistemlerde insan toplayıcılar tamamen veya kısmen sipariş toplama sürecine dahil olurken, mekanize/otomatik sistemlerde insan toplayıcılar yer almamaktadır. Manuel sistemlerde parçalardan toplayıcıya ve toplayıcıdan parçalara şeklinde iki tür toplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Parçalardan toplayıcıya sistemi kısmen otomatik sistem olup, ürünler depo alanından otomatik bir cihaz ile insan toplayıcıların toplama ve paketlenme yaptığı toplama istasyonuna getirilmektedir [17]. Toplayıcıdan parçalara sisteminde bireysel olarak ya da bir araçla birlikte ürünler depo alanından toplanmaktadır. Bu sistem düşük seviyeli ve yüksek seviyeli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [18]. Düşük seviyeli sistemlerde ürünler kutu, sele ve raf gibi alanlardan koridorlar boyunca hareket halinde olan toplayıcılar tarafından manuel olarak toplanır. Yüksek seviyeli sistemlerde toplayıcının ulaşamayacağı yükseklikte bulunan raf ve toplama alanlarında bulunan ürünlere vinç vb. bir araç yardımıyla erişilmektedir.

Mekanize/otomatik sipariş toplama sistemlerinde, sipariş toplayıcı olarak insan yerine tam otomatik robot, makine, konveyör vb. sistemlerden oluşan bilgisayarla bütünleşik bir düzen kullanılmaktadır. Genellikle deformasyona açık, pahalı ve küçük boyutlu ürünlerin toplanması halinde kullanılan bu sistemler, ürünleri toplarken gösterdikleri hassasiyet ve toplama hızlarının insanlara göre üstün olması gibi avantajlarıyla birlikte ciddi ölçüde yatırım maliyeti ve yönetme kabiliyeti

gerektirmektedir. Mekanize sistemler robotla toplama ve otomatik toplama sistemleri olarak iki kategoride değerlendirilebilmektedir.

Günümüzde, robotik sistemler az yer kaplamaları, değişen talep gereksinimlerini yönetmede esneklik sağlamaları ve 7/24 çalışabilmeleri gibi özellikleri sayesinde depolarda tercih edilir hale gelmiştir. Öte yandan, depolarda sipariş toplama robotlarının kullanılması önemli ölçüde insan gücü tasarrufu sağlamakta ve verimliliği artırmaktadır [19]. Robotik toplayıcılar, hareket kabiliyetlerine göre serbest bir şekilde ya da tanımlanmış bir yol üzerinde hareket ederek ürünleri doğrudan veya insan işbirliğiyle toplayabilmektedir. Ayrıca, nesne algılama ve poz tahminine yardımcı olmak için sensörlerle donatılabilmekte ve robotik ellerle birlikte kullanılabilir [20]. Robotla sipariş toplama işlemleri robottan parçalara ve parçalardan robota olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Robottan parçalara sistemi depolama alanlarına giden ve ürünleri toplayan mobil robotları, parçalardan robota sistemi ise bir toplama istasyonunda toplama ve paketleme işlemlerini gerçekleştiren robotları içermektedir [16].

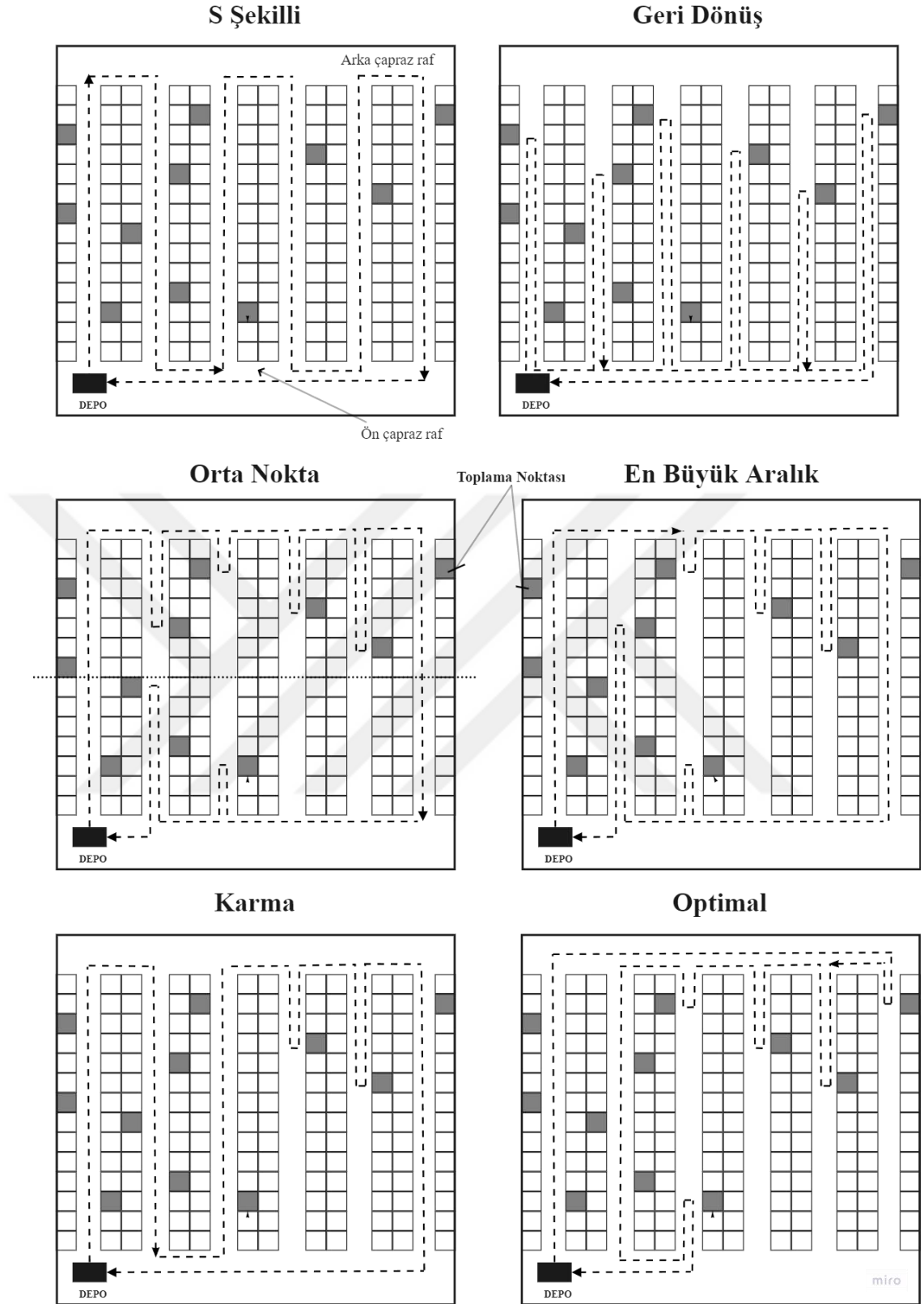
Son olarak, toplayıcının olmadığı tam otomatik sistemlerde ise sipariş toplama işlemi hiçbir insan veya robot bulundurulmaksızın dağıtıcı araçlarla gerçekleştirilmektedir [15].

1.2.3. Sipariş Toplama Operasyonlarında Araç Rotalama Politikaları

Sipariş toplama operasyonlarında araç rotalama, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde kritik bir problem olarak değerlendirilmiş ve bu amaç doğrultusunda araçların bir depodan siparişleri alması ve belirli zaman dilimlerinde müşterilere teslim etmesi için tasarlanan altı verimli araç rotalama politikası incelenmiştir. İlgili araç rotalama politikaları ayrıca Şekil 1.5’de görsel olarak ifade edilmiştir.

- *S Şekilli Rotalama Politikası:* Siparişler içinde olan en az bir ürünün bulunduğu koridor boyunca dolaşarak ürünlerin toplandığı bu rotalama politikasında ürün toplanmayacak koridorlara girilmemektedir. Toplayıcı işlemini son ürünü topladıktan sonra koridorun ön kısmından çıkarak tamamlar. S şekilli rotalama depolarda en çok uygulanan rotalama politikasıdır [21] .

- *Geri Dönüş Rotalama Politikası:* Sipariş toplayıcıların siparişlerde bulunan ürünleri içeren koridorlara giriş ve çıkışlarını hep aynı taraftan yaptığı, uygulama kolaylığı olan rota belirleme politikalarından biridir [22].
- *Orta Nokta Politikası:* Orta nokta stratejisinde depo eşit olarak iki bölgeye ayrılır. Deponun ön bölgesindeki ürünler rafın önünden, arka bölgedeki ürünler ise rafın arkasından alınır. Toplayıcı, deponun ön bölgesinden geçtiği ilk veya son koridordan arka bölgeye geçer [23].
- *En Büyük Aralık Politikası:* Geleneksel çok sayıda paralel koridorlu bir depoda sipariş toplama için rotalama problemini optimize etmeye odaklanan bir sezgiseldir. Amaç, gezinme süresini en aza indirmek ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak için sipariş toplayıcıların izleyeceği en verimli rotayı belirlemektir. En büyük aralık politikası, özellikle depodaki öğelerin düzenini dikkate alır ve iki bitişik öğe arasındaki en büyük aralığı tanımlar [24].
- *Karma Politika:* Karma politika, S şekilli ve geri dönüş stratejilerini birleştirerek belli bir müşteri siparişine ait ürünlerin bulunduğu iki ardışık koridorda birbirinden en uzak ürünlerin konumları karşılaştırır. Birbirinden en uzak ürünlerin konumları arasındaki mesafe kat edilirken hem S şekilli hem de geri dönüş stratejilerine göre bir mesafe hesaplanır. Bu mesafelerden kısa olanı, ilgili yöntem kullanılarak bir sonraki koridora geçişte seçilir [25].
- *Optimal Politika:* Optimal politika deponun tasarımı, işleyişine dair özelliklere ve deponun hedeflerine bağlı olarak değişmektedir. Dengeli yönlendirme ve optimum verim stratejilerinin yanı sıra hem verim hem de gecikmeyi dikkate alan farklı politikalar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 1.5. Sipariş toplama operasyonlarında araç rotalama politikaları [21]

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle, robotik sistemlerin depolarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Depolarda gerçekleştirilen sipariş toplama faaliyeti, çeşitli operasyonel faktörlerden etkilenen karmaşık bir görevdir ve bu alanda robotların kullanımı işgücü tasarrufu ve verimlilik açısından büyük fayda sağlamaktadır [19]. Buradaki en önemli nokta ise, robot filosunun depo içerisinde koordine edilmesidir. Bu anlamda, robotların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacak görev tahsis algoritmalarının geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır [26].

Bu tez çalışmasında, mobil robotlar kullanılarak yürütülen sipariş toplama süreçlerinde performans iyileştirmesine yönelik bir simülasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın önemli noktalarından biri, mobil robotların şarj seviyelerinin katedilen mesafeye bağlı olarak düşmesi durumunun dikkate alınması ve şarj seviyesi belli bir eşik değere ulaştığında robotların şarj istasyonuna yönlendirilmesidir. Yapılan çalışmada, ortalama akış süresi performans ölçütü için robot atama politikaları simülasyon modelleme ile değerlendirilmiştir. Konuya yönelik yürütülen literatür araştırmasında robot kullanılarak gerçekleştirilen sipariş toplama operasyonlarını baz alan bilimsel çalışmalar ele alınmış ve bu çalışmalar sipariş karakteristikleri, şarj kısıtını dikkate alıp almadığı, kullanılan çözüm yöntemi ve ele alınan performans ölçütleri açısından Tablo 2.1’de görüldüğü şekilde değerlendirilmiştir.

Tablo 2.1’de yer alan çalışmalar incelendiğinde, ele alınan sistemlerde sipariş gelişlerinin ve sipariş miktarlarının stokastik (rassal) veya deterministik olabildiği görülmektedir. Günümüz koşullarında, bir siparişin ne zaman geleceğini, miktarının ve içeriğinin ne olacağını önceden bilmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, sipariş gelişlerinin ve sipariş miktarlarının rassal olarak belirleniyor olması, depo sistemlerinin daha gerçekçi kısıtlar altında değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Tablo 2.1. Literatür araştırması özet tablo

Referans	Sipariş gelişi	Sipariş miktarı	Şarj kısıtı	Amaç fonksiyonu	Karar değişkenleri	Çözüm yöntemi
[19]	ST	ST	Yok	Min D Max N	Sipariş toplama politikası	Derin takviyeli öğrenme
[26]	DT	ST	Yok	Min C	Robotlara görev atama politikası	Sezgisel algoritma
[27]	DT	DT	Yok	Min D	Robotlara görev atama politikası	Açgözlü algoritma, Tabu arama
[28]	ST	ST	Yok	Min M	Sipariş toplama politikası	Genetik algoritma
[29]	ST	ST	Yok	Min F	Sipariş toplama politikası	Simülasyon
[30]	DT	DT	Yok	Min M	Robotlara görev atama politikası	Sezgisel algoritma
[31]	ST	ST	Yok	Min C	Robotlara görev atama politikası	Stokastik dinamik programlama
[32]	DT	DT	Yok	Min D	Sipariş toplama politikası	Kümeleme analizi
[33]	ST	ST	Yok	Min C Max P	Robotlara görev atama politikası	Ayrık zamanlı doğrusal olmayan programlama
[34]	DT	DT	Yok	Min T	Sipariş toplama politikası	Derin takviyeli öğrenme
[35]	ST	ST	Yok	Min D	Robotlara görev atama politikası	Karma tamsayılı doğrusal programlama
[36]	DT	DT	Yok	Min Y Min T	Robotlara görev atama politikası	Tamsayılı programlama, Tabu arama, Tavlama benzetimi, Değişken komşu arama algoritması
[37]	ST	ST	Yok	Min C	Robotlara görev atama politikası	Sezgisel algoritma
[38]	ST	ST	Var	Max P	Kablosuz şarj sistemi seçimi	Olasılıksal modelleme
Bu çalışma	ST	ST	Var	Min F	Robotlara görev atama politikası	Simülasyon

Kısaltmalar:

ST: Stokastik, **DT:** Deterministik, **F:** Ortalama akış süresi, **N:** Tamamlanan sipariş miktarı, **C:** Toplam maliyet, **P:** Robot faydalı kullanım oranı, **M:** Tamamlanma süresi, **D:** Toplam katedilen mesafe, **Y:** Yükleme süresi, **T:** Termin süresi

Robotik sipariş toplama problemlerinde genel olarak verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve depolardaki robotik sipariş toplama sistemlerinin

performansını artırmak hedeflenmektedir. İncelenen çalışmalarda amaç fonksiyonu olarak genellikle toplam maliyetin minimizasyonu [26, 31, 33, 37], ortalama akış süresinin minimizasyonu [29], toplam katedilen mesafenin minimizasyonu [19, 27, 32, 35], sipariş tamamlanma süresinin minimizasyonu [28, 30], termin sürelerinin minimizasyonu [34, 36] ve tamamlanan sipariş miktarının maksimizasyonunun [19] esas alındığı görülmüştür.

Öte yandan, robotik sipariş toplama süreçlerini optimize etmek üzere pek çok farklı çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bunların arasında tabu arama [27, 36], genetik algoritma [28], tavlama benzetimi [36] gibi metasezgisel algoritmalar ile sezgisel yöntemler [26, 27, 30, 36, 37] ağırlıktadır. Bunun yanında, stokastik dinamik programlama [31], karma tamsayılı doğrusal programlama [35], tamsayılı programlama [36] vb. matematiksel modelleme yaklaşımları da kullanılmıştır. Ayrıca, simülasyon modelleme [29], derin takviyeli öğrenme [19, 34] ve olasılıksal modelleme [38] gibi farklı yöntemlere de yer verilmiştir.

Ele alınan çalışmalarda karar değişkeni olarak ise, robotlara görev atama kararları [26, 27, 30, 31, 33, 35, 36, 37], sipariş toplama politikasının oluşturulması [19, 28, 29, 32, 34] ve kablosuz şarj sistemi seçimi [38] göz önüne alınmıştır.

Robotik sipariş toplama sistemlerinde en önemli noktalardan biri ise robotların şarj seviyelerinin kontrolü ve şarj işlemlerinin planlanmasıdır. Literatür araştırması kapsamında incelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda bu kısıtın dikkate alınmadığı görülmektedir. Oysa ki, gerçek hayat problemlerinde robotların şarj seviyeleri azalmakta ve şarj işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Mevcut çalışmanın diğer çalışmalardan farklılaşan yönü, sipariş toplamada kullanılan robotların şarj seviyelerinin kontrol ediliyor ve şarj seviyesinin belirli bir eşik değerin altına düşmesiyle robotların şarj istasyonuna yönlendiriliyor olmasıdır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında bir e-ticaret firmasına ait hipotetik bir depo sistemi ele alınmış ve robot kullanılarak yürütülen sipariş toplama operasyonlarının performansı simülasyon modelleme yöntemi ile değerlendirilmiştir.

3.1. Depo Sistemi Özellikleri

Çalışmada ele alınan hipotetik depo sisteminde her seferinde tek bir siparişteki ürünleri toplayan (ayrık toplama stratejisi) iki adet mobil robot bulunmaktadır. Sipariş bilgileri ERP sistemine geldikten sonra depo yönetim sistemine gönderilmektedir. Siparişlerdeki ürünlerin depoda bulundukları konumlar depo yönetim sisteminde mevcuttur. Depo sistemindeki robotlar kendilerine atanan siparişteki tüm ürünleri topladıktan sonra son istasyon olan paketleme istasyonuna gitmektedir. Sipariş toplama süreci, robotların sisteme gelen yeni siparişleri toplamak üzere başlangıç noktasına geri dönmesiyle devam etmektedir. Şarj istasyonunun da bulunduğu sistemde, robotların şarj istasyonunda geçirdikleri süre haricindeki operasyonlar kesintisiz bir şekilde sürmektedir.

3.2. Simülasyon Modelleme Yöntemi ve Kullanım Alanları

Simülasyon modelleme, karmaşık sistemleri incelemek ve analiz etmek için çeşitli alanlarda kullanılan bir yöntemdir. Gerçek veya kurgulanan bir sistemin davranışını taklit ederek araştırmacıların farklı senaryolar ve değişkenlerle deney yapmasına olanak sağlamaktadır. Sistemi simüle eden araştırmacılar sistemin dinamikleri hakkında bilgi edinebilir, potansiyel sorunları belirleyebilir ve iyileştirme için farklı stratejileri test edebilirler. Simülasyon modellemesi ulaşım, üretim, finans ve sağlık gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Araştırmacıların saha deneylerine ihtiyaç duymadan farklı senaryoları keşfetmelerini sağladığından, karmaşık sistemleri incelemek için uygun maliyetli ve verimli bir araçtır. Bu nedenle simülasyon modellemesi, çeşitli sektörlerde karar verme ve problem çözme için sıklıkla kullanılmaktadır.

Simülasyon modelleme, çeşitli alanlarda kullanılan çok yönlü bir yöntemdir. Örnek olarak iyonların dinamik ve enerjik özelliklerini incelemek için moleküler dinamik simülasyonlarında uygulanmış [39], endüstri 4.0 bağlamında dijital ikiz konsepti ve otomatik endüstriyel süreçler modellenmiş [40], kentsel büyüme ve kalkınma konularında da simülasyon modelleme teknikleri kullanılmıştır [41]. Simülasyon modelleme, ulaşım sistemleri, taşıma sistemleri, üretim sistemleri, lojistik sistemleri ve ekolojik problemlerde de uygulama alanı bulmuştur [42]. Endüstriyel süreçler alanında, simülasyon modellemesi yarık jet çarpma ısı transferi süreçlerini incelemek için kullanılmıştır [43]. Ayrıca, elektromanyetik alanların neden olduğu mesleki tehlikeleri değerlendirmek [44], büyük ölçekli bulut bilişim hizmetlerinin performansını ölçmek [45] ve bina kabuğu malzemelerinin termal performansını doğrulamak için kullanılmıştır [46].

3.3. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Simülasyon modelleri statik ve dinamik, sürekli ve ayrık, deterministik ve stokastik olmak üzere 3 ayrı başlıkta incelenmektedir [47].

- *Statik ve Dinamik:* Statik modellerde zamanın doğal bir rolü bulunmamaktadır. Dinamik modellerin çalışma prensibi belli bir zaman aralığını baz almaktadır. Statik modeller sistemdeki belli bir zamanı gösterir. Bu sebeple operasyon içerikli modellerin çoğu dinamiktir.
- *Sürekli ve Ayrık:* Sürekli bir modelde, sistemin durumu değişkenlik göstermektedir. Ayrık bir modeldeyse parçaların belirli zamanlarda gelip gittiği, makinelerin belirli zamanlarda inip çıktığı ve işçilerin mola verdiği bir üretim sistemi gibi, zaman içinde yalnızca ayrı noktalarda değişim meydana gelebilir. Aynı modelde hem sürekli hem de ayrık değişim unsurları olabilir. Bunlar karma sürekli-ayrık modellerdir.
- *Deterministik ve Stokastik:* Rastgele girdisi olmayan modeller deterministik modellerdir. Stokastik modellerde en azından birkaç girdinin rastgele olması gerekmektedir. Bir model farklı bileşenlerde hem deterministik hem de stokastik girdilere sahip olabilir. Hangi unsurların deterministik veya stokastik olarak modelleneceği modellemenin gerçekçiliği ile ilgili konulardır.

3.4. Simülasyon Modellemenin Avantajları ve Zorlukları

Simülasyon modelleme, araştırmacıların karmaşık sistemleri ve doğrudan gözlemlenmesi zor veya pratik olmayan olguları incelemesine olanak tanır. Farklı senaryoların test ve analiz edilebildiği kontrollü bir ortam sağlayarak nedensel etkilerin belirlenmesine, kritik parametrelerin tahmin edilmesine ve altta yatan süreçler hakkında içgörü kazanılmasına yardımcı olur.

Simülasyon modelleme yöntemi, genellikle uygun maliyetli, zaman açısından etkin ve çeşitli alanlardaki sistemlerin davranışını anlamak ve tahmin etmek için değerli bir araçtır. Bununla birlikte yöntemin bazı zorlukları da bulunmaktadır. Birçok gerçek sistem kontrol edilemeyen ve rastgele girdilerden etkilendiğinden, simülasyon modellerinin çoğu stokastik girdi bileşenleri içerir ve bu durum model çıktılarının da rastgele olmasına neden olur. Bir kez stokastik simülasyon modeli çalıştırmak, bir kez rastgele bir fiziksel deney yapmaya benzetilmiştir. Hiçbir şey değiştirilmese bile bir dahaki sefere farklı bir durumla karşılaşılabilir.

Birçok simülasyonda, zaman dilimi uzadıkça, çalışma boyunca ortalaması alınan çoğu sonuç daha az değişiklik gösterme eğiliminde olacaktır. Fakat bunun gerçekleşmesi için ne kadar sürenin yeterli olduğunu belirlemek zor olabilmektedir. Ayrıca, ele alınan çalışma simülasyon modelinin belirli bir noktada durmasını gerektirebilir. Böyle durumlarda modeli daha uzun süre çalıştırmak uygun değildir. Bu nedenle, özellikle model için uygun zaman dilimi kısaysa, sonuçlardaki bu belirsizliği dikkate almak için simülasyon deneylerini tasarlama ve analiz etme konusunda dikkatli olmak gerekmektedir.

Öte yandan, simülasyon modelleme çalışmalarında ele alınan sistem karmaşıktıkça model kurulumu zorlaşacak, basitleştirici varsayımlar yapılması söz konusu olacak ve bu durum oluşturulan modelin sistemin geçerli bir temsili olmamasına sebebiyet verecektir [47]. Özellikle çok fonksiyonlu modellerin oluşturulmasında, kullanılacak simülasyon yazılımına dair programlama diline hakim olmak ve sisteme dair bileşenleri doğru şekilde modele dahil etmek oldukça önemli bir konudur.

Tüm bu bilgiler dikkate alındığında, tez çalışması kapsamında ele alınan hipotetik depo sistemi sipariş gelişleri ve sipariş miktarları gibi rassal bileşenler içerdiğinden ve farklı robot atama politikalarını gerçek sistem üzerinde test etmenin oldukça maliyetli olmasından dolayı robot atama politikalarının etkinliğinin simülasyon modelleme ile analiz edilmesinin uygun olacağı görüşüne varılmıştır. Bu sayede, hem saha deneylerine ihtiyaç duymadan sipariş toplamada farklı robot atama politikalarının etkinliği test edilebilecek hem de depo sistemine ilişkin rassal bileşenler gerçekçi bir şekilde ele alınabilecektir.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MOBİL ROBOTLARLA YAPILAN SİPARİŞ TOPLAMA OPERASYONLARININ SİMÜLASYON İLE MODELLENMESİ

4.1. Problem Tanımı

Bu tez çalışmasında bir e-ticaret firmasına ait hipotetik bir depo sistemi ele alınmış ve mobil robotlar ile yürütülen sipariş toplama süreçlerinin etkinliği araştırılmıştır. Ele alınan sistemde süreç, e-ticaret sitesi üzerinden sipariş veren müşterilerin sipariş bilgilerinin depo yönetim sistemine aktarılması ile başlamaktadır. Sonraki adımda, başlangıç istasyonunda, siparişlerin mobil robotlara atanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada üç farklı senaryo ele alınmış ve bu üç durum için ayrı ayrı simülasyon modelleri oluşturulmuştur.

- **Model I (Adanmış sistem):** Sistemde iki adet mobil robot bulunmaktadır. Bu iki robota iki ayrı başlangıç istasyonu tahsis edilmiştir. Siparişlerin bir kısmı 1. istasyona, bir kısmı ise 2. istasyona gelmekte ve 1. istasyona gelen siparişler 1 numaralı robota; 2. istasyona gelenler ise 2 numaralı robota atanmaktadır.
- **Model II (Yük bazlı sistem):** Sistemde iki adet mobil robot bulunmaktadır. Sipariş atamalarının yapıldığı tek bir başlangıç istasyonu vardır. Bir sipariş geldiğinde, robotların o ana kadar toplamış olduğu ürün sayısına bakılır ve daha az ürün toplamış olan robot ilgili siparişi toplamak üzere atanır.
- **Model III (Mesafe bazlı sistem):** Sistemde iki adet mobil robot bulunmaktadır. Model II’de olduğu gibi tek bir başlangıç istasyonu mevcuttur. Bir sipariş geldiğinde, başlangıç istasyonuna en yakın mesafede olan robot ilgili siparişi toplamak üzere atanır.

Siparişe robot ataması yapılmasının ardından sipariş toplama süreci başlamakta ve ilgili robot siparişte yer alan ürünlerin bulunduğu depo lokasyonlarına giderek ürünleri toplamaktadır. Yapılan çalışmada, hipotetik depo alanına ilişkin koridorlar ve toplama noktaları oluşturularak her bir toplama noktası bir istasyon olarak ele alınmıştır. Depo alanı genel olarak 28 adet toplama noktası, bir adet paketleme istasyonu, bir adet şarj istasyonu, Model I için iki adet giriş istasyonu, Model II ve III

için ise bir adet giriş istasyonundan oluşmaktadır. İstasyonlar arası mesafelerin yer aldığı mesafe matrisi Tablo 4.1.'de verilmiştir. Mesafe matrisindeki s31 paketleme istasyonunu, s32 şarj istasyonunu ifade etmektedir. Model I için s1 ve s2 istasyonları robotların başlangıç istasyonlarıdır. Model II ve Model III'te sadece s1 istasyonu robotların başlangıç istasyonu olarak tanımlanmıştır. Giriş istasyonunda sipariş ataması yapılırken, robotun ilgili siparişte yer alan ürünleri hangi sırayla toplayacağı bilgisi de robota verilmekte ve robot bu rotayı takip ederek sipariş toplama işlemini gerçekleştirmektedir. Her sipariş toplama operasyonu giriş istasyonu ile başlamakta ve siparişte yer alan ürünlerin tümünün toplanmasının ardından paketleme istasyonu ile son bulmaktadır. Bir siparişe ait toplama süreci ilgili robot tarafından tamamlanmadan robota yeni bir sipariş ataması yapılmamaktadır.

Öte yandan, robotlar şarj ile çalışan araçlar olduğundan robotlara ait şarj seviyesi kontrolü ve şarj işlemi bu çalışmada ele alınan önemli bir konudur. Yürütülen tez çalışmasında robotların şarj seviyesi depo içerisinde katettikleri mesafeye bağlı olarak azalmakta ve sipariş toplama esnasında bu seviye kontrol edilmektedir. Bir robotun şarj seviyesi başlangıçta 100%'dür. Ardından katedilen her bir metre başına şarj seviyesi 0.2% azalmaktadır. Herhangi bir t anında, bir robotun şarj seviyesi 10%'un altına düşmüşse ilgili robot bulunduğu istasyondan şarj istasyonuna yönlendirilmekte ve burada şarj seviyesi 100%'e tamamlanana kadar şarj olmaktadır. Bir robotun şarj olma süresini mevcut şarj seviyesi belirlemektedir. Robotun şarj seviyesindeki birim artış 1 dakikalık şarj işlemi ile sağlanmaktadır. Örneğin, bir robotun şarj seviyesi 5% ise, tam dolum için 95 dk şarj olması gerekmektedir. Robotun tamamen şarj olmasıyla birlikte ilgili robot, şarj öncesinde bulunduğu istasyona yönlendirilmekte ve sipariş toplama işlemlerine devam etmektedir.

Ele alınan probleme dair performans ölçütü ortalama akış süresinin minimizasyonu olarak belirlenmiş, robot atamasının farklı şekillerde yapıldığı üç model karşılaştırılmıştır.

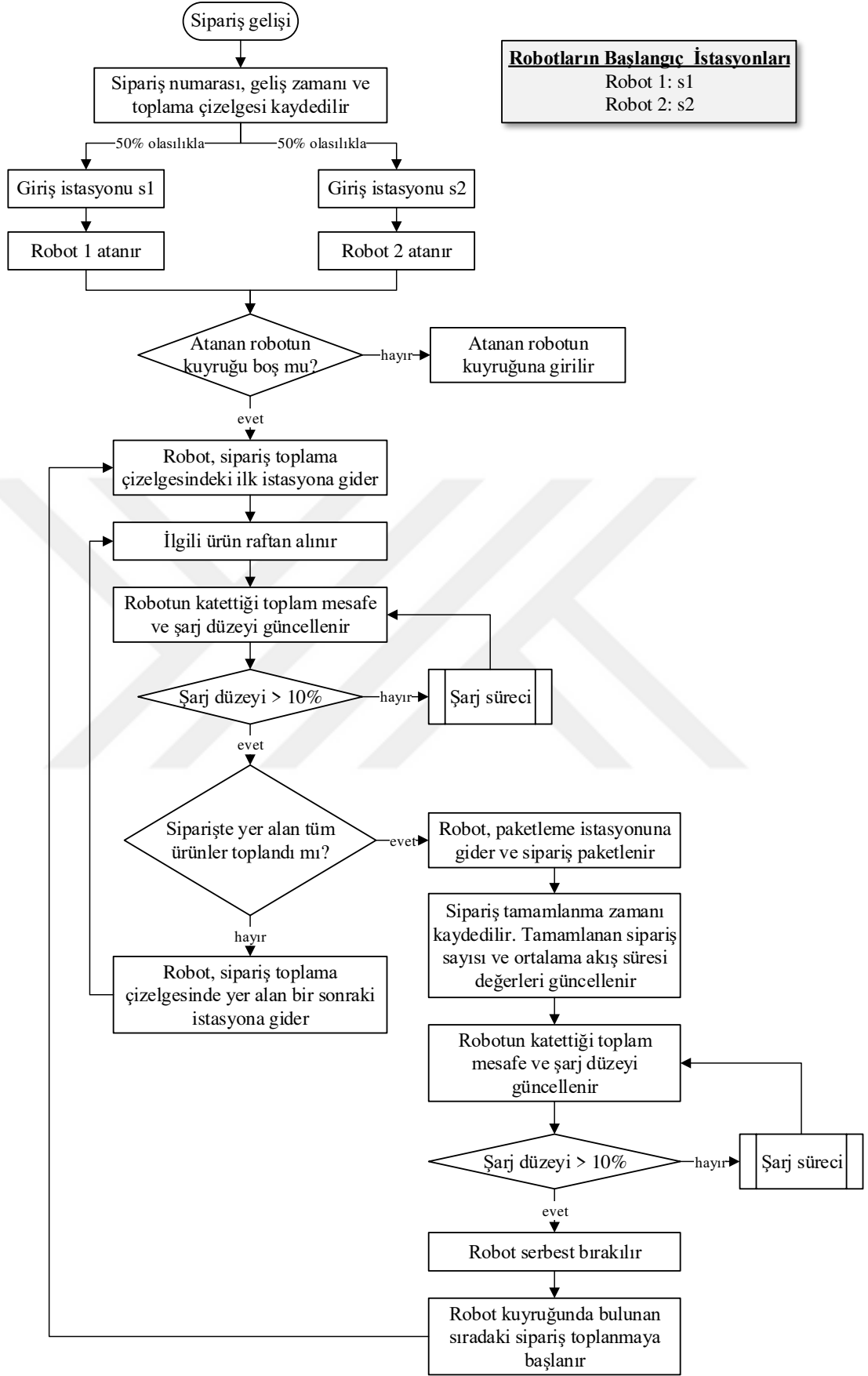
Tablo 4.1. İstasyonlar arası mesafe matrisi

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s14	s15	s16	s17	s18	s19	s20	s21	s22	s23	s24	s25	s26	s27	s28	s29	s30	s31	s32	
s1	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	465	
s2		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	440	455	
s3			0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	425	445	
s4				0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	410	430	
s5					0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	395	415	
s6						0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	380	85	105
s7							0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	365	100	120
s8								0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	350	115	135
s9									0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	320	145	165	185
s10										0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	305	160	180	200
s11											0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	275	290	175	195	215
s12												0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	275	295	210	230
s13													0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	260	205	225	245
s14														0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	245	220	235	255
s15															0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	230	235	250	270
s16																	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	215	250	275
s17																		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	200	265	285
s18																			0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	185	280	300
s19																				0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	170	295	315
s20																					0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	155	310	330
s21																						0	15	30	45	60	75	90	105	120	140	325	345
s22																							0	15	30	45	60	75	90	105	125	340	360
s23																								0	15	30	45	60	75	90	110	355	375
s24																									0	15	30	45	60	75	95	370	390
s25																										0	15	30	45	60	80	385	405
s26																											0	15	30	45	65	400	420
s27																												0	15	30	415	435	455
s28																													0	15	35	430	450
s29																														0	20	445	465
s30																															0	465	485
s31																																0	485
s32																																	0

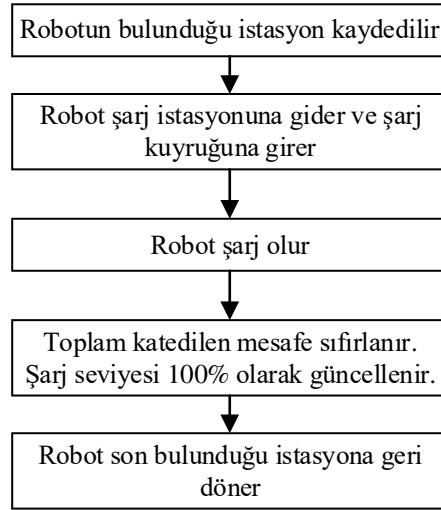
4.2. Model Kurulumu

Bölüm 4.1’de bahsedilen üç farklı robot atama politikasına ilişkin simülasyon modelleri Arena 14.0 kullanılarak oluşturulmuş ve modellere ait akış şemaları sırasıyla Şekil 4.1, 4.3 ve 4.4’te sunulmuştur. Şarj sürecine ilişkin iş adımları ise Şekil 4.2’de açıklanmıştır.

Adanmış sistem olan Model I’de, siparişler eksponansiyel süre aralıklarıyla sisteme giriş yapar. Siparişlerin geliş zamanı ve sipariş numaralarının sisteme kaydedilmesinin ardından, siparişler eş olasılıkla birinci ve ikinci istasyona (giriş istasyonları) yönlendirilir. Birinci istasyona gelen siparişler 1 numaralı robota, ikinci istasyona gelenler ise 2 numaralı robota atanır. Yapılan atamadan sonra, gelen sipariş kendisine atanan robotun kuyruğuna girer ve toplanmak üzere robotu bekler. İlgili robot üzerine atanmış bir siparişi toplamayı bitirdiğinde, kendine ait kuyrukta bekleyen siparişlerden sıradakini toplamak üzere giriş istasyonuna gelir ve siparişte yer alan ürünleri depodaki ilgili lokasyonlardan belirtilen sırada toplamaya başlar. Siparişteki tüm ürünleri toplayan robot son olarak paketleme istasyonuna gider ve burada ürünlerin paketlenmesi yapılır. Öte yandan, robotun toplama noktaları arasındaki gezintisi boyunca toplam katettiği mesafe kaydedilir ve buna göre şarj seviyesi güncellenir. Sipariş toplama esnasında robotun her bir toplama noktasına varışında şarj seviyesi kontrol edilir. Şarj seviyesi 10%’un altındaysa robot şarj istasyonuna gider ve robotun geldiği son toplama noktası kaydedilir. Robot şarj kuyruğuna girdikten sonra sırası geldiğinde şarj seviyesi 100%’e ulaşana kadar şarj olur. Robotun toplam katettiği yol sıfırlanır ve şarj seviyesi 100% olarak güncellenir. Ardından, robot şarj işleminden hemen önce bulunduğu toplama noktasına yönlendirilir ve toplama işlemine devam edilir. Her bir sipariş toplama işleminin sonunda toplam akış süresi, ortalama akış süresi ve toplanan sipariş sayısı bilgileri hesaplanır ve güncellenir.



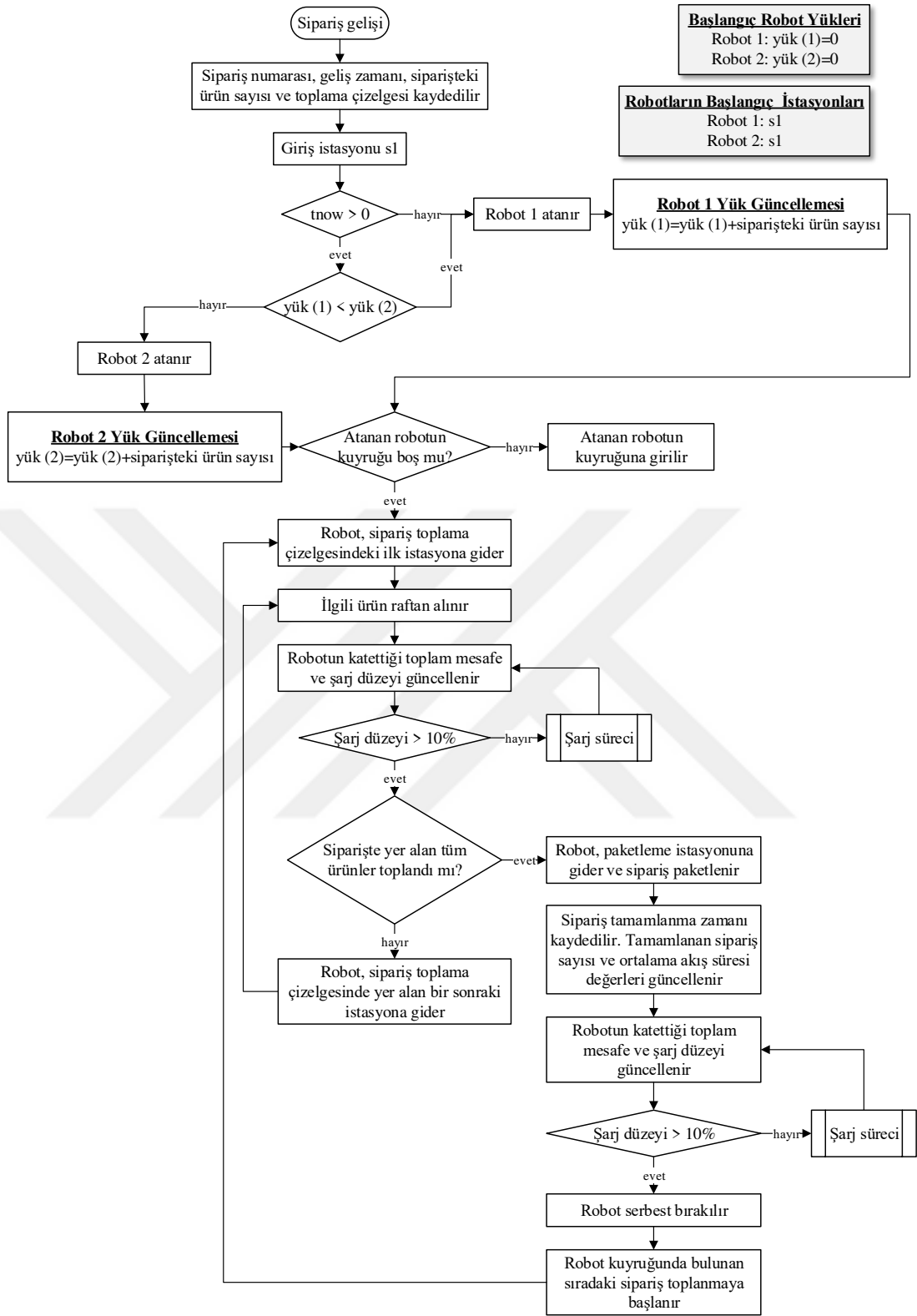
Şekil 4.1. Model I iş akış şeması



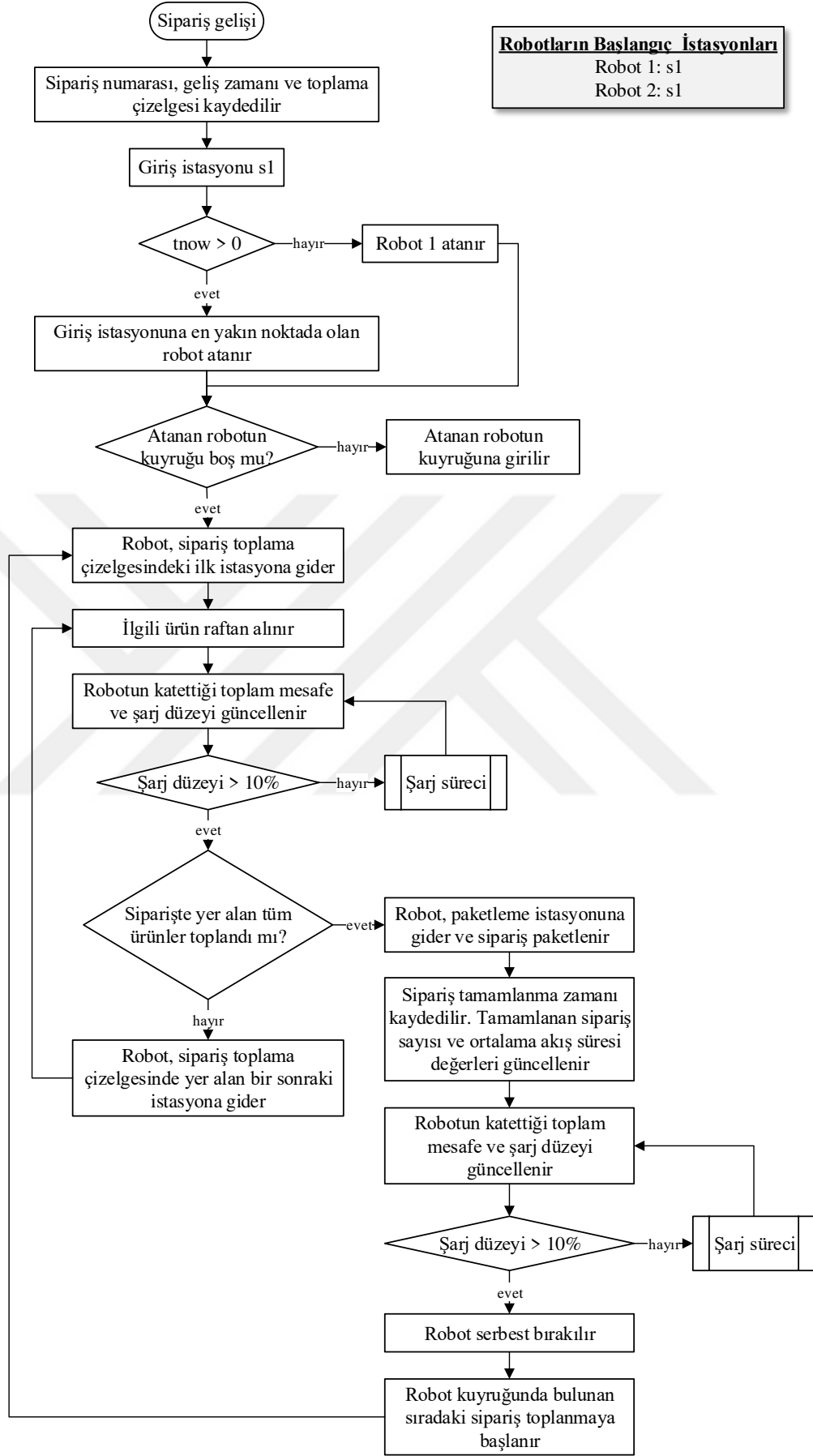
Şekil 4.2. Şarj süreci iş akış şeması

Model II’de siparişler yine eksponansiyel süre aralıklarıyla sisteme giriş yapar. Burada Model I’den farklı olarak tek bir giriş istasyonu bulunmaktadır ve bir sipariş geldiğinde robotların o ana kadar toplamış olduğu ürün sayısına bakılarak daha az ürün toplamış olan robot ilgili siparişi toplamak üzere atanır. Sürecin geri kalanı Model I’deki gibi devam eder.

Model III’de ise Model II’de olduğu gibi tek bir giriş istasyonu vardır. Eksponansiyel süre aralıklarıyla sisteme gelen siparişlere robot ataması yapılırken, o anda giriş istasyonuna en yakın mesafede olan robotun siparişi toplamak üzere atanması kuralı işletilir. Sürecin geri kalanı yine Model I’deki gibi devam eder.



Şekil 4.3. Model II iş akış şeması



Şekil 4.4. Model III iş akış şeması

4.3. Modellerin Doğrulanması

Oluşturulan simülasyon modelleri, doğrulama amacıyla 4 adet sipariş için çalıştırılmıştır. Her üç modelde de siparişlerin geliş sıklığı expo (63), robot hızları 20 m/dk, toplama noktasından ürünün alınması ve paketlenme noktasına ürünleri bırakma işlemleri ise 2 dk olarak belirlenmiştir. Doğrulama aşamasında az sayıda sipariş için gözlem yapılması nedeniyle robotların şarj operasyonlarını doğrulayabilmek adına şarj seviyesi katedilen her bir metre başına 5% azaltılmıştır. Robot atamaları, robotların istasyonlar arasındaki gezinme sıra ve süreleri, şarj operasyonları vb. unsurlar izleme raporundan takip edilmiş ve ilgili veriler Tablo 4.2. ile 4.3.'te sunulmuştur. Yapılan kontrollerde modellerin doğru çalıştığı tespit edilmiş ve Model I, II ve III için oluşan sipariş toplama çizelgelerine ilişkin Gantt şemaları sırasıyla Şekil 4.5., 4.6. ve 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Model I doğrulama verileri

Sipariş no	Geliş zamanı	Geldiği istasyon	Sipariş toplama rotası	Atanan robot	Tamamlanma zamanı
1	0	s1	s1-s24-s15-s4-s10-s31	1	62.75
2	7.62	s2	s2-s27-s12-s14-s11-s18-s19-s31	2	70.62
3	92.62	s2	s2-s7-s26-s16-s6-s27-s5-s24-s20-s22-s9-s19-s25-s31	2	559.5
4	61.09	s1	s1-s20-s8-s17-s18-s25-s19-s23-s10-s31	1	283

Tablo 4.3. Model II ve Model III doğrulama verileri

Sipariş no	Geliş zamanı	Sipariş toplama rotası	Atanan robot	Robot yükü	Tamamlanma zamanı
1	0	s1-s24-s25-s4-s10-s31	1	yük(1)=4	62.75
2	7.62	s1-s27-s12-s14-s11-s18-s19-s31	2	yük(2)=6	71.37
3	85.5	s1-s7-s26-s16-s6-s27-s5-s24-s20-s22-s9-s19-s25-s31	1	yük(1)=16	558.87
4	94.12	s1-s20-s8-s17-s18-s25-s19-s23-s10-s31	2	yük(2)=14	288.62

Model I: Adanmış sistem

Robot1

İstasyon	s1	s24	s15	s4	s10	s31	s1	s20	s8	s32	s8	s17	s18	s25	s19	s23	s10	s31
Sipariş	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Şartı	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4
Zaman	0	19,25	28	38,25	44,75	62,75	63,09	101,75	112,75	118,5	223	229,75	234,5	241,75	248,25	253,25	265	283

Robot2

İstasyon	s2	s27	s12	s14	s11	s18	s19	s31	s2	s7	s26	s16	s32	s16	s6	s27	s5	s24	s20	s22	s9	s19	s25	s32	s25	s31
Sipariş	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şartı	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şartı	Sipariş 3	Sipariş 3
Zaman	7,62	28,37	41,62	45,12	49,37	56,62	59,37	70,62	94,62	98,37	114,62	124,12	135,87	325,5	335	352,75	371,25	387,5	392,5	398	407,75	417,25	423,75	442,25	552,75	559,5

Şekil 4.5. Model I Gantt şeması

Model II: Yüklü bazı sistem

Robot1

İstasyon	s1	s24	s15	s4	s10	s31	s1	s7	s26	s32	s26	s16	s6	s27	s5	s24	s20	s22	s9	s32	s9	s19	s25	s31
Sipariş	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şarj	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şarj	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3
Zaman	0	19.25	28	38.25	44.75	62.75	87.5	92	108.25	127.5	336.37	345.87	355.37	373.12	391.62	407.87	412.87	416.37	428.12	434.62	536.12	545.62	552.12	558.87

Robot2

İstasyon	s1	s27	s12	s14	s11	s18	s19	s31	s1	s20	s8	s32	s8	s17	s18	s25	s19	s23	s10	s31
Sipariş	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Şarj	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4
Zaman	7.62	29.12	42.37	45.87	50.12	57.37	60.12	71.37	96.12	110.37	121.37	127.12	228.62	237.37	240.12	247.37	253.87	258.87	270.62	288.62

Şekil 4.6. Model II Gantt şeması

Model III: Mesafe bazlı sistem

Robot1

Istasyon	s1	s24	s15	s4	s10	s31	s1	s7	s26	s32	s26	s16	s6	s27	s5	s24	s20	s22	s9	s32	s9	s19	s25	s31
Sipariş	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 1	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şarj	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Şarj	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3	Sipariş 3
Zaman	0	19.25	28	38.25	44.75	62.75	87.5	92	108.25	127.5	336.37	345.87	355.37	373.12	391.62	407.87	412.87	416.37	428.12	434.62	536.12	545.62	552.12	558.87

Robot2

Istasyon	s1	s27	s12	s14	s11	s18	s19	s31	s1	s20	s8	s32	s8	s17	s18	s25	s19	s23	s10	s31
Sipariş	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 2	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Şarj	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4	Sipariş 4
Zaman	7.62	29.12	42.37	45.87	50.12	57.37	60.12	71.37	96.12	110.37	121.37	127.12	228.62	237.37	240.12	247.37	253.87	258.87	270.62	288.62

Şekil 4.7. Model III Gantt şeması

Model II ve Model III'ün Gantt şemalarının aynı olma sebebi doğrulama aşamasında sınırlı sayıda sipariş için modellerin çalıştırılmasına bağlı olarak uzun bekleme kuyruklarının oluşmamasıdır.

4.4. Hesaplamalı Analizler

Daha önce bahsedilen üç senaryoya dair oluşturulan simülasyon modelleri farklı sipariş geliş sıklıkları baz alınarak çalıştırılmış ve hangi durumda hangi modelin daha etkin olduğu araştırılmıştır. Simülasyon modelleri 259200 dk için 10 replikasyon çalıştırılmış, sipariş geliş sıklığı için sık, orta ve seyrek geliş durumları ele alınmıştır. Modellerdeki robotların hızı sabit olacak şekilde 20 m/dk olarak belirlenmiştir. Tablo 4.4.'te görüldüğü gibi robot faydalı kullanım oranının yaklaşık 70% olduğu durum seyrek geliş, 80% olduğu durum orta ve 90% olduğu durum sık geliş olarak nitelendirilmiştir.

Tablo 4.4. Sipariş geliş sıklığına bağlı robot faydalı kullanım oranları

Robot Atama Politikası	Sipariş Geliş Sıklığı		
	Sık geliş expo (63)	Orta geliş expo (72)	Seyrek geliş expo (81)
Model I	90.60%	79.40%	70.60%
Model II	90.80%	80.00%	71.00%
Model III	91.20%	80.00%	71.00%

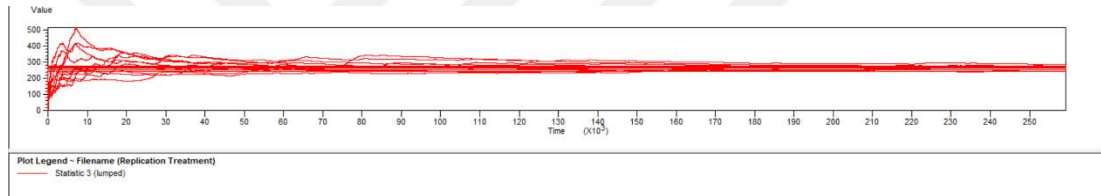
4.4.1 Isınma Periyodunun Belirlenmesi

Isınma periyodu, simülasyon modelleme sürecinde sistemin kararlı hal durumuna geçtiği süreyi ifade etmektedir. Modelden alınan sonuçların başlangıç koşullarından veya sistemin geçici davranışlarından etkilenmemesini sağlamak için ısınma periyodu belirlenmeli, sistem kararlı hal durumuna gelene kadar geçen süre ihmal edilmelidir [48].

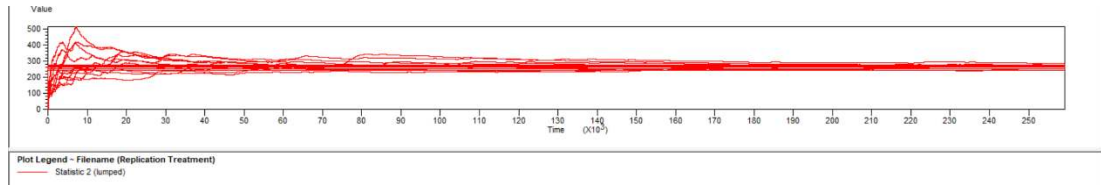
Isınma periyodu belirlenirken dikkat edilmesi gereken noktalardan biri incelenen sistemin sonlandırılabilir olup olmadığıdır. Simülasyon modellemesinde sonlandırılabilir sistemler, belirli bir durum veya zamanda başlayan ve belirli bir durum veya zamana ulaşıldığında sona eren sistemlerdir. Öte yandan, kararlı hal

simülasyonu olarak da bilinen sonlandırılmayan sistemler ise simülasyonun teorik olarak süresiz bir şekilde devam edebileceği sistemlerdir. Burada simülasyonu sonlandıran bir durum veya zaman söz konusu değildir. Sonlandırılmayan modeller, sonlandırılabilir olanlar gibi başlangıç koşullarına bağlı değildir. Bu nedenle, başlangıç koşullarını ortadan kaldırmak için model uzun süre çalıştırılmalı ve modelin kararlı hal durumuna geçtikten sonraki işleyişi analiz edilmelidir.

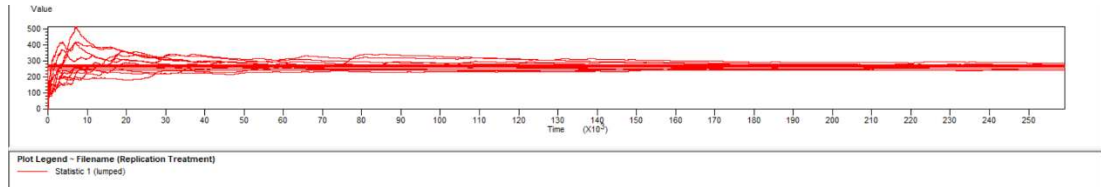
Oluşturulan simülasyon modelleri farklı sipariş geliş sıklıkları için 259200 dakika, 10 replikasyon çalıştırılmış ve ortalama akış süresine ilişkin elde edilen ısınma periyodu grafikleri Şekil 5.1. - 5.9. arasında sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde modellerin çoğunlukla, 30000 dk ardından kararlı hale geçtiği gözlemlenmiştir.



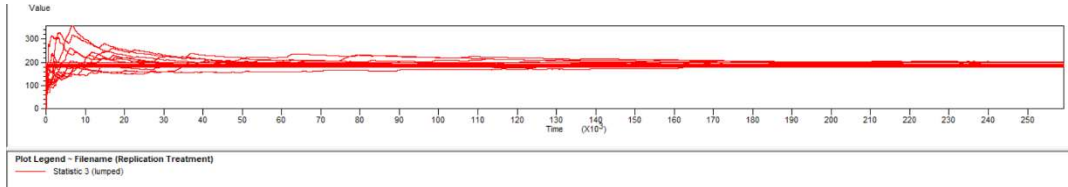
Şekil 5.1. Model I- expo (63) ısınma periyodu grafiği



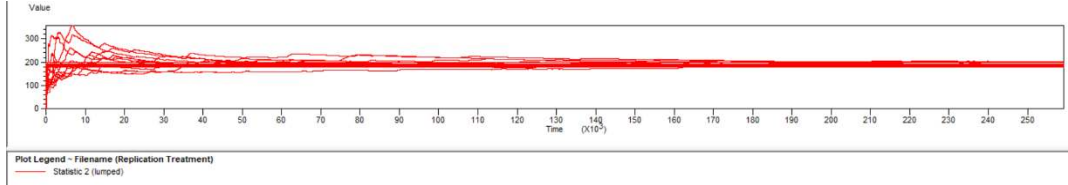
Şekil 5.2. Model I- expo (72) ısınma periyodu grafiği



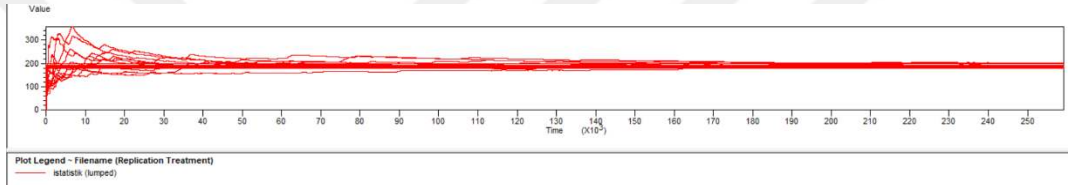
Şekil 5.3. Model I- expo (81) ısınma periyodu grafiği



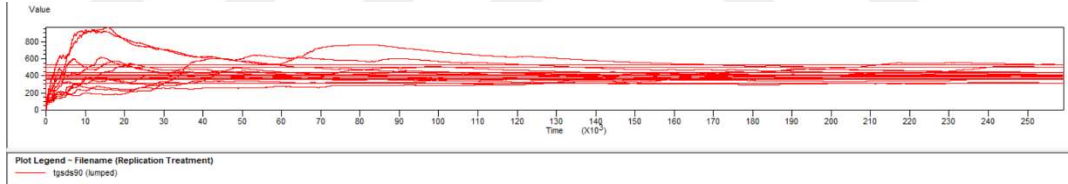
Şekil 5.4. Model II- expo (63) ısınma periyodu grafiği



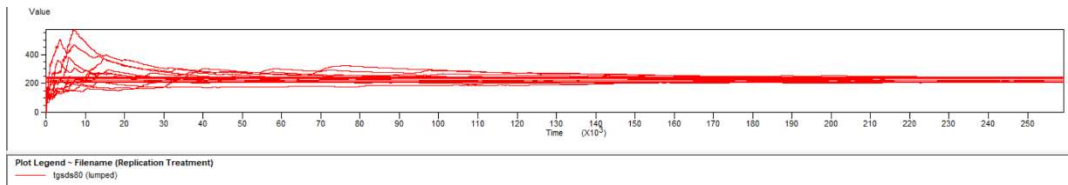
Şekil 5.5. Model II – expo (72) ısınma periyodu grafiği



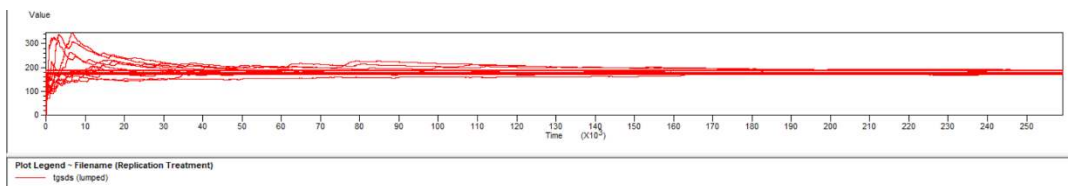
Şekil 5.6. Model II – expo (81) ısınma periyodu grafiği



Şekil 5.7. Model III - expo (63) ısınma periyodu grafiği



Şekil 5.8. Model III – expo (72) ısınma periyodu grafiği



Şekil 5.9. Model III – expo (81) ısınma periyodu grafiği

4.4.2 Modellerin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçlar

Robot atama politikalarına ilişkin oluşturulan modeller, ısınma periyodu da dikkate alınarak farklı sipariş geliş sıklıkları için 10 replikasyon çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.5.'te sunulmuştur. Model I, II ve III'ün SIMAN model (mod) ve deney dosyaları (exp) ekler bölümünde Ek A'dan Ek F'ye kadar sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.5.'e göre sonuçlar değerlendirildiğinde aynı sipariş geliş sıklıklarında ve benzer robot faydalı kullanım oranıyla çalışan modellerde tamamlanan sipariş sayılarında büyük farklar gözlemlenmemiştir. Sık gelişlerde siparişlerin tamamlanma oranı Model I, Model II ve Model III için sırasıyla 99.78%, 99.88%, 99.88%, orta gelişlerde 99.81%, 99.90%, 99.90%, seyrek gelişlerde ise 99.89%, 99.91%, 99.92%'dir.

Sistemler arasındaki esas fark ortalama akış süresi, robot ve şarj kuyruklarındaki ortalama bekleme sürelerinde ortaya çıkmıştır. Ortalama akış süresinin büyük kısmını robot kuyruğunda bekleme sürelerinin oluşturduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, ortalama akış süresi ve robot ve kuyruğundaki ortalama bekleme süresi açısından en iyi sonuçları sırasıyla Model III, Model II ve Model I vermiştir. Şarj kuyruğunda ortalama bekleme süresi açısından en iyi sonuç sıralaması Model III, Model I ve Model II olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. Farklı sipariş geliş sıklıkları için elde edilen sonuçlar

		Model I	Model II	Model III
Sık geliş expo (63)	Sisteme gelen sipariş sayısı	4152.8	4152.8	4152.8
	Tamamlanan sipariş sayısı	4143.9	4148.1	4147.9
	Ortalama akış süresi (dk)	683.4	429.99	411.36
	Robot kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	555.076	311.276	293.222
	Şarj kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	1.094	1.505	1.023
	Robot faydalı kullanım oranı	90.6 %	91.2 %	91.2 %
Orta geliş expo (72)	Sisteme gelen sipariş sayısı	3645.5	3645.5	3645.5
	Tamamlanan sipariş sayısı	3638.9	3641.9	3642
	Ortalama akış süresi (dk)	352.02	237.54	226.25
	Robot kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	237.148	121.512	110.215
	Şarj kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	1.297	2.181	1.262
	Robot faydalı kullanım oranı	79.4 %	80 %	80 %
Seyrek geliş expo (81)	Sisteme gelen sipariş sayısı	3238.7	3238.7	3238.7
	Tamamlanan sipariş sayısı	3235.4	3235.9	3236.2
	Ortalama akış süresi (dk)	267.11	189.13	180.15
	Robot kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	151.751	73.588	64.662
	Şarj kuyruğunda ortalama bekleme süresi (dk)	1.336	2.328	0.655
	Robot faydalı kullanım oranı	70.6 %	71 %	71 %

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen çıktılarına yönelik güven aralığı tahminlemesinin sonuçlarına ve modellerin eşleştirilmiş örneklem t testi kullanılarak karşılaştırılması sonucu elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

5.1. Güven Aralığı Tahminlemesi

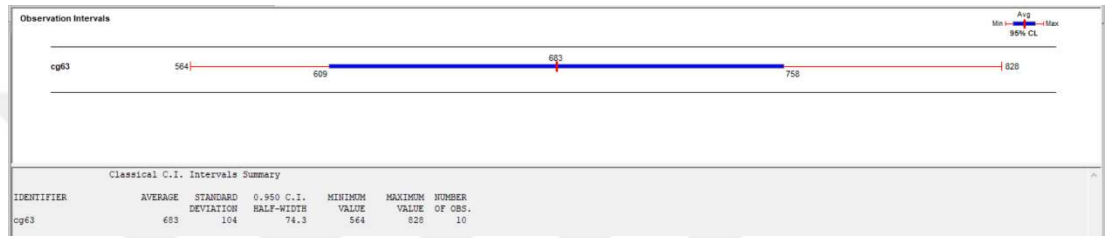
Simülasyon modelleme çalışmalarında, elde edilen çıktıların istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi oldukça önemli bir adımdır. Güven aralığı, bilinmeyen bir popülasyon parametresini belirli bir güven düzeyiyle tahmin etmek için kullanılan bir değer aralığıdır. Tahminle ilişkili belirsizliğin bir ölçüsünü sunar. Ayrıca, araştırmacılar ve uygulayıcılara örneklem verilerine dayalı çıkarımlar yapmak konusunda fayda sağlar [49]. Güven aralığının genişliği, verilerin değişkenliğine ve istenen güven düzeyine göre belirlenir. Güven aralığı, ortalamalar, oranlar veya regresyon katsayıları gibi çeşitli parametreler için hesaplanabilir [50].

Bir güven aralığının oluşturulması, istatistiksel yöntemlerin ve varsayımların kullanılmasını içerir. Literatürde farklı veri türleri ve araştırma tasarımları için güven aralıklarının hesaplanmasına yönelik farklı yaklaşımlar ve metodolojiler önerilmiştir. Bu nedenle, belirli araştırma sorusuna ve veri özelliklerine uygun bir yöntem seçmek önem taşımaktadır [51].

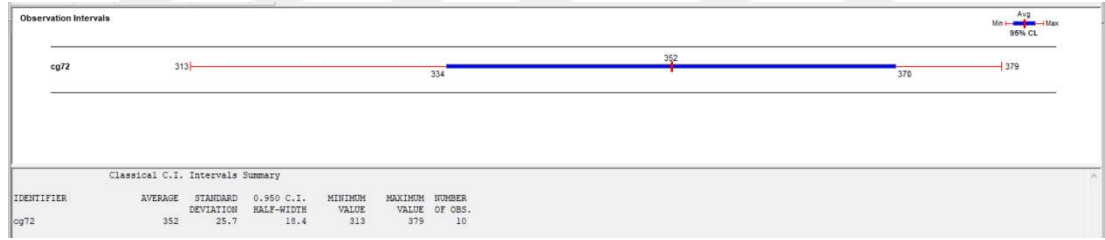
Bölüm 4.1’de ifade edilen üç model, farklı sipariş geliş sıklıkları için çalıştırılmış ve ortalama akış süresi performans ölçütü için 95% güven düzeyinde güven aralıkları Arena Output Analyzer kullanılarak Tablo 5.1’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. İlgili görseller ise Şekil 5.10 - 5.18 arasında sunulmuştur. Sistemin çalıştırılma süresi 6 aya karşılık gelen 259200 dk olup replikasyon sayısı 10’dur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sipariş gelişinin sıklaşmasıyla ortalama akış süresinin arttığı sonucuna varılmaktadır. Ayrıca, tüm gelişler arası süreler değerlendirildiğinde ortalama akış süresi için en düşük değerlerin Model III’e ait olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1. Ortalama akış süresi için oluşturulan 95% güven aralığı değerleri

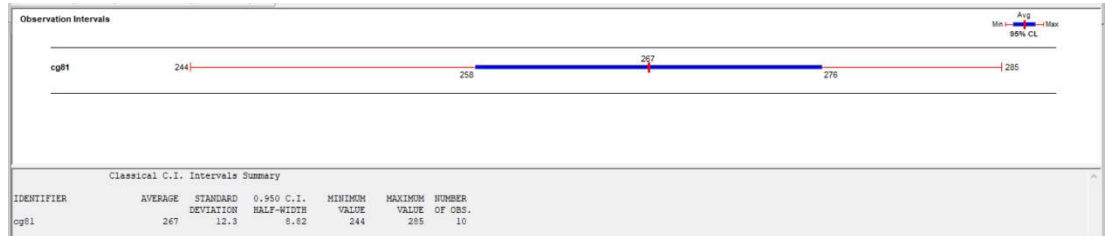
Model	Gelişler arası süre	Ortalama	Standart Sapma	Yarı Genişlik	En Küçük Değer	En Büyük Değer
Model I	expo (63)	683.4	104	74.3	563.71	828.3
	expo (72)	352.02	25.7	18.4	312.75	378.91
	expo (81)	267.11	12.3	8.82	243.81	284.99
Model II	expo (63)	429.99	71.4	51.1	324.11	561.93
	expo (72)	237.54	14.4	10.3	218.4	256.97
	expo (81)	189.13	7.2	5.15	179.64	200.89
Model III	expo (63)	411.36	64.9	46.4	314.43	522.99
	expo (72)	226.25	13.2	9.45	207.75	243.47
	expo (81)	180.15	6.62	4.73	170.33	191.26



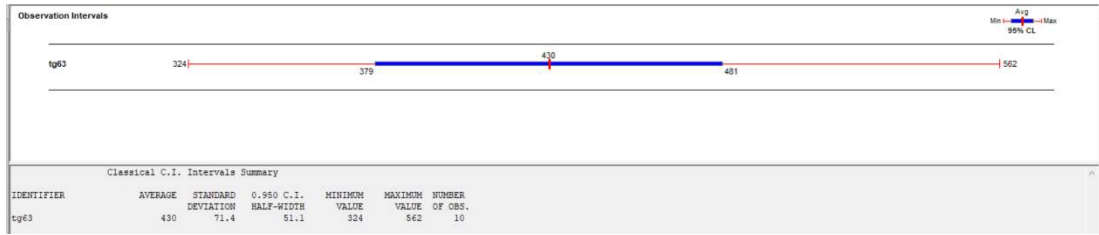
Şekil 5.10. Model I- expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



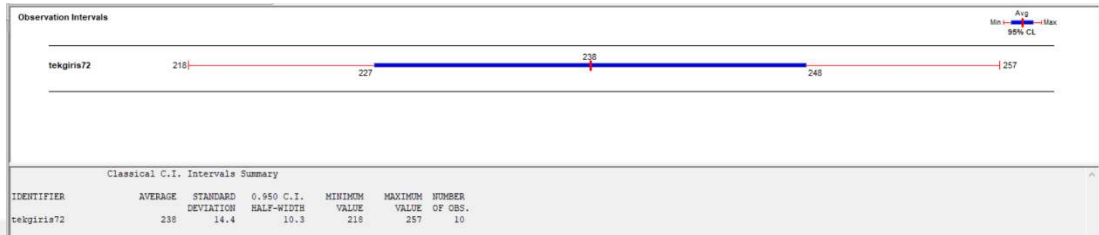
Şekil 5.11. Model I- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



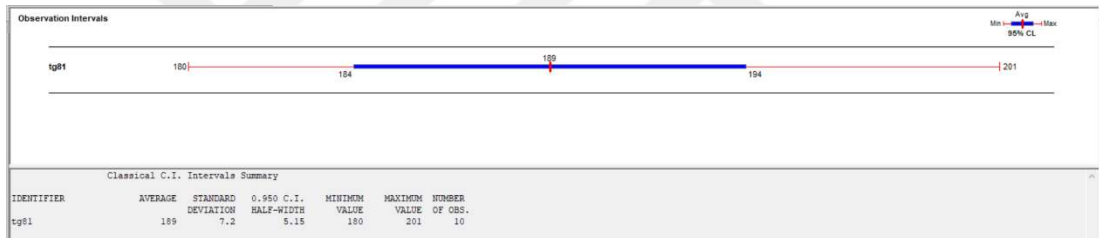
Şekil. 5.12. Model I- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



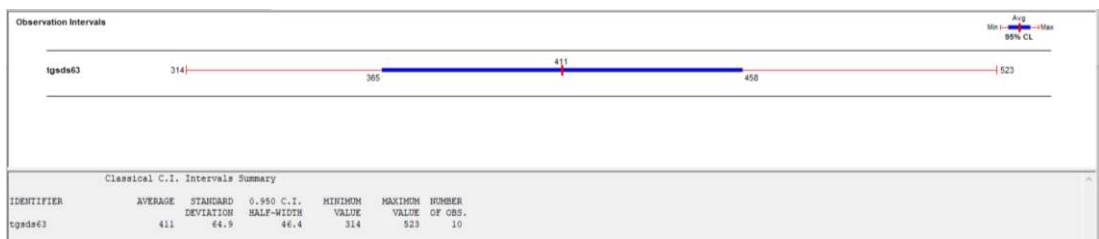
Şekil 5.13. Model II- expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



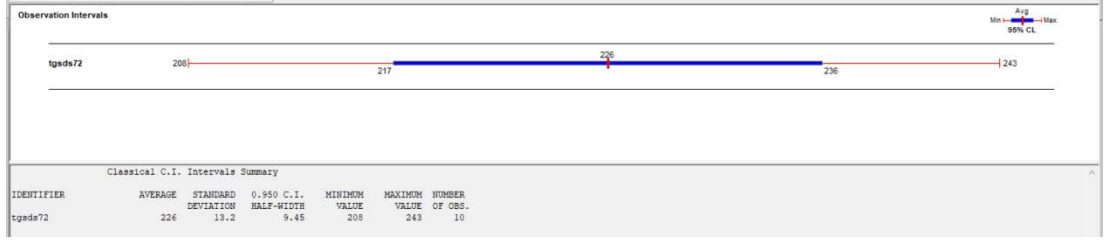
Şekil 5.14. Model II- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



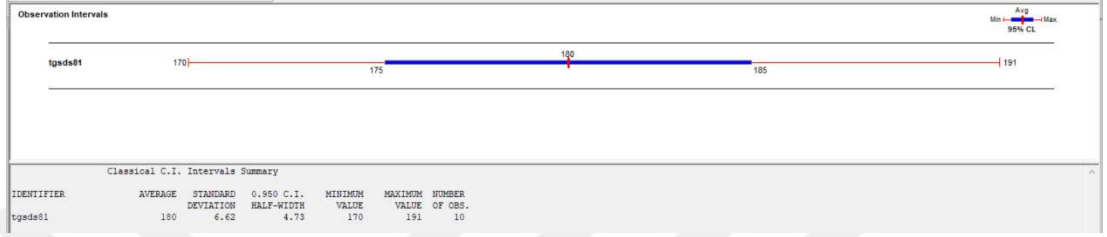
Şekil 5.15. Model II- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



Şekil 5.16. Model III- expo(63) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



Şekil 5.17. Model III- expo(72) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı



Şekil 5.18. Model III- expo(81) ortalama akış süresi için %95 güven aralığı

5.2. Eşleştirilmiş Örneklem t-Testi ile Modellerin Karşılaştırılması

Eşleştirilmiş örneklem t-testi, iki ilgili değişkenin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir testtir. Örneklemenin iki farklı durumda veya iki farklı koşul altında karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Eşleştirilmiş gözlemler arasındaki ortalama fark sıfır ile karşılaştırılarak bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı belirlenmektedir. Burada test edilen hipotez, aşağıda belirtildiği üzere iki örneklemenin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığıdır.

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

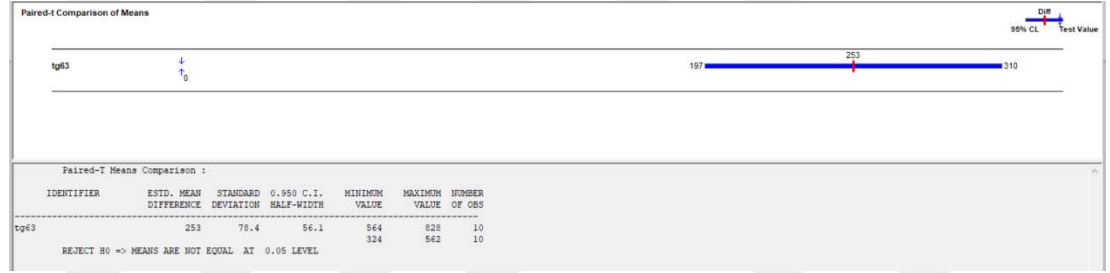
$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

Bu kapsamda, ortalama akış süresi için üç modele ait sonuçlar eşleştirilmiş örneklem t testi kullanılarak karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur. Arena Output Analyzer çıktıları ise Şekil 5.19 – 5.27 arasında verilmiştir. Tablo 5.2.’de yer alan veriler incelendiğinde, tüm ikili kıyaslamalarda H_0 hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Başka bir deyişle, ele alınan üç model arasında ortalama akış süresi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır.

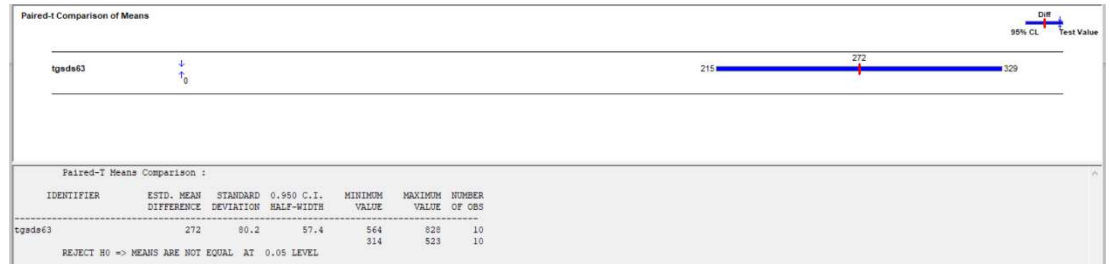
Öte yandan, ele alınan tüm sipariş geliş sıklıklarında ortalama akış süresi açısından Model III'ün en iyi sonucu verdiği, daha sonra sırasıyla Model II ve Model I'in geldiği görülmektedir.

Tablo 5.2. Ortalama akış süresi için eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları

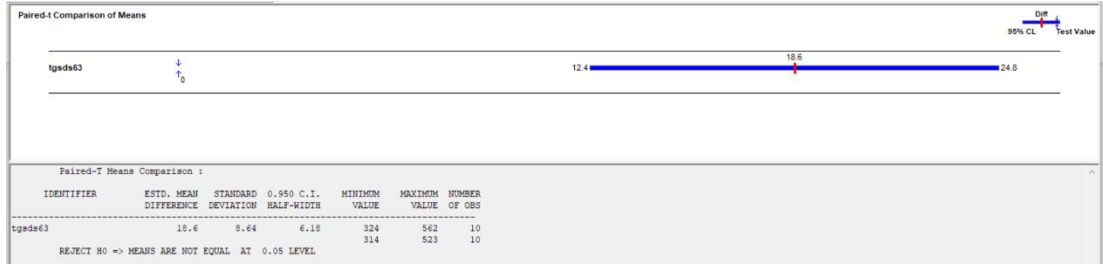
	Model (i)	Model (j)	Ortalama fark (i-j)	Standart sapma	Yarı genişlik
Sık geliş expo (63)	Model I	Model II	253	78.4	56.1
	Model I	Model III	272	80.2	57.4
	Model II	Model III	18.6	8.64	6.18
Orta geliş expo (72)	Model I	Model II	114	21	15
	Model I	Model III	126	20.6	14.7
	Model II	Model III	11.3	1.6	1.14
Seyrek geliş expo (81)	Model I	Model II	78	8.5	6.08
	Model I	Model III	87	8.01	5.73
	Model II	Model III	8.98	1.91	1.37



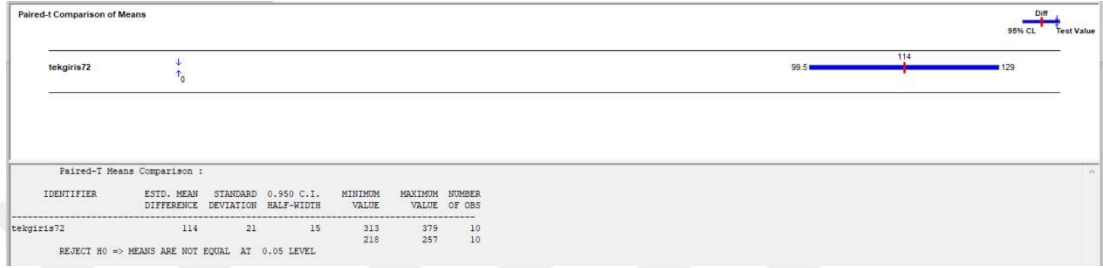
Şekil 5.19. expo(63) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



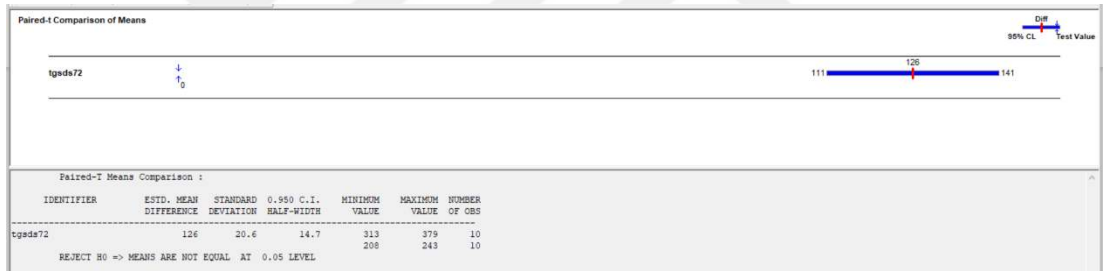
Şekil 5.20. expo(63) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



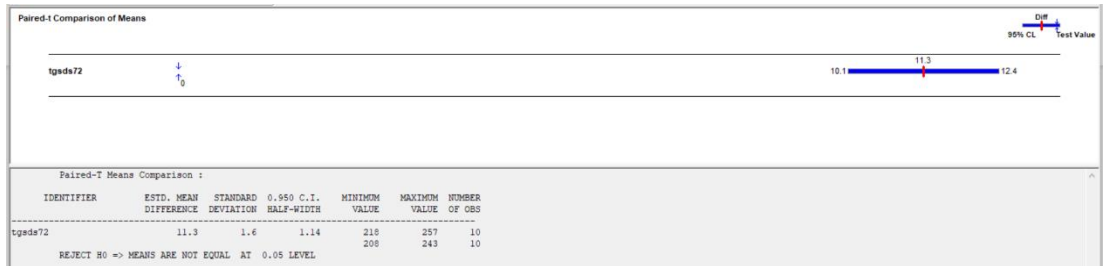
Şekil 5.21. expo(63) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



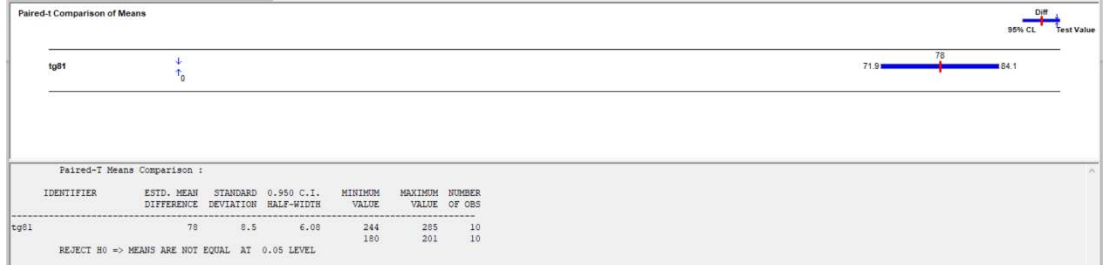
Şekil 5.22. expo(72) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



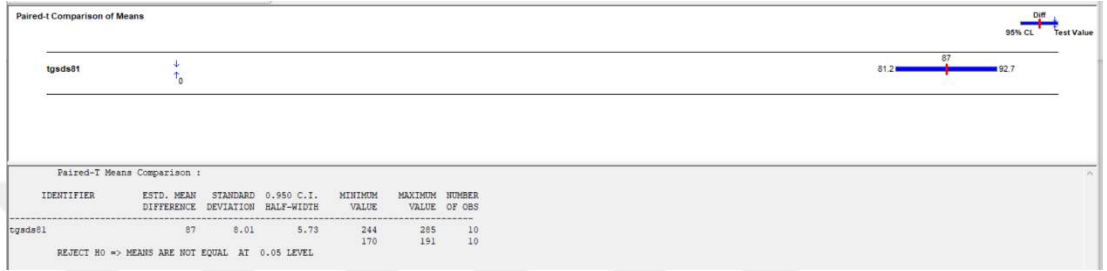
Şekil 5.23. expo(72) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



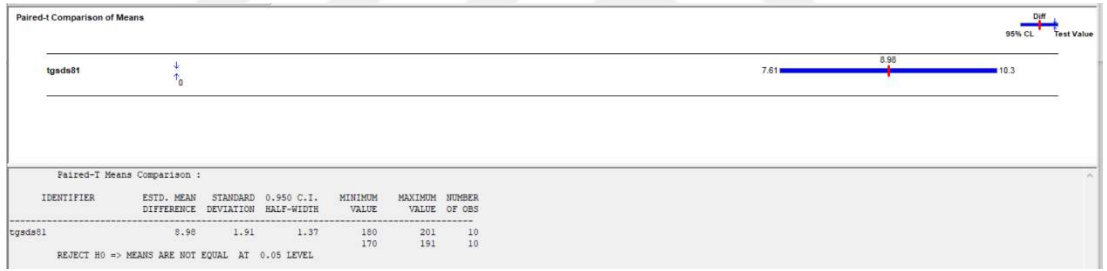
Şekil 5.24. expo(72) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



Şekil 5.25. expo(81) Model I - Model II eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



Şekil 5.26. expo(81) Model I - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması



Şekil 5.27. expo(81) Model II - Model III eşleştirilmiş örneklem t-testi karşılaştırması

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının temel amacı, depo sistemlerinde yürütülen sipariş toplama operasyonlarının verimliliğini artıracak alternatif modeller öne sürmektir. Bu doğrultuda, sipariş toplama işlemlerinin mobil robotlar ile gerçekleştirildiği hipotetik bir depo sistemi ele alınmış ve farklı sipariş geliş sıklıkları için robot atama politikalarının etkinliği simülasyon modelleme yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üç farklı robot atama politikası önerilerek ortalama akış süresi performans ölçütü için robot atama politikalarının karşılaştırması yapılmıştır.

Çalışmanın özgün yönlerinden biri, mobil robotlar ile yapılan sipariş toplama sisteminde robotların şarj kısıtının dikkate alınmasıdır. Robotların şarj seviyelerinin katedilen mesafeye bağlı olarak azalması ve şarj olma zorunluluklarının göz önünde bulundurulması, çalışmayı daha gerçekçi hale getiren unsurlardır.

Karşılaştırmalar değerlendirildiğinde mesafe bazlı sistem olan Model III'ün tüm sipariş geliş sıklıklarında diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Model III'ü sırasıyla yük bazlı sistem olan Model II ve son olarak adanmış sistem olan Model I takip etmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon modelleri parametrik olması sebebiyle kolaylıkla farklı depo tasarımlarına adapte edilebilecek ve karar vericilere destek sağlayabilecektir. Ayrıca, depo sisteminde yer alan robotların faydalı kullanım oranlarını, şarj istasyonunda geçirdikleri zamanı ve ne kadar sipariş topladıklarını analiz etmeye imkan tanıyacaktır. Öte yandan, sistemde yer alan mobil robot sayısının performans ölçütleri üzerindeki etkisinin araştırılması, robot atama kararlarının farklı ortalama politikaları ile entegre edilmesi ve maliyet odaklı bir performans ölçütünün ayrıca dikkate alınması mevcut çalışmayı zenginleştirecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Güventürk, Murat, (2002). Tedarik Zincirinde Deponun Rolü, Lojistik & Tedarik Zinciri Yöneticiliği Sertifika Programı Ders Notları.
- [2] Tanyaş M., Başkak M. (2012). Farklı Açılardan Depoların Sınıflandırılması, Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi.
- [3] Erdal, M. ve Saygılı M.S. (2007). Lojistik İşletmelerinde Yönetim – Organizasyon ve Filo Yönetimi. İstanbul: UTİKAD.
- [4] Tompkins J.A., White J.A., Bozer Y.A., Frazelle E.H.&Tanchoco J.M.A., (2010). Facilities Planning 4th edition, John Wiley & Sons, 489.
- [5] Özçakar, N. , Görener, A. & Arıkan, V. (2012). Depolama Sistemlerinde Sipariş Toplama İşlemlerinin Genetik Algoritmalarla Optimizasyonu, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi , 23 (71) , 122.
- [6] Gademann, N.,Van de Velde S., (2005) Batching to Minimize Total Travel Time in A Parallel-Aisle Warehouse. IIE Transactions, 37, 63-75.
- [7] De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. European journal of operational research, 182(2), 481-501.
- [8] Van den Berg, J. P., & Zijm, W. H. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. International journal of production economics, 59(1-3), 519-528.
- [9] Parikh, P. J., & Meller, R. D. (2008). Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(5), 696-719.
- [10] Eisenstein, D. D. (2008). Analysis and optimal design of discrete order picking technologies along a line. Naval Research Logistics (NRL), 55(4), 350-362.
- [11] Frazelle, E. H., & Apple, J. M. (1994). Warehouse operations. The distribution management handbook, 22-1.
- [12] Gademann, A. J. R. M., Van Den Berg, J. P., & Van Der Hoff, H. H. (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. IIE transactions, 33(5), 385-398.
- [13] Petersen, C. G. (2002). Considerations in order picking zone configuration. International Journal of Operations & Production Management, 22(7), 793-805.

- [14] Koo, P. H. (2009). The use of bucket brigades in zone order picking systems. *OR spectrum*, 31(4), 759-774.
- [15] Jaghbeer, Y., Hanson, R., & Johansson, M. I. (2020). Automated order picking systems and the links between design and performance: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4489-4505.
- [16] Manzini, R., Accorsi, R., Pattitoni, L., & Regattieri, A. (2011). A supporting decisions platform for the design and optimization of a storage industrial system. *Efficient Decision Support Systems-Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains*, 2, 64.
- [17] Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(1), 82-98.
- [18] Caron F., Marchet G., Perego A., (2000), Optimal layout in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 38(1), 101-117.
- [19] Yang, Y., Juntao, L., & Lingling, P. (2020). Multi-robot path planning based on a deep reinforcement learning DQN algorithm. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 5(3), 177-183.
- [20] Rennie, C., Shome, R., Bekris, K. E., & De Souza, A. F. (2016). A dataset for improved rgb-d based object detection and pose estimation for warehouse pick-and-place. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1(2), 1179-1185.
- [21] Roodbergen, K.J., (2001), Layout and routing methods for warehouses, PhD thesis, RSM Erasmus University, the Netherlands, 38-43.
- [22] Petersen C.G., (1997), An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11), 1098-1111.
- [23] Hall, R. W. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE transactions*, 25(4), 76-87.
- [24] Shetty, N., Sah, B., Chung, S. (2020). Route Optimization For Warehouse Order Picking Operations Via Vehicle Routing and Simulation. *Sn Applied Sciences*, 2(2).
- [25] Taşoğlu, G. T. (2013). Evaluation of Order Picking Systems Using Simulation.
- [26] Oliveira, G. S., Röning, J., Carvalho, J. T., & Plentz, P. D. (2022), Efficient task allocation in smart warehouses with multi-delivery stations and heterogeneous robots, 1-8.
- [27] Yuan, R., Li, J., Wang, W., Dou, J., Pan, L. (2021). Storage Assignment Optimization In Robotic Mobile Fulfillment Systems. *Complexity*, 1-11.

- [28] Zhang, J., Yang, F., Weng, X. (2019). A Building-block-based Genetic Algorithm For Solving the Robots Allocation Problem In A Robotic Mobile Fulfilment System. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-15.
- [29] Jiang, H. (2020). Solving Multi-robot Picking Problem In Warehouses: a Simulation Approach. *Int. j. simul. model.*, 4(19), 701-712.
- [30] Wang, H., Chen, W. (2021). Task Scheduling For Transport and Pick Robots In Logistics: A Comparative Study On Constructive Heuristics. *Auton. Intell. Syst.*, 1(1).
- [31] Wang, Z., Sheu, J., Teo, C., Xue, G. (2021). Robot Scheduling For Mobile-rack Warehouses: Human–robot Coordinated Order Picking Systems. *Production & Oper Manag*, 1(31), 98-116.
- [32] Yang, N. (2022). Evaluation Of the Joint Impact Of The Storage Assignment And Order Batching In Mobile-pod Warehouse Systems. *Mathematical Problems in Engineering*, (2022), 1-13.
- [33] Sheu, J., Choi, T. (2022). Can We Work More Safely and Healthily With Robot Partners? A Human-friendly Robot–human-coordinated Order Fulfillment Scheme. *Production & Oper Manag*, 3(32), 794-812.
- [34] Cals, B., Zhang, Y., Dijkman, R., van Dorst, C. (2020). Solving the Order Batching And Sequencing Problem Using Deep Reinforcement Learning.
- [35] Moons, S., Ramaekers, K., Caris, A., Arda, Y. (2017). Integration Of Order Picking and Vehicle Routing In A B2c E-commerce Context. *Flex Serv Manuf J*, 4(30), 813-843.
- [36] Duarte, A., Tirado, G., Udias, A. (2013). On a Selection And Scheduling Problem In Automatic Storage And Retrieval Warehouses. *International Journal of Production Research*, 17(51), 5337-5353.
- [37] Li, Z., Li, W., Jiang, L. (2016). Task Assignment Problem Of Robots In a Smart Warehouse Environment. *MS*, 4(4).
- [38] Arvin, F., Watson, S., Turgut, A., Espinosa, J., Krajnik, T., Lennox, B. (2017). Perpetual Robot Swarm: Long-term Autonomy Of Mobile Robots Using On-the-fly Inductive Charging. *J Intell Robot Syst*, 3-4(92), 395-412.
- [39] Joung, I., Cheatham, T. (2009). Molecular Dynamics Simulations Of the Dynamic And Energetic Properties Of Alkali And Halide Ions Using Water-model-specific Ion Parameters. *J. Phys. Chem. B*, 40(113), 13279-13290.
- [40] Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and The New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija*, 3(50), 193-207.
- [41] Özbay, E., Özbay, F. (2020). Modeling and Simulation Of Urban Growth In The Use Of Industry 4.0. *IJCSMC*, 11(9), 28-37.

- [42] Saderova, J., Ondov, M., Kovac, J., Szucs, M., Betus, M. (2022). Simulation Of Material Flow Using Vertical Transport By a Double-action Mine Hoist. *AS*, 4(8), 47-50.
- [43] Cademartori, S., Cravero, C., Marini, M., Cravero, C. (2021). Cfd Simulation Of the Slot Jet Impingement Heat Transfer Process And Application To A Temperature Control System For Galvanizing Line Of Metal Band. *Applied Sciences*, 3(11), 1149.
- [44] Zradziński, P. (2015). Difficulties In Applying Numerical Simulations To An Evaluation Of Occupational Hazards Caused By Electromagnetic Fields. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2(21), 213-220.
- [45] Bendechange, M., Svorobej, S., Endo, P., Mario, M., Ares, M., Byrne, J., Lynn, T. (2019). Modelling and Simulation Of Elasticsearch Using Cloudsim.
- [46] Indana, H. D., Dinapradipta, A., Samodra, F., Samodra, F. (2021). Simulation Validation For Thermal Performance Of Building Envelope Material In Humid Tropical Highland Climate. *IJPS*, 6(0), 189.
- [47] D. W. Kelton, R. P. Sadowski, N. B. Zuppi, (2015), *Simulation with Arena* 6th Edition, McGraw Hill, 6-8.
- [48] Hrachowitz, M., Soulsby, C., Tetzlaff, D., Malcolm, I. (2011). Sensitivity Of Mean Transit Time Estimates To Model Conditioning and Data Availability. *Hydrol. Process.*, 6(25), 980-990.
- [49] Kaplan, J. and Roland, K. (2022). Confidence Means What?!?: Lexical Ambiguity In the Interpretation Of Confidence Intervals.
- [50] Payton, M., Greenstone, M., Schenker, N. (2003). Overlapping Confidence Intervals or Standard Error Intervals: What Do They Mean In Terms Of Statistical Significance?. *Journal of Insect Science*, 1(3).
- [51] Lu, B., Preisser, J., Qaqish, B., Suchindran, C., Bangdiwala, S., Wolfson, M. (2007). A Comparison Of Two Bias-corrected Covariance Estimators For Generalized Estimating Equations. *Biometrics*, 3(63), 935-941.

EKLER

EK A. Model I Mod. Dosyası

0\$	CREATE,	1,0:EXPO(63,1):NEXT(1\$);
1\$	ASSIGN:	ns=ANINT(UNIF(1,27,2)): gt=tnow: gelen=gelen+1: yeni=0: Entity.Sequence=ns: sequencecount(ns)=sequencecount(ns)+1;
34\$	BRANCH,	1: With,0.50,32\$,Yes: With,0.50,33\$,Yes;
32\$	STATION,	s1;
35\$	ASSIGN:	rb=1;
26\$	ASSIGN:	son=m;
30\$	BRANCH,	1: If,yeni==0,7\$,Yes: Else,12\$,Yes;
7\$	QUEUE,	rb;
2\$	REQUEST,	1:robot(rb);
12\$	BRANCH,	1: If,tnow<>0,11\$,Yes: Else,3\$,Yes;
11\$	ASSIGN:	topyol(rb)=topyol(rb)+idist(dist1,last(rb),m): slevel(rb)=100-(topyol(rb)*0.002);
23\$	BRANCH,	1: If,slevel(rb)<=10,25\$,Yes: Else,3\$,Yes;
25\$	ASSIGN:	lastpoint=m;
24\$	TRANSPORT:	robot(rb),s32;
3\$	TRANSPORT:	robot(rb),seq;
33\$	STATION,	s2;
36\$	ASSIGN:	rb=2:NEXT(26\$);
4\$	STATION,	s3-s31;
10\$	ASSIGN:	topyol(rb)=topyol(rb)+idist(dist1,son,m): last(rb)=m: slevel(rb)=100-(topyol(rb)*0.002);
15\$	BRANCH,	1: If,slevel(rb)<=10,17\$,Yes: Else,27\$,Yes;
17\$	ASSIGN:	lastpoint=m:
16\$	TRANSPORT:	son=m; robot(rb),s32;
27\$	ASSIGN:	son=m;
5\$	DELAY:	2,,Other:NEXT(8\$);
8\$	BRANCH,	1: If,m==31,29\$,Yes: Else,31\$,Yes;
29\$	ASSIGN:	ct=tnow: cn=cn+1: ft=ct-gt: totalft=totalft+ft: meanft=totalft/cn;
6\$	FREE:	robot(rb);

```

9$          DISPOSE:      No;

31$         TRANSPORT:    robot (rb) , seq;

13$         STATION,      s32;
28$         ASSIGN:       son=m:
                             yeni=1;
18$         QUEUE,        sarjq;
19$         SEIZE,         1, Other:
                             r1, 1: NEXT (14$) ;

14$         DELAY:         100-slevel (rb) , , Other: NEXT (20$) ;

20$         RELEASE:      r1, 1;
21$         ASSIGN:       slevel (rb)=100:
                             topyol (rb)=0:
                             last (rb)=32;
22$         TRANSPORT:    robot (rb) , lastpoint;

```

EK B. Model I Exp. Dosyası

```

PROJECT,      "Unnamed Project", "Rockwell
Automation", , , No, Yes, Yes, Yes, Yes, No, No, No, No, No;

ATTRIBUTES:   yeni, DATATYPE (Real) :
               son, DATATYPE (Real) :
               rb, DATATYPE (Real) :
               ct, DATATYPE (Real) :
               lastpoint, DATATYPE (Real) :
               ft, DATATYPE (Real) :
               gt, DATATYPE (Real) ;

VARIABLES:    yuk (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               sequencecount (27) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0:
               gelen, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               slevel (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 100, 100:
               urun (27) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 4, 3, 6, 7, 6, 4, 5, 4, 8, 5, 3, 6, 4, 7, 7, 6, 8, 10, 6, 9, 7, 12, 13, 13, 12
,
               12, 11:
               cn, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               meanft, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               last (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 1, 2:
               topyol (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               totalft, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) ;

SEEDS:        1, , Common:
               2, , Common;

QUEUES:        1, tr1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               2, tr2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               sarjq, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) ;

RESOURCES:
r1, Capacity (1) , , Stationary, COST (0.0, 0.0, 0.0) , , AUTOSTATS (Yes, , ) ;

STATIONS:     1, s1, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               2, s2, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               3, s3, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               4, s4, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               5, s5, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :

```

```

6,s6,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
7,s7,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
8,s8,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
9,s9,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
10,s10,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
11,s11,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
12,s12,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
13,s13,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
14,s14,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
15,s15,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
16,s16,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
17,s17,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
18,s18,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
19,s19,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
20,s20,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
21,s21,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
22,s22,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
23,s23,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
24,s24,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
25,s25,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
26,s26,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
27,s27,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
28,s28,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
29,s29,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
30,s30,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
31,s31,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
32,s32,,,,AUTOSTATS(Yes,,):

```

```

DISTANCES:  dist1,s1-s2-15,s1-s3-30,s1-s4-45,s1-s5-60,s1-s6-75,s1-s7-
90,s1-s8-105,s1-s9-120,s1-s10-135,s1-s11-150,s1-s12-165,
s1-s13-180,s1-s14-195,s1-s15-210,s1-s16-225,s1-s17-240,s1-s18-
255,s1-s19-270,s1-s20-285,s1-s21-300,s1-s22-315,s1-
s23-330,s1-s24-345,s1-s25-360,s1-s26-375,s1-s27-390,s1-s28-
405,s1-s29-420,s1-s30-435,s2-s3-15,s2-s4-30,s2-s5-45,
s2-s6-60,s2-s7-75,s2-s8-90,s2-s9-105,s2-s10-120,s2-s11-135,s2-
s12-150,s2-s13-165,s2-s14-180,s2-s15-195,s2-s16-210,
s2-s17-225,s2-s18-240,s2-s19-255,s2-s20-270,s2-s21-285,s2-s22-
300,s2-s23-315,s2-s24-330,s2-s25-345,s2-s26-360,s2-
s27-375,s2-s28-390,s2-s29-405,s2-s30-420,s3-s4-15,s3-s5-30,s3-
s6-45,s3-s7-60,s3-s8-75,s3-s9-90,s3-s10-105,s3-s11-
120,s3-s12-135,s3-s13-150,s3-s14-165,s3-s15-180,s3-s16-195,s3-
s17-210,s3-s18-225,s3-s19-240,s3-s20-255,s3-s21-270,
s3-s22-285,s3-s23-300,s3-s24-315,s3-s25-330,s3-s26-345,s3-s27-
360,s3-s28-375,s3-s29-390,s3-s30-405,s4-s5-15,s4-s6-
30,s4-s7-45,s4-s8-60,s4-s9-75,s4-s10-90,s4-s11-105,s4-s12-
120,s4-s13-135,s4-s14-150,s4-s15-165,s4-s16-180,s4-s17-
195,s4-s18-210,s4-s19-225,s4-s20-240,s4-s21-255,s4-s22-270,s4-
s23-285,s4-s24-300,s4-s25-315,s4-s26-330,s4-s27-345,
s4-s28-360,s4-s29-375,s4-s30-390,s5-s6-15,s5-s7-30,s5-s8-
45,s5-s9-60,s5-s10-75,s5-s11-90,s5-s12-105,s5-s13-120,s5-
s14-135,s5-s15-150,s5-s16-165,s5-s17-180,s5-s18-195,s5-s19-
210,s5-s20-225,s5-s21-240,s5-s22-255,s5-s23-270,s5-s24-
285,s5-s25-300,s5-s26-315,s5-s27-330,s5-s28-345,s5-s29-360,s5-
s30-375,s6-s7-15,s6-s8-30,s6-s9-45,s6-s10-60,s6-s11-
75,s6-s12-90,s6-s13-105,s6-s14-120,s6-s15-135,s6-s16-150,s6-
s17-165,s6-s18-180,s6-s19-195,s6-s20-210,s6-s21-225,
s6-s22-240,s6-s23-255,s6-s24-270,s6-s25-285,s6-s26-300,s6-s27-
315,s6-s28-330,s6-s29-345,s6-s30-360,s7-s8-15,s7-s9-
30,s7-s10-45,s7-s11-60,s7-s12-75,s7-s13-90,s7-s14-105,s7-s15-
120,s7-s16-135,s7-s17-150,s7-s18-165,s7-s19-180,s7-
s20-195,s7-s21-210,s7-s22-225,s7-s23-240,s7-s24-255,s7-s25-
270,s7-s26-285,s7-s27-300,s7-s28-315,s7-s29-330,s7-s30-
345,s8-s9-15,s8-s10-30,s8-s11-45,s8-s12-60,s8-s13-75,s8-s14-
90,s8-s15-105,s8-s16-120,s8-s17-135,s8-s18-150,s8-s19-
165,s8-s20-180,s8-s21-195,s8-s22-210,s8-s23-225,s8-s24-240,s8-
s25-255,s8-s26-270,s8-s27-285,s8-s28-300,s8-s29-315,
s8-s30-330,s9-s10-15,s9-s11-30,s9-s12-45,s9-s13-60,s9-s14-
75,s9-s15-90,s9-s16-105,s9-s17-120,s9-s18-135,s9-s19-

```

150,s9-s20-165,s9-s21-180,s9-s22-195,s9-s23-210,s9-s24-225,s9-s25-240,s9-s26-255,s9-s27-270,s9-s28-285,s9-s29-300,
s9-s30-315,s10-s11-15,s10-s12-30,s10-s13-45,s10-s14-60,s10-s15-75,s10-s16-90,s10-s17-105,s10-s18-120,s10-s19-135,
s10-s20-150,s10-s21-165,s10-s22-180,s10-s23-195,s10-s24-210,s10-s25-225,s10-s26-240,s10-s27-255,s10-s28-270,s10-s29-285,s10-s30-300,s11-s12-15,s11-s13-30,s11-s14-45,s11-s15-60,s11-s16-75,s11-s17-90,s11-s18-105,s11-s19-120,s11-s20-135,s11-s21-150,s11-s22-165,s11-s23-180,s11-s24-195,s11-s25-210,s11-s26-225,s11-s27-240,s11-s28-255,s11-s29-270,s11-s30-285,s12-s13-15,s12-s14-30,s12-s15-45,s12-s16-60,s12-s17-75,s12-s18-90,s12-s19-105,s12-s20-120,s12-s21-135,s12-s22-150,s12-s23-165,s12-s24-180,s12-s25-195,s12-s26-210,s12-s27-225,s12-s28-240,s12-s29-255,s12-s30-270,s13-s14-15,s13-s15-30,s13-s16-45,s13-s17-60,s13-s18-75,s13-s19-90,s13-s20-105,s13-s21-120,s13-s22-135,s13-s23-150,s13-s24-165,s13-s25-180,s13-s26-195,s13-s27-210,s13-s28-225,s13-s29-240,s13-s30-255,s14-s15-15,s14-s16-30,s14-s17-45,s14-s18-60,s14-s19-75,s14-s20-90,s14-s21-105,s14-s22-120,s14-s23-135,s14-s24-150,s14-s25-165,s14-s26-180,s14-s27-195,s14-s28-210,s14-s29-225,s14-s30-240,s15-s16-15,s15-s17-30,s15-s18-45,s15-s19-60,s15-s20-75,s15-s21-90,s15-s22-105,s15-s23-120,s15-s24-135,s15-s25-150,s15-s26-165,s15-s27-180,s15-s28-195,s15-s29-210,s15-s30-225,s16-s17-15,s16-s18-30,s16-s19-45,s16-s20-60,s16-s21-75,s16-s22-90,s16-s23-105,s16-s24-120,s16-s25-135,s16-s26-150,s16-s27-165,s16-s28-180,s16-s29-195,s16-s30-210,s17-s18-15,s17-s19-30,s17-s20-45,s17-s21-60,s17-s22-75,s17-s23-90,s17-s24-105,s17-s25-120,s17-s26-135,s17-s27-150,s17-s28-165,s17-s29-180,s17-s30-195,s18-s19-15,s18-s20-30,s18-s21-45,s18-s22-60,s18-s23-75,s18-s24-90,s18-s25-105,s18-s26-120,s18-s27-135,s18-s28-150,s18-s29-165,s18-s30-180,s19-s20-15,s19-s21-30,s19-s22-45,s19-s23-60,s19-s24-75,s19-s25-90,s19-s26-105,s19-s27-120,s19-s28-135,s19-s29-150,s19-s30-165,s20-s21-15,s20-s22-30,s20-s23-45,s20-s24-60,s20-s25-75,s20-s26-90,s20-s27-105,s20-s28-120,s20-s29-135,s20-s30-150,s21-s22-15,s21-s23-30,s21-s24-45,s21-s25-60,s21-s26-75,s21-s27-90,s21-s28-105,s21-s29-120,s21-s30-135,s22-s23-15,s22-s24-30,s22-s25-45,s22-s26-60,s22-s27-75,s22-s28-90,s22-s29-105,s22-s30-120,s23-s24-15,s23-s25-30,s23-s26-45,s23-s27-60,s23-s28-75,s23-s29-90,s23-s30-105,s24-s25-15,s24-s26-30,s24-s27-45,s24-s28-60,s24-s29-75,s24-s30-90,s25-s26-15,s25-s27-30,s25-s28-45,s25-s29-60,s25-s30-75,s26-s27-15,s26-s28-30,s26-s29-45,s26-s30-60,s27-s28-15,s27-s29-30,s27-s30-45,s28-s29-15,s28-s30-30,s29-s30-15,s1-s31-455,s2-s31-440,s3-s31-425,s4-s31-410,s5-s31-395,s6-s31-380,s7-s31-365,s8-s31-350,s9-s31-335,s10-s31-320,s11-s31-305,s12-s31-290,s13-s31-275,s14-s31-260,s15-s31-245,s16-s31-230,s17-s31-215,s18-s31-200,s19-s31-185,s20-s31-170,s21-s31-155,s22-s31-140,s23-s31-125,s24-s31-110,s25-s31-95,s26-s31-80,s27-s31-65,s28-s31-50,s29-s31-35,s30-s31-20,s1-s32-10,s2-s32-25,s3-s32-40,s4-s32-55,s5-s32-70,s6-s32-85,s7-s32-100,s8-s32-115,s9-s32-130,s10-s32-145,s11-s32-160,s12-s32-175,s13-s32-190,s14-s32-205,s15-s32-220,s16-s32-235,s17-s32-250,s18-s32-265,s19-s32-280,s20-s32-295,s21-s32-310,s22-s32-325,s23-s32-340,s24-s32-355,s25-s32-370,s26-s32-385,s27-s32-400,s28-s32-415,s29-s32-430,s30-s32-445,s31-s32-465;

TRANSPORTERS: 1,robot,2,Distance(dist1),20---,Station(s1)-Active,Station(s2)-Active,AUTOSTATS(Yes,,);

SEQUENCES: 1,seq1,s4&s5&s7&s8&s31:
2,seq2,s8&s23&s30&s31:
3,seq3,s13&s9&s29&s19&s3&s17&s31:
4,seq4,s28&s13&s12&s5&s25&s21&s9&s31:
5,seq5,s27&s12&s14&s11&s18&s19&s31:
6,seq6,s24&s15&s4&s10&s31:

```

7,seq7,s6&s16&s24&s8&s12&s31:
8,seq8,s18&s29&s21&s4&s31:
9,seq9,s27&s7&s3&s17&s20&s19&s15&s28&s31:
10,seq10,s22&s6&s10&s23&s29&s31:
11,seq11,s12&s27&s28&s31:
12,seq12,s21&s6&s20&s25&s17&s7&s31:
13,seq13,s12&s8&s5&s27&s31:
14,seq14,s9&s22&s5&s26&s27&s15&s11&s31:
15,seq15,s9&s27&s19&s14&s3&s30&s28&s31:
16,seq16,s19&s30&s12&s6&s5&s17&s31:
17,seq17,s20&s8&s17&s18&s25&s19&s23&s10&s31:
18,seq18,s30&s13&s15&s26&s14&s12&s10&s21&s3&s18&s31:
19,seq19,s4&s24&s17&s26&s12&s28&s31:
20,seq20,s22&s17&s16&s15&s13&s21&s3&s29&s27&s31:
21,seq21,s4&s19&s16&s26&s18&s3&s11&s31:
22,seq22,s7&s26&s16&s6&s27&s5&s24&s20&s22&s9&s19&s25&s31:
23,seq23,s18&s25&s10&s17&s5&s27&s24&s6&s9&s30&s8&s20&s7&s31:

24,seq24,s19&s13&s30&s18&s6&s29&s22&s14&s12&s9&s25&s23&s24&s31:
25,seq25,s6&s28&s20&s21&s24&s22&s30&s11&s26&s23&s17&s9&s31:
26,seq26,s22&s16&s5&s10&s24&s14&s23&s6&s13&s12&s28&s4&s31:
27,seq27,s30&s6&s9&s4&s3&s22&s5&s23&s13&s25&s11&s31;

OUTPUTS:      gelen:
               cn:
               DAVG(robot.Utilization):
               meanft:
               totalft;

REPLICATE,    10,0.0,259200,Yes,Yes,30000,,,24.0,Minutes,No,No,,,No,No;

```

EK C. Model II Mod. Dosyası

```

0$      CREATE,      1,0:EXPO(72,1):NEXT(1$);

1$      ASSIGN:      ns=ANINT(UNIF(1,27,2)):
                   gt=tnow:
                   gelen=gelen+1:
                   yeni=0:
                   Entity.Sequence=ns:
                   sequencecount(ns)=sequencecount(ns)+1;

31$     BRANCH,      1:
                   If,tnow==0,33$,Yes:
                   Else,32$,Yes;

33$     ASSIGN:      rb=1:
                   yuk(rb)=yuk(rb)+urun(ns);

15$     STATION,      s1;
27$     ASSIGN:      son=m;
36$     BRANCH,      1:
                   If,yeni==0,7$,Yes:
                   Else,12$,Yes;

7$      QUEUE,      rb;
2$      REQUEST,     1:robot(rb);
12$     BRANCH,      1:
                   If,tnow<>0,11$,Yes:
                   Else,3$,Yes;

11$     ASSIGN:      topyol(rb)=topyol(rb)+idist(dist1,last(rb),m):
                   slevel(rb)=100-(topyol(rb)*0.002);

24$     BRANCH,      1:
                   If,slevel(rb)<=10,26$,Yes:
                   Else,3$,Yes;

26$     ASSIGN:      lastpoint=m;
25$     TRANSPORT:   robot(rb),s32;

```

3\$	TRANSPORT:	robot (rb) , seq;
32\$	BRANCH,	1:
		If, yuk (1) < yuk (2) , 34\$, Yes:
		Else, 35\$, Yes;
34\$	ASSIGN:	rb=1:
		yuk (rb) =yuk (rb) +urun (ns) :NEXT (15\$) ;
35\$	ASSIGN:	rb=2:
		yuk (rb) =yuk (rb) +urun (ns) :NEXT (15\$) ;
4\$	STATION,	s2-s31;
10\$	ASSIGN:	topyol (rb) =topyol (rb) +idist (dist1, son, m) :
		last (rb) =m:
		slevel (rb) =100- (topyol (rb) *0.002) ;
16\$	BRANCH,	1:
		If, slevel (rb) <=10, 18\$, Yes:
		Else, 28\$, Yes;
18\$	ASSIGN:	lastpoint=m:
		son=m;
17\$	TRANSPORT:	robot (rb) , s32;
28\$	ASSIGN:	son=m;
5\$	DELAY:	2, , Other: NEXT (8\$) ;
8\$	BRANCH,	1:
		If, m==31, 30\$, Yes:
		Else, 37\$, Yes;
30\$	ASSIGN:	ct=tnow:
		cn=cn+1:
		ft=ct-gt:
		totalft=totalft+ft:
		meanft=totalft/cn;
6\$	FREE:	robot (rb) ;
9\$	DISPOSE:	No;
37\$	TRANSPORT:	robot (rb) , seq;
13\$	STATION,	s32;
29\$	ASSIGN:	son=m:
		yeni=1;
19\$	QUEUE,	sarjq;
20\$	SEIZE,	1, Other:
		r1, 1: NEXT (14\$) ;
14\$	DELAY:	100-slevel (rb) , , Other: NEXT (21\$) ;
21\$	RELEASE:	r1, 1;
22\$	ASSIGN:	slevel (rb) =100:
		topyol (rb) =0:
		last (rb) =32;
23\$	TRANSPORT:	robot (rb) , lastpoint;

EK D. Model II Exp. Dosyası

PROJECT, "Unnamed Project", "Rockwell
Automation", , , No, Yes, Yes, Yes, Yes, No, No, No, No, No;

ATTRIBUTES: yeni, DATATYPE (Real) :
son, DATATYPE (Real) :
rb, DATATYPE (Real) :
ct, DATATYPE (Real) :
lastpoint, DATATYPE (Real) :

```

ft,DATATYPE(Real):
gt,DATATYPE(Real);

VARIABLES:    yuk(2),CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
               sequencecount(27),CLEAR(System),CATEGORY("None-
None"),DATATYPE(Real),0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
               0,0,0,0:
               gelen,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
               slevel(2),CLEAR(System),CATEGORY("None-
None"),DATATYPE(Real),100,100:
               urun(27),CLEAR(System),CATEGORY("None-
None"),DATATYPE(Real),4,3,6,7,6,4,5,4,8,5,3,6,4,7,7,6,8,10,6,9,7,12,13,13,12
               ,
               12,11:
               cn,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
               meanft,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
               last(2),CLEAR(System),CATEGORY("None-
None"),DATATYPE(Real),1,1:
               topyol(2),CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
               totalft,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real);

SEEDS:        1,,Common:
               2,,Common;

QUEUES:       1,tr1,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
               2,tr2,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
               sarjq,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,);

RESOURCES:    r1,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS:     1,s1,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               2,s2,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               3,s3,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               4,s4,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               5,s5,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               6,s6,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               7,s7,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               8,s8,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               9,s9,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               10,s10,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               11,s11,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               12,s12,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               13,s13,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               14,s14,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               15,s15,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               16,s16,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               17,s17,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               18,s18,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               19,s19,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               20,s20,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               21,s21,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               22,s22,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               23,s23,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               24,s24,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               25,s25,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               26,s26,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               27,s27,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               28,s28,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               29,s29,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               30,s30,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               31,s31,,,AUTOSTATS(Yes,,):
               32,s32,,,AUTOSTATS(Yes,,);

DISTANCES:    dist1,s1-s2-15,s1-s3-30,s1-s4-45,s1-s5-60,s1-s6-75,s1-s7-
90,s1-s8-105,s1-s9-120,s1-s10-135,s1-s11-150,s1-s12-165,
               s1-s13-180,s1-s14-195,s1-s15-210,s1-s16-225,s1-s17-240,s1-s18-
255,s1-s19-270,s1-s20-285,s1-s21-300,s1-s22-315,s1-

```

s23-330, s1-s24-345, s1-s25-360, s1-s26-375, s1-s27-390, s1-s28-405, s1-s29-420, s1-s30-435, s2-s3-15, s2-s4-30, s2-s5-45, s2-s6-60, s2-s7-75, s2-s8-90, s2-s9-105, s2-s10-120, s2-s11-135, s2-s12-150, s2-s13-165, s2-s14-180, s2-s15-195, s2-s16-210, s2-s17-225, s2-s18-240, s2-s19-255, s2-s20-270, s2-s21-285, s2-s22-300, s2-s23-315, s2-s24-330, s2-s25-345, s2-s26-360, s2-s27-375, s2-s28-390, s2-s29-405, s2-s30-420, s3-s4-15, s3-s5-30, s3-s6-45, s3-s7-60, s3-s8-75, s3-s9-90, s3-s10-105, s3-s11-120, s3-s12-135, s3-s13-150, s3-s14-165, s3-s15-180, s3-s16-195, s3-s17-210, s3-s18-225, s3-s19-240, s3-s20-255, s3-s21-270, s3-s22-285, s3-s23-300, s3-s24-315, s3-s25-330, s3-s26-345, s3-s27-360, s3-s28-375, s3-s29-390, s3-s30-405, s4-s5-15, s4-s6-30, s4-s7-45, s4-s8-60, s4-s9-75, s4-s10-90, s4-s11-105, s4-s12-120, s4-s13-135, s4-s14-150, s4-s15-165, s4-s16-180, s4-s17-195, s4-s18-210, s4-s19-225, s4-s20-240, s4-s21-255, s4-s22-270, s4-s23-285, s4-s24-300, s4-s25-315, s4-s26-330, s4-s27-345, s4-s28-360, s4-s29-375, s4-s30-390, s5-s6-15, s5-s7-30, s5-s8-45, s5-s9-60, s5-s10-75, s5-s11-90, s5-s12-105, s5-s13-120, s5-s14-135, s5-s15-150, s5-s16-165, s5-s17-180, s5-s18-195, s5-s19-210, s5-s20-225, s5-s21-240, s5-s22-255, s5-s23-270, s5-s24-285, s5-s25-300, s5-s26-315, s5-s27-330, s5-s28-345, s5-s29-360, s5-s30-375, s6-s7-15, s6-s8-30, s6-s9-45, s6-s10-60, s6-s11-75, s6-s12-90, s6-s13-105, s6-s14-120, s6-s15-135, s6-s16-150, s6-s17-165, s6-s18-180, s6-s19-195, s6-s20-210, s6-s21-225, s6-s22-240, s6-s23-255, s6-s24-270, s6-s25-285, s6-s26-300, s6-s27-315, s6-s28-330, s6-s29-345, s6-s30-360, s7-s8-15, s7-s9-30, s7-s10-45, s7-s11-60, s7-s12-75, s7-s13-90, s7-s14-105, s7-s15-120, s7-s16-135, s7-s17-150, s7-s18-165, s7-s19-180, s7-s20-195, s7-s21-210, s7-s22-225, s7-s23-240, s7-s24-255, s7-s25-270, s7-s26-285, s7-s27-300, s7-s28-315, s7-s29-330, s7-s30-345, s8-s9-15, s8-s10-30, s8-s11-45, s8-s12-60, s8-s13-75, s8-s14-90, s8-s15-105, s8-s16-120, s8-s17-135, s8-s18-150, s8-s19-165, s8-s20-180, s8-s21-195, s8-s22-210, s8-s23-225, s8-s24-240, s8-s25-255, s8-s26-270, s8-s27-285, s8-s28-300, s8-s29-315, s8-s30-330, s9-s10-15, s9-s11-30, s9-s12-45, s9-s13-60, s9-s14-75, s9-s15-90, s9-s16-105, s9-s17-120, s9-s18-135, s9-s19-150, s9-s20-165, s9-s21-180, s9-s22-195, s9-s23-210, s9-s24-225, s9-s25-240, s9-s26-255, s9-s27-270, s9-s28-285, s9-s29-300, s9-s30-315, s10-s11-15, s10-s12-30, s10-s13-45, s10-s14-60, s10-s15-75, s10-s16-90, s10-s17-105, s10-s18-120, s10-s19-135, s10-s20-150, s10-s21-165, s10-s22-180, s10-s23-195, s10-s24-210, s10-s25-225, s10-s26-240, s10-s27-255, s10-s28-270, s10-s29-285, s10-s30-300, s11-s12-15, s11-s13-30, s11-s14-45, s11-s15-60, s11-s16-75, s11-s17-90, s11-s18-105, s11-s19-120, s11-s20-135, s11-s21-150, s11-s22-165, s11-s23-180, s11-s24-195, s11-s25-210, s11-s26-225, s11-s27-240, s11-s28-255, s11-s29-270, s11-s30-285, s12-s13-15, s12-s14-30, s12-s15-45, s12-s16-60, s12-s17-75, s12-s18-90, s12-s19-105, s12-s20-120, s12-s21-135, s12-s22-150, s12-s23-165, s12-s24-180, s12-s25-195, s12-s26-210, s12-s27-225, s12-s28-240, s12-s29-255, s12-s30-270, s13-s14-15, s13-s15-30, s13-s16-45, s13-s17-60, s13-s18-75, s13-s19-90, s13-s20-105, s13-s21-120, s13-s22-135, s13-s23-150, s13-s24-165, s13-s25-180, s13-s26-195, s13-s27-210, s13-s28-225, s13-s29-240, s13-s30-255, s14-s15-15, s14-s16-30, s14-s17-45, s14-s18-60, s14-s19-75, s14-s20-90, s14-s21-105, s14-s22-120, s14-s23-135, s14-s24-150, s14-s25-165, s14-s26-180, s14-s27-195, s14-s28-210, s14-s29-225, s14-s30-240, s15-s16-15, s15-s17-30, s15-s18-45, s15-s19-60, s15-s20-75, s15-s21-90, s15-s22-105, s15-s23-120, s15-s24-135, s15-s25-150, s15-s26-165, s15-s27-180, s15-s28-195, s15-s29-210, s15-s30-225, s16-s17-15, s16-s18-30, s16-s19-45, s16-s20-60, s16-s21-75, s16-s22-90, s16-s23-105, s16-s24-120, s16-s25-135, s16-s26-150, s16-s27-165, s16-s28-180, s16-s29-195, s16-s30-210, s17-s18-15, s17-s19-30, s17-s20-45, s17-s21-60, s17-s22-75, s17-s23-90, s17-s24-105, s17-s25-120, s17-s26-135, s17-s27-150, s17-s28-165, s17-s29-180, s17-s30-195, s18-s19-15, s18-s20-30, s18-s21-45, s18-s22-60, s18-s23-75, s18-s24-90, s18-s25-105, s18-s26-120, s18-s27-135, s18-s28-150, s18-s29-165, s18-s30-180, s19-s20-15,

s19-s21-30,s19-s22-45,s19-s23-60,s19-s24-75,s19-s25-90,s19-s26-105,s19-s27-120,s19-s28-135,s19-s29-150,s19-s30-165,s20-s21-15,s20-s22-30,s20-s23-45,s20-s24-60,s20-s25-75,s20-s26-90,s20-s27-105,s20-s28-120,s20-s29-135,s20-s30-150,s21-s22-15,s21-s23-30,s21-s24-45,s21-s25-60,s21-s26-75,s21-s27-90,s21-s28-105,s21-s29-120,s21-s30-135,s22-s23-15,s22-s24-30,s22-s25-45,s22-s26-60,s22-s27-75,s22-s28-90,s22-s29-105,s22-s30-120,s23-s24-15,s23-s25-30,s23-s26-45,s23-s27-60,s23-s28-75,s23-s29-90,s23-s30-105,s24-s25-15,s24-s26-30,s24-s27-45,s24-s28-60,s24-s29-75,s24-s30-90,s25-s26-15,s25-s27-30,s25-s28-45,s25-s29-60,s25-s30-75,s26-s27-15,s26-s28-30,s26-s29-45,s26-s30-60,s27-s28-15,s27-s29-30,s27-s30-45,s28-s29-15,s28-s30-30,s29-s30-15,s1-s31-455,s2-s31-440,s3-s31-425,s4-s31-410,s5-s31-395,s6-s31-380,s7-s31-365,s8-s31-350,s9-s31-335,s10-s31-320,s11-s31-305,s12-s31-290,s13-s31-275,s14-s31-260,s15-s31-245,s16-s31-230,s17-s31-215,s18-s31-200,s19-s31-185,s20-s31-170,s21-s31-155,s22-s31-140,s23-s31-125,s24-s31-110,s25-s31-95,s26-s31-80,s27-s31-65,s28-s31-50,s29-s31-35,s30-s31-20,s1-s32-10,s2-s32-25,s3-s32-40,s4-s32-55,s5-s32-70,s6-s32-85,s7-s32-100,s8-s32-115,s9-s32-130,s10-s32-145,s11-s32-160,s12-s32-175,s13-s32-190,s14-s32-205,s15-s32-220,s16-s32-235,s17-s32-250,s18-s32-265,s19-s32-280,s20-s32-295,s21-s32-310,s22-s32-325,s23-s32-340,s24-s32-355,s25-s32-370,s26-s32-385,s27-s32-400,s28-s32-415,s29-s32-430,s30-s32-445,s31-s32-465;

TRANSPORTERS: 1,robot,2,Distance(dist1),20---,Station(s1)-Active,Station(s1)-Active,AUTOSTATS(Yes,,);

SEQUENCES: 1,seq1,s4&s5&s7&s8&s31:
2,seq2,s8&s23&s30&s31:
3,seq3,s13&s9&s29&s19&s3&s17&s31:
4,seq4,s28&s13&s12&s5&s25&s21&s9&s31:
5,seq5,s27&s12&s14&s11&s18&s19&s31:
6,seq6,s24&s15&s4&s10&s31:
7,seq7,s6&s16&s24&s8&s12&s31:
8,seq8,s18&s29&s21&s4&s31:
9,seq9,s27&s7&s3&s17&s20&s19&s15&s28&s31:
10,seq10,s22&s6&s10&s23&s29&s31:
11,seq11,s12&s27&s28&s31:
12,seq12,s21&s6&s20&s25&s17&s7&s31:
13,seq13,s12&s8&s5&s27&s31:
14,seq14,s9&s22&s5&s26&s27&s15&s11&s31:
15,seq15,s9&s27&s19&s14&s3&s30&s28&s31:
16,seq16,s19&s30&s12&s6&s5&s17&s31:
17,seq17,s20&s8&s17&s18&s25&s19&s23&s10&s31:
18,seq18,s30&s13&s15&s26&s14&s12&s10&s21&s3&s18&s31:
19,seq19,s4&s24&s17&s26&s12&s28&s31:
20,seq20,s22&s17&s16&s15&s13&s21&s3&s29&s27&s31:
21,seq21,s4&s19&s16&s26&s18&s3&s11&s31:
22,seq22,s7&s26&s16&s6&s27&s5&s24&s20&s22&s9&s19&s25&s31:
23,seq23,s18&s25&s10&s17&s5&s27&s24&s6&s9&s30&s8&s20&s7&s31:

24,seq24,s19&s13&s30&s18&s6&s29&s22&s14&s12&s9&s25&s23&s24&s31:
25,seq25,s6&s28&s20&s21&s24&s22&s30&s11&s26&s23&s17&s9&s31:
26,seq26,s22&s16&s5&s10&s24&s14&s23&s6&s13&s12&s28&s4&s31:
27,seq27,s30&s6&s9&s4&s3&s22&s5&s23&s13&s25&s11&s31;

OUTPUTS: gelen:
cn:
DAVG(robot.Utilization):
meanft:
totalft;

REPLICATE, 10,0.0,259200,Yes,Yes,30000,,,24.0,Minutes,No,No,,,No,No;

EK E. Model III Mod. Dosyası

```

0$          CREATE,          1,0:EXPO(81,1):NEXT(1$);

1$          ASSIGN:          ns=ANINT(UNIF(1,27,2)):
                                gt=tnow:
                                gelen=gelen+1:
                                yeni=0:
                                Entity.Sequence=ns:
                                sequencecount(ns)=sequencecount(ns)+1;

15$         STATION,         s1;
27$         ASSIGN:         son=m;
31$         BRANCH,         1:
                                If,yeni==0,7$,Yes:
                                Else,12$,Yes;

7$          QUEUE,          kuyruk;
2$          REQUEST,        1:robot(sds,rb);
12$         BRANCH,        1:
                                If,tnow<>0,11$,Yes:
                                Else,3$,Yes;

11$         ASSIGN:         topyol(rb)=topyol(rb)+idist(dist1,last(rb),m):
                                slevel(rb)=100-(topyol(rb)*0.002);
24$         BRANCH,        1:
                                If,slevel(rb)<=10,26$,Yes:
                                Else,3$,Yes;

26$         ASSIGN:         lastpoint=m;
25$         TRANSPORT:      robot(rb),s32;

3$          TRANSPORT:      robot(rb),seq;

4$          STATION,        s2-s31;
10$         ASSIGN:         topyol(rb)=topyol(rb)+idist(dist1,son,m):
                                last(rb)=m:
                                slevel(rb)=100-(topyol(rb)*0.002);
16$         BRANCH,        1:
                                If,slevel(rb)<=10,18$,Yes:
                                Else,28$,Yes;

18$         ASSIGN:         lastpoint=m:
                                son=m;
17$         TRANSPORT:      robot(rb),s32;

28$         ASSIGN:         son=m;
5$          DELAY:          2,,Other:NEXT(8$);

8$          BRANCH,        1:
                                If,m==31,30$,Yes:
                                Else,32$,Yes;

30$         ASSIGN:         ct=tnow:
                                cn=cn+1:
                                ft=ct-gt:
                                totalft=totalft+ft:
                                meanft=totalft/cn;

6$          FREE:          robot(rb);
9$          DISPOSE:        No;

32$         TRANSPORT:      robot(rb),seq;

13$         STATION,        s32;
29$         ASSIGN:         son=m:
                                yeni=1;

19$         QUEUE,          sarjq;
20$         SEIZE,          1,Other:
                                r1,1:NEXT(14$);

```

```

14$          DELAY:          100-slevel (rb) , , Other: NEXT (21$) ;

21$          RELEASE:        r1, 1;
22$          ASSIGN:         slevel (rb)=100:
                                topyol (rb)=0:
                                last (rb)=32;
23$          TRANSPORT:      robot (rb) , lastpoint;

```

Ek F. Model III Exp. Dosyası

```

PROJECT,      "Unnamed Project", "Rockwell
Automation" , , No, Yes, Yes, Yes, Yes, No, No, No, No, No;

ATTRIBUTES:   yeni, DATATYPE (Real) :
                son, DATATYPE (Real) :
                rb, DATATYPE (Real) :
                ct, DATATYPE (Real) :
                lastpoint, DATATYPE (Real) :
                ft, DATATYPE (Real) :
                gt, DATATYPE (Real) ;

VARIABLES:    yuk (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
                sequencecount (27) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0:
                gelen, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
                slevel (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 100, 100:
                urun (27) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 4, 3, 6, 7, 6, 4, 5, 4, 8, 5, 3, 6, 4, 7, 7, 6, 8, 10, 6, 9, 7, 12, 13, 13, 12
,
                12, 11:
                cn, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
                meanft, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
                last (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 1, 1:
                topyol (2) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
                totalft, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) ;

SEEDS:        1, , Common:
                2, , Common;

QUEUES:        1, tr1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                2, tr2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                kuyruk, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                sarjq, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) ;

RESOURCES:
r1, Capacity (1) , , Stationary, COST (0.0, 0.0, 0.0) , , AUTOSTATS (Yes, , ) ;

STATIONS:      1, s1, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                2, s2, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                3, s3, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                4, s4, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                5, s5, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                6, s6, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                7, s7, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                8, s8, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                9, s9, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                10, s10, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                11, s11, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                12, s12, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                13, s13, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :
                14, s14, , , , AUTOSTATS (Yes, , ) :

```

```

15,s15,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
16,s16,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
17,s17,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
18,s18,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
19,s19,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
20,s20,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
21,s21,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
22,s22,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
23,s23,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
24,s24,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
25,s25,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
26,s26,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
27,s27,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
28,s28,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
29,s29,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
30,s30,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
31,s31,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
32,s32,,,,AUTOSTATS(Yes,,);

```

```

DISTANCES:  dist1,s1-s2-15,s1-s3-30,s1-s4-45,s1-s5-60,s1-s6-75,s1-s7-
90,s1-s8-105,s1-s9-120,s1-s10-135,s1-s11-150,s1-s12-165,
s1-s13-180,s1-s14-195,s1-s15-210,s1-s16-225,s1-s17-240,s1-s18-
255,s1-s19-270,s1-s20-285,s1-s21-300,s1-s22-315,s1-
s23-330,s1-s24-345,s1-s25-360,s1-s26-375,s1-s27-390,s1-s28-
405,s1-s29-420,s1-s30-435,s2-s3-15,s2-s4-30,s2-s5-45,
s2-s6-60,s2-s7-75,s2-s8-90,s2-s9-105,s2-s10-120,s2-s11-135,s2-
s12-150,s2-s13-165,s2-s14-180,s2-s15-195,s2-s16-210,
s2-s17-225,s2-s18-240,s2-s19-255,s2-s20-270,s2-s21-285,s2-s22-
300,s2-s23-315,s2-s24-330,s2-s25-345,s2-s26-360,s2-
s27-375,s2-s28-390,s2-s29-405,s2-s30-420,s3-s4-15,s3-s5-30,s3-
s6-45,s3-s7-60,s3-s8-75,s3-s9-90,s3-s10-105,s3-s11-
120,s3-s12-135,s3-s13-150,s3-s14-165,s3-s15-180,s3-s16-195,s3-
s17-210,s3-s18-225,s3-s19-240,s3-s20-255,s3-s21-270,
s3-s22-285,s3-s23-300,s3-s24-315,s3-s25-330,s3-s26-345,s3-s27-
360,s3-s28-375,s3-s29-390,s3-s30-405,s4-s5-15,s4-s6-
30,s4-s7-45,s4-s8-60,s4-s9-75,s4-s10-90,s4-s11-105,s4-s12-
120,s4-s13-135,s4-s14-150,s4-s15-165,s4-s16-180,s4-s17-
195,s4-s18-210,s4-s19-225,s4-s20-240,s4-s21-255,s4-s22-270,s4-
s23-285,s4-s24-300,s4-s25-315,s4-s26-330,s4-s27-345,
s4-s28-360,s4-s29-375,s4-s30-390,s5-s6-15,s5-s7-30,s5-s8-
45,s5-s9-60,s5-s10-75,s5-s11-90,s5-s12-105,s5-s13-120,s5-
s14-135,s5-s15-150,s5-s16-165,s5-s17-180,s5-s18-195,s5-s19-
210,s5-s20-225,s5-s21-240,s5-s22-255,s5-s23-270,s5-s24-
285,s5-s25-300,s5-s26-315,s5-s27-330,s5-s28-345,s5-s29-360,s5-
s30-375,s6-s7-15,s6-s8-30,s6-s9-45,s6-s10-60,s6-s11-
75,s6-s12-90,s6-s13-105,s6-s14-120,s6-s15-135,s6-s16-150,s6-
s17-165,s6-s18-180,s6-s19-195,s6-s20-210,s6-s21-225,
s6-s22-240,s6-s23-255,s6-s24-270,s6-s25-285,s6-s26-300,s6-s27-
315,s6-s28-330,s6-s29-345,s6-s30-360,s7-s8-15,s7-s9-
30,s7-s10-45,s7-s11-60,s7-s12-75,s7-s13-90,s7-s14-105,s7-s15-
120,s7-s16-135,s7-s17-150,s7-s18-165,s7-s19-180,s7-
s20-195,s7-s21-210,s7-s22-225,s7-s23-240,s7-s24-255,s7-s25-
270,s7-s26-285,s7-s27-300,s7-s28-315,s7-s29-330,s7-s30-
345,s8-s9-15,s8-s10-30,s8-s11-45,s8-s12-60,s8-s13-75,s8-s14-
90,s8-s15-105,s8-s16-120,s8-s17-135,s8-s18-150,s8-s19-
165,s8-s20-180,s8-s21-195,s8-s22-210,s8-s23-225,s8-s24-240,s8-
s25-255,s8-s26-270,s8-s27-285,s8-s28-300,s8-s29-315,
s8-s30-330,s9-s10-15,s9-s11-30,s9-s12-45,s9-s13-60,s9-s14-
75,s9-s15-90,s9-s16-105,s9-s17-120,s9-s18-135,s9-s19-
150,s9-s20-165,s9-s21-180,s9-s22-195,s9-s23-210,s9-s24-225,s9-
s25-240,s9-s26-255,s9-s27-270,s9-s28-285,s9-s29-300,
s9-s30-315,s10-s11-15,s10-s12-30,s10-s13-45,s10-s14-60,s10-
s15-75,s10-s16-90,s10-s17-105,s10-s18-120,s10-s19-135,
s10-s20-150,s10-s21-165,s10-s22-180,s10-s23-195,s10-s24-
210,s10-s25-225,s10-s26-240,s10-s27-255,s10-s28-270,s10-
s29-285,s10-s30-300,s11-s12-15,s11-s13-30,s11-s14-45,s11-s15-
60,s11-s16-75,s11-s17-90,s11-s18-105,s11-s19-120,s11-

```

s20-135,s11-s21-150,s11-s22-165,s11-s23-180,s11-s24-195,s11-s25-210,s11-s26-225,s11-s27-240,s11-s28-255,s11-s29-270,s11-s30-285,s12-s13-15,s12-s14-30,s12-s15-45,s12-s16-60,s12-s17-75,s12-s18-90,s12-s19-105,s12-s20-120,s12-s21-135,s12-s22-150,s12-s23-165,s12-s24-180,s12-s25-195,s12-s26-210,s12-s27-225,s12-s28-240,s12-s29-255,s12-s30-270,s13-s14-15,s13-s15-30,s13-s16-45,s13-s17-60,s13-s18-75,s13-s19-90,s13-s20-105,s13-s21-120,s13-s22-135,s13-s23-150,s13-s24-165,s13-s25-180,s13-s26-195,s13-s27-210,s13-s28-225,s13-s29-240,s13-s30-255,s14-s15-15,s14-s16-30,s14-s17-45,s14-s18-60,s14-s19-75,s14-s20-90,s14-s21-105,s14-s22-120,s14-s23-135,s14-s24-150,s14-s25-165,s14-s26-180,s14-s27-195,s14-s28-210,s14-s29-225,s14-s30-240,s15-s16-15,s15-s17-30,s15-s18-45,s15-s19-60,s15-s20-75,s15-s21-90,s15-s22-105,s15-s23-120,s15-s24-135,s15-s25-150,s15-s26-165,s15-s27-180,s15-s28-195,s15-s29-210,s15-s30-225,s16-s17-15,s16-s18-30,s16-s19-45,s16-s20-60,s16-s21-75,s16-s22-90,s16-s23-105,s16-s24-120,s16-s25-135,s16-s26-150,s16-s27-165,s16-s28-180,s16-s29-195,s16-s30-210,s17-s18-15,s17-s19-30,s17-s20-45,s17-s21-60,s17-s22-75,s17-s23-90,s17-s24-105,s17-s25-120,s17-s26-135,s17-s27-150,s17-s28-165,s17-s29-180,s17-s30-195,s18-s19-15,s18-s20-30,s18-s21-45,s18-s22-60,s18-s23-75,s18-s24-90,s18-s25-105,s18-s26-120,s18-s27-135,s18-s28-150,s18-s29-165,s18-s30-180,s19-s20-15,s19-s21-30,s19-s22-45,s19-s23-60,s19-s24-75,s19-s25-90,s19-s26-105,s19-s27-120,s19-s28-135,s19-s29-150,s19-s30-165,s20-s21-15,s20-s22-30,s20-s23-45,s20-s24-60,s20-s25-75,s20-s26-90,s20-s27-105,s20-s28-120,s20-s29-135,s20-s30-150,s21-s22-15,s21-s23-30,s21-s24-45,s21-s25-60,s21-s26-75,s21-s27-90,s21-s28-105,s21-s29-120,s21-s30-135,s22-s23-15,s22-s24-30,s22-s25-45,s22-s26-60,s22-s27-75,s22-s28-90,s22-s29-105,s22-s30-120,s23-s24-15,s23-s25-30,s23-s26-45,s23-s27-60,s23-s28-75,s23-s29-90,s23-s30-105,s24-s25-15,s24-s26-30,s24-s27-45,s24-s28-60,s24-s29-75,s24-s30-90,s25-s26-15,s25-s27-30,s25-s28-45,s25-s29-60,s25-s30-75,s26-s27-15,s26-s28-30,s26-s29-45,s26-s30-60,s27-s28-15,s27-s29-30,s27-s30-45,s28-s29-15,s28-s30-30,s29-s30-15,s1-s31-455,s2-s31-440,s3-s31-425,s4-s31-410,s5-s31-395,s6-s31-380,s7-s31-365,s8-s31-350,s9-s31-335,s10-s31-320,s11-s31-305,s12-s31-290,s13-s31-275,s14-s31-260,s15-s31-245,s16-s31-230,s17-s31-215,s18-s31-200,s19-s31-185,s20-s31-170,s21-s31-155,s22-s31-140,s23-s31-125,s24-s31-110,s25-s31-95,s26-s31-80,s27-s31-65,s28-s31-50,s29-s31-35,s30-s31-20,s1-s32-10,s2-s32-25,s3-s32-40,s4-s32-55,s5-s32-70,s6-s32-85,s7-s32-100,s8-s32-115,s9-s32-130,s10-s32-145,s11-s32-160,s12-s32-175,s13-s32-190,s14-s32-205,s15-s32-220,s16-s32-235,s17-s32-250,s18-s32-265,s19-s32-280,s20-s32-295,s21-s32-310,s22-s32-325,s23-s32-340,s24-s32-355,s25-s32-370,s26-s32-385,s27-s32-400,s28-s32-415,s29-s32-430,s30-s32-445,s31-s32-465;

TRANSPORTERS: 1,robot,2,Distance(dist1),20---,Station(s1)-Active,Station(s1)-Active,AUTOSTATS(Yes,,);

SEQUENCES: 1,seq1,s4&s5&s7&s8&s31:
2,seq2,s8&s23&s30&s31:
3,seq3,s13&s9&s29&s19&s3&s17&s31:
4,seq4,s28&s13&s12&s5&s25&s21&s9&s31:
5,seq5,s27&s12&s14&s11&s18&s19&s31:
6,seq6,s24&s15&s4&s10&s31:
7,seq7,s6&s16&s24&s8&s12&s31:
8,seq8,s18&s29&s21&s4&s31:
9,seq9,s27&s7&s3&s17&s20&s19&s15&s28&s31:
10,seq10,s22&s6&s10&s23&s29&s31:
11,seq11,s12&s27&s28&s31:
12,seq12,s21&s6&s20&s25&s17&s7&s31:
13,seq13,s12&s8&s5&s27&s31:
14,seq14,s9&s22&s5&s26&s27&s15&s11&s31:

```

15,seq15,s9&s27&s19&s14&s3&s30&s28&s31:
16,seq16,s19&s30&s12&s6&s5&s17&s31:
17,seq17,s20&s8&s17&s18&s25&s19&s23&s10&s31:
18,seq18,s30&s13&s15&s26&s14&s12&s10&s21&s3&s18&s31:
19,seq19,s4&s24&s17&s26&s12&s28&s31:
20,seq20,s22&s17&s16&s15&s13&s21&s3&s29&s27&s31:
21,seq21,s4&s19&s16&s26&s18&s3&s11&s31:
22,seq22,s7&s26&s16&s6&s27&s5&s24&s20&s22&s9&s19&s25&s31:
23,seq23,s18&s25&s10&s17&s5&s27&s24&s6&s9&s30&s8&s20&s7&s31:

24,seq24,s19&s13&s30&s18&s6&s29&s22&s14&s12&s9&s25&s23&s24&s31:
25,seq25,s6&s28&s20&s21&s24&s22&s30&s11&s26&s23&s17&s9&s31:
26,seq26,s22&s16&s5&s10&s24&s14&s23&s6&s13&s12&s28&s4&s31:
27,seq27,s30&s6&s9&s4&s3&s22&s5&s23&s13&s25&s11&s31;

```

DSTATS:

```

meanft,tgsds80,"C:\Users\tubak\Desktop\tgsds80.dat",DATABASE(,"Time
Persistent","User Specified","tgsds80");

```

OUTPUTS:

```

gelen:
cn:
DAVG(robot.Utilization):
meanft:
totalft;

```

```

REPLICATE, 10,0.0,259200,Yes,Yes,30000,,,24.0,Minutes,No,No,,,No,No;

```